ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

БАХ А.Н., БЕРНШТЕЙН-КОГАН С.В., ВЕЙС А. Л., ВИЛЬЯМС В.Р., ВОЛЬФСОН М. Б., ГЕНДЛЕР Е. С., ГУБКИН И. М., ДОЛГОВ А. Н., ИОФФЕ А.Ф., ИПАТЬЕВ В.Н., КАГАН В. Ф., КАЛИННИКОВ И.А., КЕРЖЕНЦЕВ П. М., КИРПИЧЕВ М. В., КРЖИЖАНОВСКИЙ Г. М., КРИЦМАН Л. Н., КУЗЬМИНСКИЙ К. С., КУЙБЫШЕВ В. В., ЛАПИРОВ-СКОБЛО М. Я., ЛЕНГНИК Ф. В., ЛИНДЕ В. В., МАРТЕНС Л. К., МЕЩЕРЯКОВ Н. Л., ОСАДЧИЙ П. С., СВЕРДЛОВ В. М., ФЕДОРОВСКИЙ Н. М., ШАТЕЛЕН М. А., ШМИДТ О. Ю., ЭССЕН А. М.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
Л. К. МАРТЕНС

ТОМ ДЕВЯТЫЙ

ИЗОМЕРИЯ—КАТАПУЛЬТА

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «СОВЕТСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ»
МОСКВА ◇ 1929

Издание осуществляется Акционерным Обществом «Советская Энциклопедия» при Коммунистической Академии ЦИК СССР, пайщиками которого состоят: Государственное Издательство РСФСР, Государственное Медицинское Издательство РСФСР, Издательство Коммунистической Академии, ВЦСПС, Издательство «Вопросы Труда», Издательство «Работник Просвещения», Издательство Н. К. Рабоче-Крестьянской Инспекции СССР, Издательство «Известия ЦИК СССР», Издательство «Правда», Акционерное Общество «Международная Книга», Государственный Банк СССР, Банк Долгосрочного Кредитования Промышленности и Электрохозяйства СССР, Внешторгбанк СССР, Мосполиграф, Госстрах СССР, Центробумтрест, Центросоюз, Госпромцветмет, Всесоюзный Текстильный Синдикат, Анилтрест, Азнефть, Резинотрест, Сахаротрест, Орудийно-Арсенальный Трест. Председатель Правления Н. Н. Накоряков. Члены: О. Ю. Шмидт, И. Е. Гершензон, А. П. Спунде, П. Г. Саратовцев, Л. И. Стронгин, Э. Ф. Розенталь.

Редакционная работа по IX тому ТЭ закончена 1 декабря 1929 г.

Адрес Редакции Технической Энциклопедии: Москва, Остоженка, 1.
Адрес конторы Акционерного Об-ва: Москва, Волхонка, 14.

16-я типография «Мосполиграф», Москва, Трехпрудный пер., 9.
Главлит А 36 933. Тираж 21 000 экз.

РЕДАКЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭНЦИКЛОПЕДИИ

РЕДАКЦИОННОЕ БЮРО

Главный Редактор—проф. **Л. К. Мартенс.** | Пом. Гл. Редактора—инж. **А. Л. Вейс.**
Зам. Гл. Редактора—проф. **М. Б. Вольфсон.** | Зав. Издат. Частью—**К. С. Кузьминский.**

РЕДАКТОРЫ ОТДЕЛОВ

Авиация, воздухоплавание.
Юрьев Б. Н., проф.
Автомобильное дело, авиац. и автомобильные двигатели, двигатели внутрен. сгорания.
Брилинг Н. Р., проф.
Гиттис В. Ю., проф.
Мартенс Л. К., проф.
Архитектура, строительное дело, городское благоустройство, коммунальное хоз-во.
Долгов А. Н., проф.
Щусев А. В., акад. архит.
Запорожец И. К., архит.
Красин Г. Б., инж.
Белоусов В. Я.
Астрономия.
Михайлов А. А., проф.
Бумажное производство.
Жеребов Л. П., проф.
Военная и морская техника, судостроение.
Власьев Н. И.
Струнников В. Т., проф.
Фишман Я. М.
Геодезия (высшая и низшая).
Бонч-Бруевич М. Д.
Орлов П. М., проф.
Гидротехника, гидравлика.
Эссен А. М., инж.
Детали машин и подъемные механизмы.
Холмогоров И. М., проф.
Сидоров А. И., проф.
Добыв. промышл., горное дело.
Губкин И. М., акад.
а) Геология и минералогия.
Федоровский Н. М., проф.
б) Драгоценные камни.
Ферсман А. Е., акад.
в) Каменный уголь.
Терпигорев А. М., проф.
г) Нефть.
Губкин И. М., акад.
д) Руда металлическая.
Таубе Е. А., проф.
е) Силикатн. промышленность.
Швецов Б. С., проф.
Юрганов В. В., проф.
ж) Торф.
Радченко И. И.
Дороги и дор. строительство.
Крынин Д. П., проф.
Железнодорожное дело.
Энгельгардт Ю. В., проф.
Кожевенное дело.
Поварнин Г. Г., проф.
Красящие вещества, крашение и ситцепечатание.
Порай-Кошиц А. Е., проф.
Лесоводство.
Кобранов Н. П., проф.
Математика.
Каган В. Ф., проф.
Материаловедение.
Флоренский П. А., проф.
Металлургия черных и цветных металлов.
Павлов М. А., проф.
Евангулов М. Г., проф.
Механика прикладная и теория механизмов.
Малышев А. П., проф.
Радциг А. А., проф.
Механика строительная и графостатика.
Прокофьев И. П., проф.
Механика теоретическая.
Некрасов А. И., проф.
Мосты.
Передерий Г. П., проф.
Стрелецкий Н. С., проф.
Мукомольное дело, мельницы и элеваторы.
Пакуто М. М., проф.
Козьмин П. А., проф.
Организация производства, стандартизация.
Керженцев П. М.
Шпильрейн И. Н., проф.
Бурдянский И. М., инж.
Ноа Ф. Г., инж.
Паровые котлы и машины. Металлические изделия.
Саттель Э. А., инж.
Полиграфическая промышленность.
Вольфсон М. Б., проф.
Михайлов С. М.
Промышленная гигиена и техника безопасности.
Каплун С. И., проф.
Хлопин Г. В., проф.
Радиотехника.
Баженов В. И., проф.
Резиновое производство.
Лурье М. А., инж.
Сельское хозяйство, с.-х. машины и орудия.
Вильямс В. Р., проф.
Сопротивление материалов.
Худяков П. К., проф.
Текстильное дело и технология волокнистых веществ.
Линде В. В., проф.
Теплотехника, термодинамика, энергетика.
Кирпичев М. В., проф.
Рамзин Л. К., проф.
Соловьев П. М., проф.
Техника освещения.
Лапиров-Скобло М. Я., проф.
Технология и производство взрывчатых веществ.
Ипатьев В. Н., акад.
Технология дерева.
Дешевой М. А., проф.
Квятковский М. Ф., проф.
Технология и обработка металлов.
Грачев К. Ф., проф.
Чарновский Н. Ф., проф.
Технология строительных материалов.
Эвальд В. В., проф.
Лахтин Н. К., проф.
Технология углеводов, винокурение, пивоварение.
Церевитинов Ф. В., проф.
Физика.
Иоффе А. Ф., акад.
Лебединский В. К., проф.
Химич. промышленность.
Шеин С. Д., инж.
Химия (орган., неорган., физ. химия и хим. технология).
Бах А. Н., акад.
Холодильное дело.
Рязанцев А. В., проф.
Экономика.
Вольфсон М. Б., проф.
Гинзбург А. М.
Электротехника.
Осадчий П. С., проф.
Юрьев М. Ю., проф.
Шпильрейн Я. Н., проф.
Кулебакин В. С., проф.

Соредакторы: проф. **Беркенгейм Б. М.; Медведев С. С.; Янковский В. М.; Серебренников М. Г.;** проф. **Попов А. С.;** проф. **Смирнов Н. Н.;** проф. **Лебедев С. Ф.;** инж. **Белькинд Л. Д.;** проф. **Вавилов С. И.;** инж. **Эстрин С. Г.;** инж. **Соколов Н. В.**

Научные сотрудники: канд. хим. **Ельцина Н. М.;** инж. **Знаменский А. А.; Мельников И. И.;** инж. **Мушенко И. Н.;** инж. **Павлушков Л. С.; Ракицкий Н. П.;** инж. **Шпринк Б. Э.;** инж. **Эрвальд К. А.;** Зав. библиогр.: инж. **Таубман С. И.**

Пом. Зав. Изд. Частью: **Маркус В. А.;** Зав. Иллюстр. отд.: **Тавастшерна В. Я.;** Зав. Худ.-Тех. отд.: **Варшавский Л. Р.;** Тех. Ред.: **Волконский С. Н., Гришинский А. С., Гришинский В. С., Никаноров В. М.;** Пом. Тех. Ред.: **Лоховиц А. Б.;** Технич. Редакция при типогр.: **Малкин А. Д., Ошер А. Н., Ротштейн Н. А.;** Зав. Коррект.: **Колянковский Д. П.**

СОКРАЩЕНИЯ И СИМВОЛИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

I. Метрические меры.

км километры (1 000 *м*).
м метры.
дм дециметры (0,1 *м*).
см сантиметры (0,01 *м*).
мм миллиметры (0,001 *м*).
μ микроны (0,001 *мм*).
тμ миллимикроны (0,001 *μ*).
μμ микромикрон (0,000001 *μ*).
км² квадратные километры.
га гектары (квадратные гектометры).
а ары (квадр. декаметры).
м² квадратные метры.
м³ кубические метры.
дм³ » дециметры.
см³ » сантиметры.
мм³ » миллиметры.
т метрич. тонны (1 000 *кг*).
ц центнеры (100 *кг*).
кг килограммы (1 000 *г*).
г граммы.
дг дециграммы (0,1 *г*).
сг сантиграммы (0,01 *г*).
мг миллиграммы (0,001 *г*).
μг микрограмм (0,001 *мг*).
к караты (200 *мг*).
кл килолитры (1 000 *л*).
гл гектолитры (100 *л*).
дкл декалитры (10 *л*).
л литры.
дл децилитры (0,1 *л*).
сл сантилитры (0,01 *л*).
мл миллилитры (0,001 *л*).
тм тоннометры.
кгм килограммометры.
т/м² тонны на кв. метр.
кг/см² килограммы на кв. сантиметр.
м/ск метры в секунду.
п. м погонные метры.
рег. т регистровые тонны.

II. Математич. обозначения.

° градус.
′ минута, фут.
″ секунда, дюйм.
‴ терция, линия.
$>$ больше ($<$ меньше).
$\not>$ не больше ($\not<$ не меньше).
$\cong$ приблизительно равно.
$\geqslant$ больше или равно.
$\leqslant$ меньше или равно.
$\gg$ значительно больше.
$\ll$ значительно меньше.
$\measuredangle$ угол, измеряемый дугой.
$\parallel$ параллельно.
$\perp$ перпендикулярно.
$\div$ от—до.
sin синус.
tg тангенс.
sc секанс.
cos косинус.
ctg котангенс.
csc косеканс.
arc sin арксинус.
arc tg арктангенс.
sh гиперболический синус.
ch гиперболическ. косинус.
th » тангенс.
$\varnothing$ диаметр.
e основание натуральных логарифмов.
lg логарифм десятичный.
ln » натуральный.
lim предел.
Const постоянная величина.
$\sum$ сумма.
$\int$ интеграл.
$\sim$ приблизительно.
∞ бесконечность.
d полный дифференциал.
∂ частный »

III. Международные символы.

а) Единицы.

A ампер.
Ah ампер-час.
W ватт.
Wh ватт-час.
kW киловатт.
kWh киловатт-час.
V вольт.
mV милливольт.
VA вольт-ампер.
kVA киловольт-ампер.
mA миллиампер.
Ω ом.
MΩ мегом.
μΩ микроом.
C кулон.
VC вольт-кулон.
H генри.
J джоуль.
F фарада.
μF микрофарада.
Å ангстрем.
D дина.
Cal калория большая.
cal » малая.
HP лошадиная сила.
lm люмен.
lx люкс.
m мюрг.

б) Величины.

$t°$ температура обыкновен.
$T°$ » абсолютная.
$t°_{кип.}$ температура кипения.
$t°_{пл.}$ » плавления.
$t°_{заст.}$ » застывания.
$t°_{отв.}$ » отвердевания.
$t°_{крит.}$ » критическая.
atm атмосфера техническая.
Atm » барометрич.
I сила тока.
Q электрич. заряд, количество электричества.
E электродвижущая сила.
V, U напряжение, потенциал.
A работа.
W энергия.
N мощность.
T период колебания.
f, ν частота.
ω угловая скорость, угловая частота.
Ω боковая частота.
λ длина волны.
φ сдвиг фазы.
L самоиндукция.
C емкость.
R сопротивление активное (ваттное).
ε диэлектрич. постоянная.
μ магнитн. проницаемость.
ϱ удельное сопротивление.
σ удельная проводимость.
δ декремент затухания.
Φ магнитный поток.
H_{Br} твердость по Бринелю.
$A_{c_1}, A_{c_2}, A_{c_3}$ } критич. точки
$A_{r_1}, A_{r_2}, A_{r_3}$ } желез. сплавов.
g ускорение силы тяжести.
l длина.
m масса.
$D^{t_1}_{t_2}$ уд. вес при $t_1°$ по отношению к воде при $t_2°$.
$[\alpha]$; $[\alpha]_D$ угол вращения плоскости поляризации.
$C_н$; $[H^+]$ концентрация водородных ионов.
pH; $P_н$ водородн. показатель.

IV. Основные сокращения.

фт.—футы.
дм.—дюймы.
кц.—килоцикл.
ц.—цикл.
св.—свеча.
об/м.—обороты в минуту.
п-вс.—пудоверсты.
п-фт.—пудофуты.
фт/ск.—футы в секунду.
чв-д.—человекодни.
чв-ч.—человекочасы.
долл., $—доллары.
мар.—марки.
фн. ст., £—фунты стерлингов.
фр.—франки.
шилл.—шиллинги.
млн.—миллионы.
млрд.—миллиарды.
ч.—часы.
м., мин.—минуты.
ск.—секунды.
°Bé—градусы Боме.
°Э.—градусы Энглера.
Градусы температ. шкал:
°К—Кельвина,
°С, °Ц.—Цельсия (100°-й),
°Р.—Реомюра,
°Ф.—Фаренгейта.
$t°$—температура по 100°-ной шкале (С).
$t°$ Р.—температура по Реомюру.
$t°$ Ф.—температура по Фаренгейту.
абс.ед.—абсолютная единица.
ат. в.—атомный вес.
Aufl.—Auflage.

B.—Band, Bände.
v.—volume, volumes.
вкл.—включительно.
выс.—высота.
гг.—годы, города.
д.—деревня, долгота.
д. б.—должно быть.
ж. д.—железная дорога.
з.-европ. — западноевропейский.
з-д—завод.
изд.—издание.
ин-т—институт.
Jg.—Jahrgang.
кпд—коэффициент полезного действия.
к-рый—который.
к-та—кислота.
Lfg.—Lieferung, Lieferungen.
м—мета (хим.).
м. б.—может быть.
м. г.—минувшего года.
меш (mesh)—число отверстий в ситах на лин. дюйм.
мн-к—многоугольник.
мол. в.—молекулярный вес.
нек-рый—некоторый.
о—орто (хим.).
об-во—общество.
о-в—остров.
п—пара (хим.).
р.—pagina, paginae (лат.— страница, страницы).
промышл.—промышленность.
проф.—профессор.
SK—зегеровские конуса.
С., Ю., В., З.—север, юг, восток, запад.
с.-з., ю.-в.—северо-западный, юго-восточный.
стр.—страницы.
т.—том, томы.
t.—tome, tomes.
T.—Teil, Teile.
тв.—твердость.
т-во—товарищество.
темп-ра—температура.
т. н.—так называемый.
тр-к—треугольник.
уд.—удельный.
уд. в.—удельный вес.
ур-ие—уравнение.
У. П.—Урочное положение.
u. ff.—und folgende.
ф-ия—функция.
ф-ка—фабрика.
ф-ла—формула.
H.—Heft, Hefte.
хим. сост.—химический состав.
ц. т.—центр тяжести.
Ztg—Zeitung.
Ztrbl.—Zentralblatt.
Ztschr.—Zeitschrift.
ш.—широта.
эдс—электродвижущая сила.
эфф.—эффективный.
Ан. П.—английский патент.
Ам. П.—американский »
Г. П.—германский »
Р. П.—русский »
Сов. П.—советский »
Ф. П.—французский »
B.—Berlin.
Brschw.—Braunschweig.
L.—London.
Lpz.—Leipzig.
Mch.—München.
N. Y.—New York.
P.—Paris.
Stg.—Stuttgart.
W.—Wien.
Wsh.—Washington.
Л.—Ленинград.
М.—Москва.
П.—Петроград.
СПБ—Петербург.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ НАЗВАНИЙ РУССКИХ И ИНОСТРАННЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ, ОБЩЕСТВ, ФИРМ

«АзНХ»—Азербайджанское нефтяное хозяйство, Баку.
БМЭ—Большая медицинская энциклопедия, Москва.
БСЭ—Большая советская энциклопедия, Москва.
«ВВ»—Военный вестник, Москва.
«ВВФ»—Вестник воздушного флота, Москва.
«ВИ»—Вестник инженеров, Москва.
«ВС»—Вестник стандартизации, Москва.
«ВТ»—Вопросы труда, Москва.
«ГЖ»—Горный журнал, Москва.
«ГТ»—Гигиена труда, Москва.
«Ж»—Журнал Русского физико-химического об-ва, Ленинград.
«ЖРМО»—Журнал Русского металлургического об-ва, Ленинград.
«ЖХП»—Журнал химической промышленности, Москва.
«ИТИ»—Известия Теплотехнического института им. проф. В. И. Гриневецкого и К. В. Кирша, Москва.
«ИТПТ»—Известия текстильной промышленности и торговли, Москва.
«МС»—Минеральное сырье и его переработка, Москва.
«МХ»—Мировое хозяйство и мировая политика, Москва.
«НИ»—Нерудные ископаемые, Ленинград.
«НХ»—Нефтяное хозяйство, Москва.
ОСТ—Общесоюзные стандарты, Москва.
«ПТ»—Промышленность и техника, СПБ.
«ПХ»—Плановое хозяйство, Москва.
«СГ»—Социальная гигиена, Москва.
«СП»—Строительная промышленность, Москва.
Спр. ТЭ—Справочник физических, химических и технологических величин, Москва.
«СТ»—Санитарная техника, Москва.
«СХ»—Социалистическое хозяйство, Москва.
«ТД»—Торфяное дело, Москва.
«ТиТбП»—Телеграфия и телефония без проводов, Н.-Новгород.
«Труды ГЭЭИ»—Труды Гос. экспериментального электротехнич. ин-та, Москва.
«Труды НАМИ»—Труды Научного автомоторного института, Москва.
«Труды НИУ»—Труды Научного института по удобрениям, Москва.
«Труды ЦАГИ»—Труды Центрального аэрогидродинамического ин-та, Москва.
ТЭ—Техническая энциклопедия, Москва.
«УФН»—Успехи физических наук, Москва.
«ХД»—Хлопковое дело, Москва.
«AAZ»—Allgemeine Automobil - Zeitung, Wien.
«A. Ch.»—Annales de Chimie et de Physique, Paris.
AEG—Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin.
AGFA—Aktien-Gesellschaft für Anilin-Fabrikation, Berlin.
«Am. Soc.»—Journal of the American Chemical Society, Easton, Pa.
«Ann. d. Phys.»—Annalen der Physik, Leipzig.
«Ann. Min.»—Annales des Mines, Paris.

«B»—Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft, Berlin.
BAMAG—Berlin-Anhaltische Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft, Dessau.
BASF—Badische Anilin- und Soda-Fabrik, Ludwigshafen a/R.
BEAMA—The British Electrical and Allied Manufacturers Association, London.
«B. u. E.»—Beton und Eisen, Berlin.
Bayer—Farbenfabriken vorm. Fr. Bayer & Co., Köln a/R.
«Ch. Ind.»—Chemische Industrie, Berlin.
«Ch.-Ztg»—Chemiker-Zeitung, Cöthen.
«Ch. Ztrbl.»—Chemisches Zentralblatt, Berlin.
«CR»—Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences, Paris.
DIN—Deutsche Industrie-Normen.
«Dingl.»—Dinglers polytechnisches Journal, Berlin.
«EChZ»—Elektrochemische Zeitschrift, Berlin.
«EMA»—Zeitschrift für Elektrotechnik und Maschinenbau, Berlin.
«EuM»—Elektrotechnik und Maschinenbau, Wien.
«ETZ»—Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin.
«GC»—Génie Civil, Paris.
Handb. Ing.—Handbuch der Ingenieurwissenschaften, herausgegeben von L. Willmann, Th. Landsberg, E. Sonne, in 5 Teilen, 1910—25, Leipzig.
«I. Eng. Chem.»—Industrial and Engineering Chemistry, Easton, Pa.
I.G. Farben—Interessengemeinschaft Farben-Industrie A.-G., Leverkusen b. Köln a/R.
«JAIEE»—Journal of the American Institute of Electrical Engineers, New York.
«J. Ch. I.»—Journal of the Society of Chemical Industry, London.
«Lieb. Ann.»—Liebigs Annalen der Chemie, Berlin.
«Mitt. Forsch.»—Mitteilungen über Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens, Berlin.
«MuM»—Wochenschrift für die gesamte Müllerei und Mühlenbau-Industrie, München.
NDI—Normenausschuss der deutschen Industrie.
«PeKa»—Fachblatt für Parfümerie und Kosmetik, München.
«RGÉ»—Revue Générale de l'Électricité, Paris.
«Soc.»—Journal of the Chemical Society, London.
«St. u. E.»—Stahl und Eisen, Düsseldorf.
Ullm. Enz.—Enzyklopädie der technischen Chemie, herausgegeben von F. Ullmann, Wien — Berlin, 1 Auflage, 1915—23, 2 Auflage erscheint ab 1928.
«WeTeZ»—Westdeutsche Textil-Zeitung, Elberfeld.
«Z. ang. Ch.»—Zeitschrift für angewandte Chemie, Berlin.
«Z. d. VDI»—Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, Berlin.
«ZFM»—Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt, München.

В девятом томе ТЭ помещены 762 иллюстрации в тексте, одна карта (в красках) к статье «Каменный уголь» и четыре вкладки к статьям: «Изотопы» — 1, «Испытание материалов» — 1, «Ископаемые угли» — 1, «Калильная сетка», «Канва» и «Каракуль» — 1 (общая вкладка).

И

ИЗОМЕРИЯ, явление, заключающееся в том, что несколько соединений с одинаковым мол. весом и тождественных по составу, т. е. отвечающих одной и той же эмпирич. ф-ле, обладают различными химич. и физич. свойствами; подобные соединения называются изомерными или изомерами. В области органич. химии явление И. встречается чрезвычайно часто и является главной причиной исключительного многообразия органич. соединений. В минеральной химии, наоборот, И. наблюдается только как редкое исключение.

Явления И. находят объяснение в теории химич. строения. Согласно последней свойства индивидуальных соединений зависят не только от природы атомов, составляющих молекулу данного соединения, и от их числовых соотношений, но в значительной степени и от порядка распределения связей между этими атомами.

Порядок взаимного сцепления атомов в веществе (его строение, или структура) м. б. выражен посредством определен. условных обозначений, так назыв. структурных ф-л. С этой точки зрения изомерами называют такие соединения, к-рые при одной и той же эмпирич. формуле обладают различным строением. Так, напр., соединение состава C_4H_{10}, бутан, может существовать в двух изомерных формах, к-рым соответствует строение:

$CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_3$; $(CH_3)_2CH \cdot CH_3$.

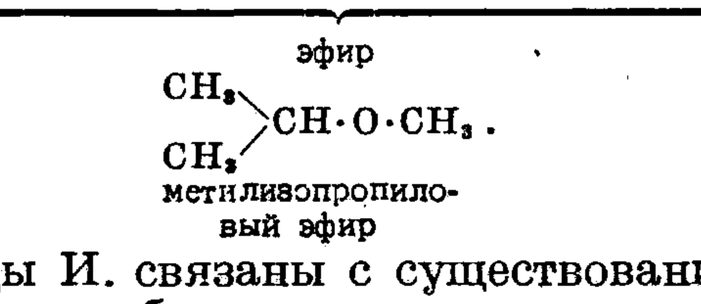
норм. бутан — изобутан

С возрастанием числа углеродных атомов увеличивается и число возможных изомеров: для пентана, C_5H_{12}, возможны три изомера, для гексана, C_6H_{14},—пять, для гептана, C_7H_{16},—девять, для октана, C_8H_{18},—восемнадцать и т. д. Подобные изомерные соединения, отличающиеся друг от друга порядком распределения связей между углеродными атомами, составляющими цепи (или циклы в циклич. соединениях), характеризуют собою И. скелета. Для И. места или положения типичны те случаи, когда несколько соединений отличаются друг от друга только положением заместителей (атомов или атомных группировок) при одинаковом строении углеродных цепей или циклов. Примером этого вида изомерии могут служить гидроксильные производные бутана

$CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2OH$ и $CH_3 \cdot CH(OH) \cdot CH_2 \cdot CH_3$

первичный норм. бутиловый алкоголь — вторичный норм. бутиловый алкоголь

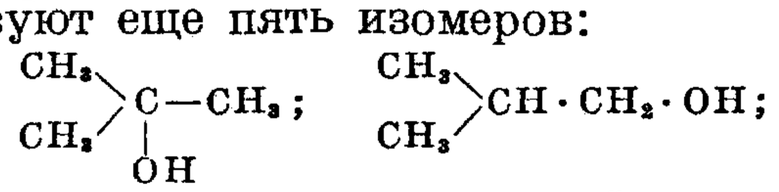
или бромпроизводные толуола



орто- мета- пара-

бромтолуол

Возможность смешанной И. (скелета и положения) увеличивает число изомеров, еще более возрастающее при наличии в молекуле многовалентных элементов. Так, для соединений, отвечающих ф-ле $C_4H_{10}O$, кроме двух вышеприведенных бутиловых алкоголей, существуют еще пять изомеров:



третичный — первичный изобутиловый алкоголь

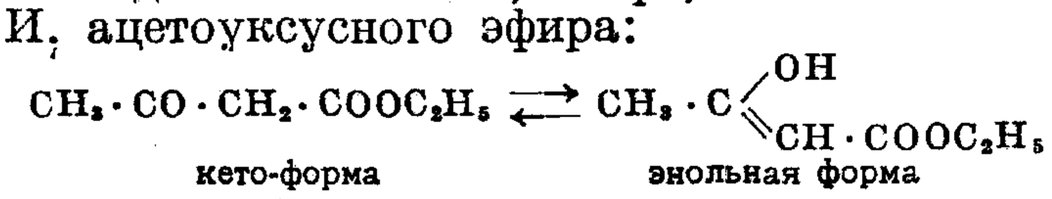
эфир

$CH_3 \cdot O \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_3$; $CH_3 \cdot CH_2 \cdot O \cdot CH_2 \cdot CH_3$;

метилпропиловый — диэтиловый

метилизопропиловый эфир

Эти виды И. связаны с существованием устойчивых необратимых изомерных соединений; превращение одного изомера в другой может происходить лишь в результате сложных химич. процессов и не всегда осуществимо. Вместе с этим существует особый тип динамической И., когда изомерные формы находятся в состоянии подвижного равновесия (см. *Таутомерия*). Примером этого вида И. является, напр., кето-энольная И. ацетоуксусного эфира:



кето-форма — энольная форма

Причиной И. может служить не только различие в порядке сцепления атомов, со-

ставляющих данную молекулу, но и нек-рые различия в пространственном расположении этих атомов относительно друг друга. Это различное распределение атомов в пространстве—или, как говорят, различная конфигурация—обусловливает существование особого вида И.—стереоизомерии (см. *Стереохимия*).

Лит.: Чичибабин А., Основные начала органической химии, М.—Л., 1925; Meyer V. u. Jacobsen P., Lehrbuch d. organischen Chemie, B. 1—2, B.—Lpz., 1922—24. **С. Медведев.**

ИЗОМОРФИЗМ, явление, заключающееся в том, что разные твердые кристаллические вещества неодинакового (но, в известной степени, аналогичного) химич. состава кристаллизуются в одинаковой кристаллографич. системе и в одинаковом кристаллографич. классе. И. был установлен впервые Митчерлихом (в 1820 г.) на примере фосфорнокислых и мышьяковокислых солей. Близкая кристаллич. структура изоморфных соединений находит себе выражение в том факте, что кристаллы одного из изоморфных друг другу веществ, будучи погружены в насыщенный раствор другого изоморфного вещества, могут обрастать с поверхности слоем этого вещества, а также и в том, что изоморфные друг другу вещества могут выкристаллизоваться из смешанного раствора в виде общих кристаллов; такие кристаллы содержат оба вещества в непостоянном количественном отношении, зависящем от количественного соотношения изоморфных веществ в растворе.

И.—явление, весьма распространенное в химии земной коры; многие минералы представляют собою изоморфные смеси (см. *Твердые растворы*) аналогичных по химическому строению соединений различных элементов. Величина кристаллографич. констант кристаллов таких изоморфных смесей (например величина углов граней) имеет значение промежуточное по сравнению с величинами соответствующих констант отдельных входящих в изоморфную смесь соединений и колеблется в зависимости от того, какой из их ингредиентов содержится в смеси в большем количестве. Так, например, $KMnO_4$ и $KClO_4$ выкристаллизовываются из раствора обоих веществ в виде общих кристаллов ромбической системы. Сернокислые соли многих двувалентных металлов кристаллизуются с семью частицами кристаллизационной воды в виде смешанных кристаллов и образуют, как говорят, «изоморфный ряд» купоросов: $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$; $NiSO_4 \cdot 7H_2O$; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ и т. д. То обстоятельство, что изоморфные вещества выкристаллизовываются в виде общих кристаллов смешанного состава, несомненно свидетельствует о какой-то общности в химизме их строения, и в изоморфные ряды б. ч. попадают элементы, близкие по свойствам, хотя иногда в одинаковые изоморфные ряды приходится относить, казалось бы, и совсем несходные друг с другом элементы.

Как показал Гримм, И. находится в следующей зависимости от атомных радиусов элементов в состоянии их ионов. 1) При одинаковом строении ионов условия И. определяются последовательностью в величинах радиусов ионов. Эта разница уменьшается в таблице слева направо по мере возрастания величины положительной валентности. Вместе с этим уменьшается и влияние этой разницы на условия И. 2) Различие в строении ионов гелиевой и неоновой конфигурации, очевидно, обусловливает отсутствие И. соответственных элементов. 3) Сущность «химич. сходства» или «химич. родства» элементов изоморфных рядов состоит у ионов с одинаковой наружной электронной оболочкой в близости ионных радиусов. Согласно исследованиям Ретгерса, изоморфные вещества смешиваются без изменения объема, т. е. объем изоморфной смеси равен сумме объемов смешиваемых кристаллов: $v = v_1 + v_2$. Если обозначить через s, s_1 и s_2 удельные объемы изоморфной смеси и ее компонентов, а через P и $(100 - P)$ %-ное содержание ингредиентов, то

$$s = s_1 + \frac{P}{100}(s_2 - s_1).$$

Приняв за d, d_1 и d_2—уд. в. смеси и ее составных частей, имеем для изоморфной смеси:

$$d(v_1 + v_2) = d_1 v_1 + d_2 v_2;$$

Смесимость изоморфных соединений элементов (по Вульфу).

Строение атомов типа	Заряд—валентность									Примечания
	−2	−1	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	
He	—	—	Li	Be	B	C	N	—	—	Эти элементы или вовсе не замещают стоящие под ними или же замещают при высокой $t°$, при высоком значении валентности или в крупных молекулах
Ne	O	F	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	
Ar	S	Cl	R	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	
Kr	Se	Br	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	—	Стоящие друг под другом элементы принадлежат к изоморфным рядам
Xe	Fe	J	Cs	Ba	La	Ce	Ta	W	—	
Ar	S	Cl	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	—	Стоящие друг под другом элементы представляют конечные члены изоморфных рядов
Xe	Fe	J	Cs	Ba	La	Ce	Ta	W	—	

Пояснение знаков: = смесимость не установлена; — смесимость лишь при высокой темп-ре; ... установлены следы смесимости; || установлена полная смесимость или разрывы в смесимости неизвестны; | смесимость значительная, есть разрывы в смесимости; ⋮ смесимость мала, с большими разрывами; отсутствие знаков указывает на отсутствие данных в литературе.

а так как $v_1 + v_2 = 100$, то получаем

$$d = d_1 + \frac{v_2}{100}(d_2 - d_1).$$

Это ур-ие Ретгерса определяет линейную зависимость между удельным весом и объемным составом смеси.

Ниже приведены примеры нек-рых изоморфных друг другу минералов.

Известковый шпат $CaCO_3$	Апатит $Ca_5P_3O_{12}Cl$
Магнезит $MgCO_3$	Пироморфит $Pb_5P_3O_{12}Cl$
Горький шпат $(Ca, Mg)CO_3$	Миметезит $Pb_5As_3O_{12}Cl$
Железный шпат $FeCO_3$	Кампилит $Pb_5(As,P)_3O_{12}Cl$
Марганцовый шпат $MnCO_3$	Гедифан $(Pb,Ca)_5(As,P)_3O_{12}Cl$
Цинковый шпат $ZnCO_3$	Эндлихит $Pb_5(As,V)_3O_{12}Cl$
	Ванадинит $Pb_5V_3O_{12}Cl$
Витерит $BaCO_3$	Тяжелый шпат $BaSO_4$
Стронцианит $SrCO_3$	Целестин $SrSO_4$
Арагонит $CaCO_3$	Ангидрит $CaSO_4$
Белая свинцовая руда $PbCO_3$	Свинцовый купорос $PbSO_4$

В приведенной выше таблице сопоставлены взаимоотношения химических элементов с точки зрения строения их атомов и способности образовывать изоморфные ряды.

Исследование изоморфных смесей при помощи рентгеновских лучей доказало, что кристаллы изоморфных смесей совершенно однородны и отдельные сходные атомы изоморфных соединений занимают вполне закономерное положение в общей структуре кристаллич. решетки.

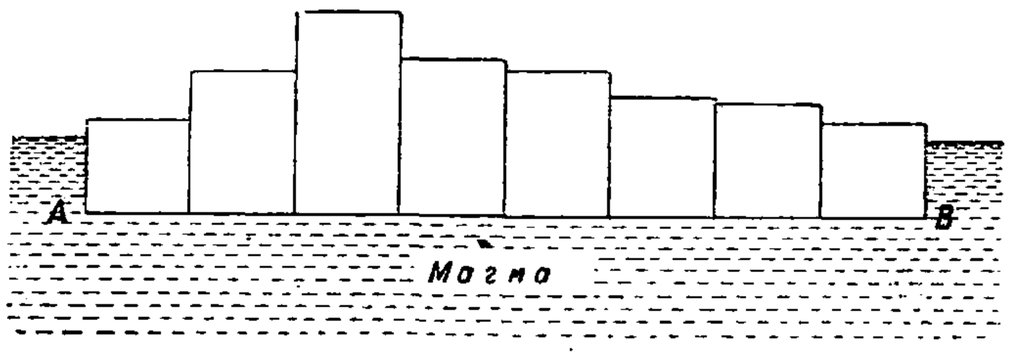
Лит.: Менделеев Д. И., Основы химии, 9 издание, т. 1—2, Москва—Ленинград, 1927—28; Вернадский В. И., Минералогия, вып. 1, Петербург, 1910.

Б. Беркенгейм.

ИЗОПЕРИМЕТРИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ, задачи *вариационного исчисления* (см.), общая формулировка к-рых следующая: среди всех кривых $y=f(x)$, проходящих через точки (x_0, y_0), (x_1, y_1), для к-рых $\int_{x_0}^{x_1} \Phi(x, y, y')\,dx = l$ (Φ—данная ф-ия, l—данное число), найти такую, для которой $\int_{x_0}^{x_1} F(x, y, y')\,dx$ имеет экстремум (F—данная ф-ия). Простейшая И. з. состоит в следующем: найти из всех кривых данной длины такую, которая ограничивает наибольшую площадь. Этой кривой оказывается окружность. Данная задача м. б. решена как методом вариационного исчисления, так и элементарными методами.

ИЗОСТАЗИЯ, геофизич. теория строения земной коры, возникшая для объяснения отклонений отвеса и аномалий силы тяжести, наблюдаемых при геодезич. измерениях. Теория И. сводится к тому, что масса вещества во всех вертикальных столбцах одинакового сечения, вырезанных в земной коре, величина постоянная. Поэтому давление на нижнюю поверхность AB (фиг. 1) во всех столбцах одинаково, и каждый отдельный столбец находится в состоянии равновесия. Принимается, что плотность вещества в пределах одного столбца одинакова во всех его точках и обратно пропорциональна общей высоте данного столбца. Вследствие этого плотность земной коры под горами меньше, чем под низкими местами и, в особенности, чем под дном океанов. Иными словами, видимые массы гор компенсируются соответствующим недостатком масс (из-за уменьшения плотности) в лежащих под горами частях земной коры. Этим объясняется, почему наблюдаемые отклонения отвеса, а также аномалии силы тяжести обычно бывают гораздо меньше, чем следовало бы ожидать на основании видимых возмущающих масс, возвышающихся над уровнем моря.

Ниже поверхности AB, называемой поверхностью И. (т. е. равного давления), расположены правильные, невозмущенные слои, находящиеся в пластическ. состоянии (магма). Отдельные участки земной коры можно рассматривать как плавающие на магме, при чем каждый столбец вытесняет, по закону Архимеда, равное ему по весу количество магмы. Плотность δ столбцов определяется формулой $\delta(T+h)=\text{Const}$, где T—глубина поверхности И. и h—высота верхнего основания столбца (физич. поверхности земли) над уровнем моря. Для точки земной коры под океаном величину h надо брать отрицательной и равной глубине океана.



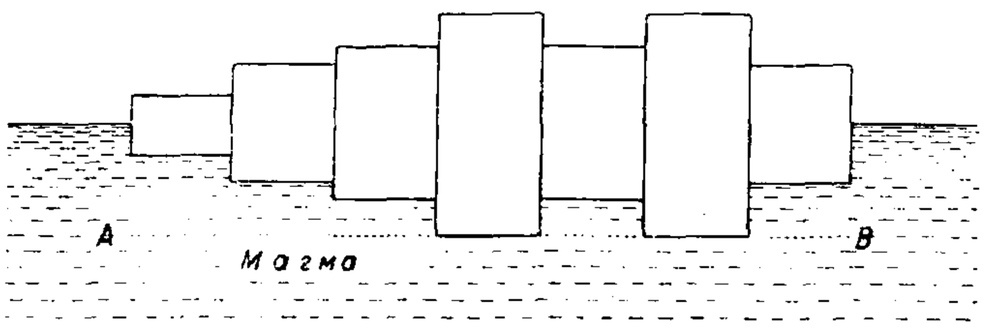
Фиг. 1.

В этом случае нужно в левой части формулы прибавить давление столба воды, равное $1{,}03\,h$, где числовой коэффициент есть плотность морской воды.

Для вычисления влияния изостатически построенной земной коры на направление отвеса или силу тяжести всю земную поверхность разбивают на ряд концентрич. колец постепенно возрастающей ширины, имеющих центр в исследуемой точке (в работах Гейфорда число таких колец равно 33). Каждое кольцо подразделяется радиусами еще на ряд секторов (до 28). По топографич. карте определяют среднюю высоту h каждого кольцевого сектора и, задаваясь некоторой глубиной T поверхности И., рассчитывают по данной ф-ле плотность соответствующих столбцов. Затем вычисляют притяжение каждого столбца на данную точку, при чем горизонтальная слагающая дает отклонение отвеса, а вертикальная—влияние на силу тяжести. Суммируя притяжение всех столбцов, получают т. н. изостатическую редукцию. Для облегчения вычислений служат специальные таблицы (Гейфорда, Бови, Мейснера). Глубину T путем проб подбирают таким образом, чтобы дать наилучшее согласие между наблюденными отклонениями отвеса или аномалиями силы тяжести и вычисленными.

Наряду с изложенной теорией, называемой теорией Пратта, существует другая гипотеза, предложенная Эри (Airy). По Эри, земная кора имеет всюду одинаковую плотность (обычно принимается 2,67), меньшую плотности магмы, на к-рой кора плавает. Каждый отдельный столбец коры тоже находится в состоянии равновесия, погружаясь в магму на глубину, пропорциональную его общей высоте. Под высокими горами глубина эта больше, чем под дном морей (фиг. 2).

С геохимич. стороны такая схема объясняется различием состава коры и магмы: первая состоит преимущественно из саля (Si, Al), вторая—из симы (Si, Mg), большей плотности. И в теории Эри можно говорить про нек-рую поверхность равного давления: это



Фиг. 2.

поверхность AB (фиг. 2), проведенная под наиболее глубокими частями земной коры.

Теория И. получила наиболее широкое применение при обработке геодезич. измерений в Америке. Гейфорд нашел, что наилучшее согласование между наблюденными и вычисленными отклонениями отвеса и аномалиями силы тяжести получается при $T=122$ *км* (позже он получил глубину в 102 *км*), при чем остающиеся отклонения отвеса уменьшились в 10 раз по сравнению с первоначальной величиной, выведенной без изостатич. редукции. Бови обработал многочисленные определения силы тяжести, также найдя значительное уменьшение аномалий. Наилучшим значением T он считает 96 *км*. Большая работа проделана финским геодезистом Гейсканеном, обработавшим определения силы тяжести с точки зрения обеих гипотез. Он нашел, что гипотеза Эри дает несколько лучшие результаты, чем гипотеза Пратта.

В настоящее время не приходится сомневаться в том, что теория И. в значительной степени соответствует действительному строению земной коры. Отдельные части коры могут и не быть изостатически компенсированными, и даже достигнутое полное равновесие неминуемо должно нарушаться перемещением масс на земной поверхности, связанным с явлением эрозии, вулканизма и т. п. Отсюда возникает вопрос, каковы по своим размерам те участки земной коры, которые могут оставаться некомпенсированными, будучи поддерживаемы не столько уравновешивающим их снизу давлением магмы, сколько сцеплением с соседними частями коры. Этот вопрос имеет большое теоретическое, а также и практическое значение, т. к. восстановление отсутствующего или нарушенного равновесия достигается путем перемещений частей земной коры, вызывающих колебания уровня земной поверхности и сейсмич. явления. Значение теории И. в геодезии также велико, так как теория эта позволяет наиболее полным образом учитывать отклонения отвеса и аномалии силы тяжести и тем самым определять элементы земного сфероида в меньшей зависимости от местных влияний. Элементы международного сфероида Гейфорда определены именно таким образом.

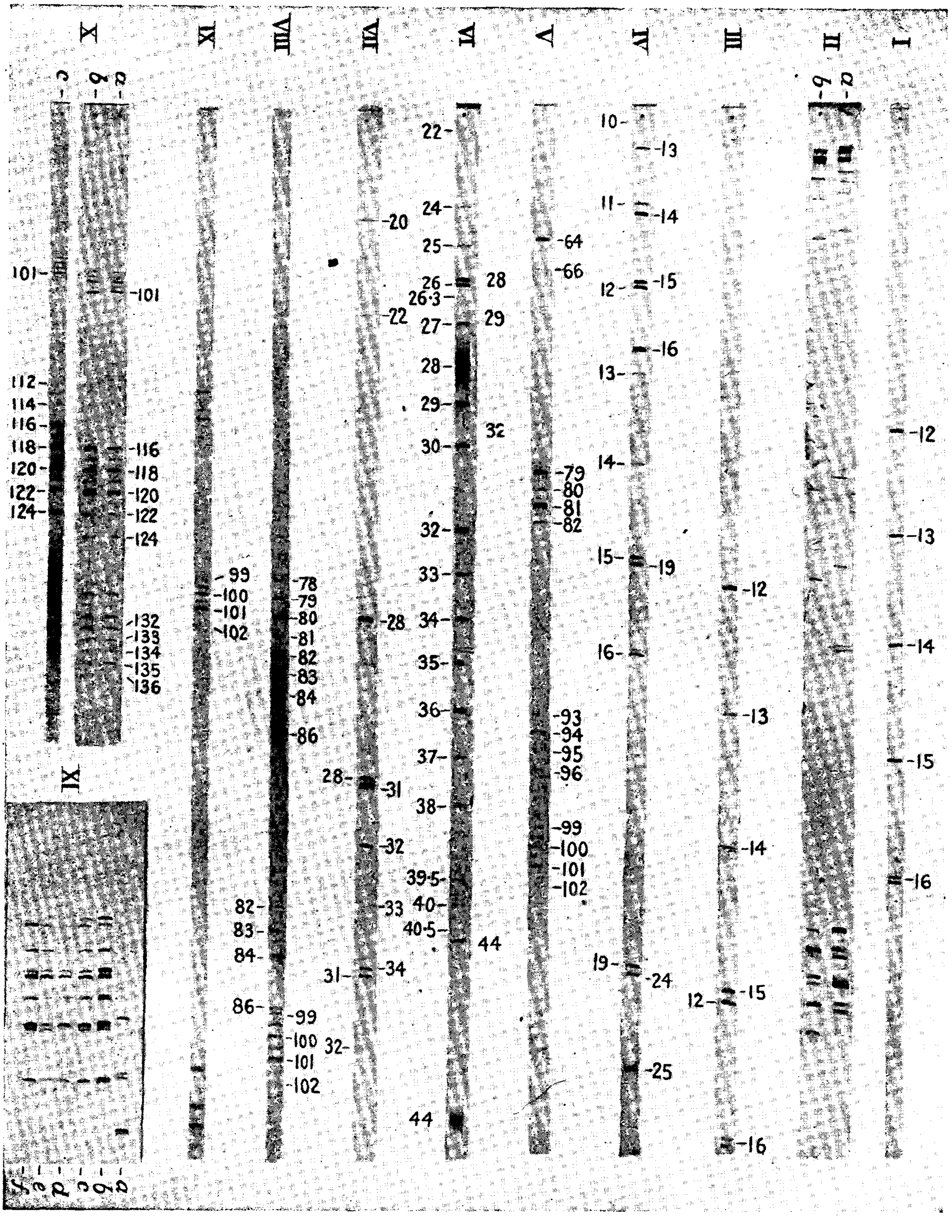
Лит.: Прей А., Теория изостазии, ее развитие и результаты, «Успехи физических наук», М., 1926, т. 6; Perrier G., Les raisons géodésiques de l'isostasie terrestre, «Annuaire du Bureau des longitudes pour l'an 1926», Paris, 1926; Bowie W., Isostasy, New York, 1927; Bowie W., Investigation of Gravity a. Isostasy, Wsh., 1917; Hayford J., The Figure of the Earth and Isostasy from the Measurements in the United States, Wsh., 1909; Hayford J. a. Bowie W., The Effect of Topography a. Isostatik Compensation upon the Intensity of Gravity, Wsh., 1912; Heiskanen W., Untersuchungen über Schwerkraft u. Isostasie, «Veröffentlichungen d. Finn. Geodäs. Inst.», Helsinki, 1924, *4*; Jeffreys H., The Earth, Cambridge, 2d ed., 1929; Meissner O., Tabellen zur isostatischen Reduktion der Schwerkraft, «Astronomische Nachrichten», Kiel, 1928, B. 206, p. 25—44.

А. Михайлов.

ИЗОТЕРМА, линия равной или постоянной $t°$, графически изображающая зависимость между величинами, характеризующими состояние какого-нибудь тела или системы тел при условии постоянства $t°$. Пример И.—кривая, выражающая зависимость между давлением и объемом газа при постоянной $t°$ (см. *Газ*). Вообще, если состояние системы изображается точкой, при чем координатами точки являются параметры, определяющие состояние, то И. называется линия, соединяющая точки равной $t°$.

И. в геофизике. Строят И. аналогично *изобарам* (см.). Изотермы и их изменения во времени позволили обнаружить важнейшие особенности распределения $t°$ воздуха, влияние на климат данной местности океанов, морских течений, континентальных массивов, различных видов ландшафта, а также $t°$-ные условия различных частей барич. систем. Этим же методом проведения изолиний изучается географич. распределение и других геофизич. элементов (см. *Земной магнетизм*). Однако, впервые подобный способ исследования был применен для $t°$ воздуха.

ИЗОТОПЫ, химич. элементы с различными ат. весами, но расположенные в одной и той же клетке периодич. системы Менделеева (ἴσος τόπος—то же самое место). Химические и большинство физич. свойств И. почти тождественны. В современном учении о строении атомов понятие И. характеризуется тем, что массы центральных положительных ядер у них различны, в то время как заряды этих ядер, а следовательно и число внеядерных электронов (атомный, или порядковый №), одинаковы. Химические свойства атомов определяются числом и расположением внешних электронов; поэтому у И. эти свойства совпадают; наоборот, свойства, зависящие от строения атомного ядра, именно—радиоактивные свойства, глубоко различны у разных И. Тонкие детали спектров так же определяются ядерными массами и поэтому неодинаковы у разных И. Понятие об И. введено в науку Ф. Содди на основании данных, полученных при исследовании радиоактивных элементов. Корпускулярные излучения радиоактивных тел приводят к следующим правилам изменения положения соответствующих атомов в периодич. системе: 1) при излучении α-частицы, атомного ядра гелия с двумя положительными зарядами (см. *Атомная теория*), остающийся элемент уменьшается по ат. весу на 4 единицы и по валентности отступает в периодич. системе на два столбца назад; 2) при излучении β-луча (электрона) в остающемся элементе ат. в. практически не изменяется, но по валентности элемент перемещается в периодич. системе на одно место вперед. Вследствие таких прерывных изменений и становится воз-



Массовые спектры Астона. I. Простой спектр группы C_1, виден дублет кислорода и метана. II. Двойные спектры: сравнение линий Br. III. Двойной спектр: сравнение CH_3 и C при напряжениях 280 и 352 V, дублет O и CH_4 виден в самом низу. IV. Двойной спектр: сравнение F и C_2 при напряжениях 280 и 352 V, заметна также линия B^{11}. V. Простой спектр CH_3Br: видны по две линии, соответствующие Br, HBr, CH_2Br и CH_3Br; ниже—второй порядок группы Hg. VI. Двойной спектр: сравнение Br^{81} с CO_2 при напряжении 300 и 324 V. В спектре, снятом при 324 V, видна очень слабая линия трехвалентного Br при 26,3. В спектре имеются линии серы, хлора и пр., и он служит прекрасной иллюстрацией равномерного распределения линий, отличающихся на единицу по массе. VII. Двойной спектр: видны линии P и его водородных соединений между линиями P и CO. VIII. Двойной спектр: сравнение Kr^{86} с Hg^{198}. Линии криптона видны ближе к середине. IX. Спектр, показывающий весьма ясно линии второго порядка группы Hg. X. Спектры *a* и *b* показывают равномерное распределение линий монометил-олова и ксенона, *c*—показывает одиннадцать изотопов олова. XI. Шесть двойных спектров: a) $Kr^{86} : CO_2$; b) $Kr^{78} : Kr^{80}$ и $Kr^{80} : Kr^{82}$; c) $Kr^{80} : Kr^{82}$ и $Kr^{82} : Kr^{84}$; d) $Kr^{82} : Kr^{84}$; e) $Kr^{84} : Kr^{86}$; f) после добавления бромистого метилена, $Br^{79} : Br^{81}$.

ТРЕСТ „ГЕОКАРТПРОМ"

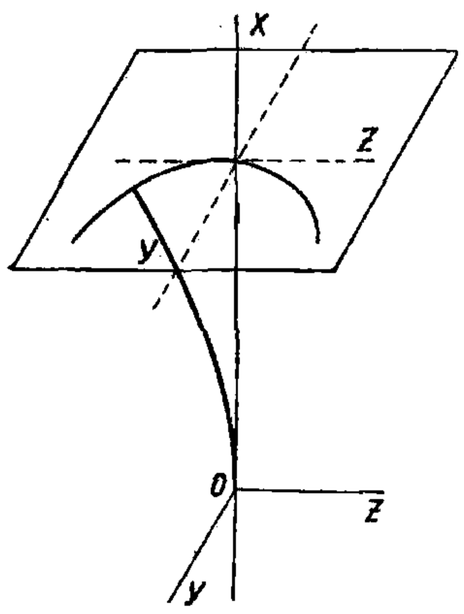
можным тот факт, что в одной и той же клетке системы элементов оказываются расположенными несколько различных атомов с разными ат. весами, но с одинаковым числом внешних электронов; эти атомы и будут И. В табл. 1 приведен пример группы радиоактивных И., имеющих общий ат. номер 84.

Табл. 1.—Радиоактивные изотопы с общим атомным номером 84.

Изотопы	Прибл. ат. в.	Период полураспада
Полоний	210	140 дней
Радий-А	218	3,0 мин.
Торий-А	216	0,14 ск.
Актиний-А	214	$2 \cdot 10^{-3}$ ск.
Радий-С′	214	10^{-6} ск.
Торий-С′	212	10^{-11} ск.
Актиний-С′	210	$5 \cdot 10^{-3}$ ск.

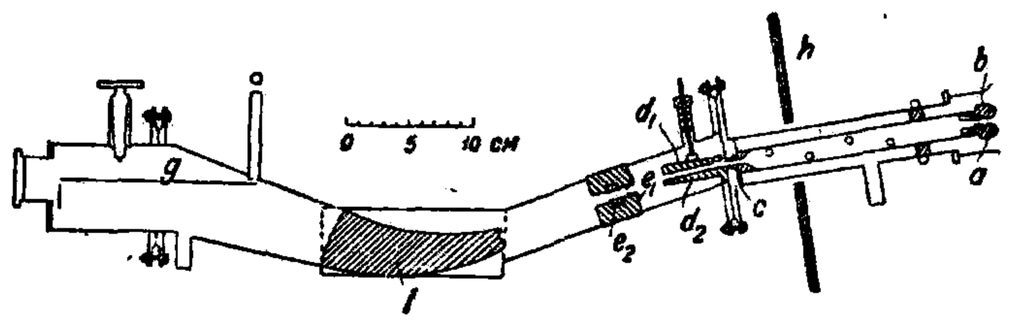
Элементы этой группы не разделимы химич. путем, но, как видно, необычайно различны по своим радиоактивным свойствам. Тщательно исследована изотопич. группа свинца (ат. номер 82); к этой группе относится по крайней мере 10 представителей с интервалом значения ат. в. от 201 до 214. Прямые измерения ат. в. свинца различного происхождения (из разных радиоактивных минералов) обнаружили вполне заметные вариации ат. в. По Ричардсу, ат. в. обыкновенного свинца равен 207,19, свинца из австралийского карнотита—206,34, из урановых руд—206,08. Содди высказал предположение, что и другие, нерадиоактивные элементы во многих случаях являются смесью различных И., чем и объясняются отклонения ат. в. от целых чисел. Это предположение вполне подтвердилось в замечательных исследованиях Астона, произведенных с т. н. масс о в ы м с п е к т р о г р а ф о м.

Метод и прибор Астона для исследования И. явились развитием метода химич. анализа при помощи положительных, или каналовых, лучей (см. *Лучи корпускулярные*), предложенного и осуществленного Дж. Дж. Томсоном. Частица, летящая в пучке каналовых лучей, является положительным ионом с определенным зарядом e, массой m и скоростью v. Подвергая эту частицу одновременному действию параллельно направленных магнитного и электрического полей, можно заставить каналовый луч отклониться, при чем величина отклонения будет зависеть от отношения $\frac{e}{m}$ и скорости v. Лучи с одним и тем же значением $\frac{e}{m}$, но различными v, развернутся в поверхность (фиг. 1), оставляющую при пересечении с какой-нибудь плоскостью YZ (напр. фотографич. пластинкой или фосфоресцирующим экраном), перпендикулярной к первоначальному направлению луча OX, параболическ. след. Изменение направления поля OY на противоположное вызовет поворот параболы. Разные точки параболы соответствуют разным скоростям. Для других значений $\frac{e}{m}$ парабола будет иная, но с той же вершиной. Т. о., частицы с разными массами и одинаковыми зарядами дадут разные параболы, положение и форма которых и дают средство определения m.



Фиг. 1.

Еще в 1912 г., до работ Содди, Томсон обнаружил указанным методом для каналовых лучей неона две параболы, соответствующие ат. в. 20 и 22, что заставило предположить существование нового элемента с ат. в. 22. Для изучения этого обстоятельства Астон построил массовый спектрограф, в к-ром метод Томсона был усовершенствован в различных направлениях. Соответственно располагая магнитные и электрич. поля, Астон достиг своего рода «ахроматизации» пучка каналовых лучей, заставив их при одном и том же $\frac{e}{m}$ сходиться в одной «точке» независимо от различных скоростей v. Комбинация магнитного и электрич. полей в приборе



Фиг. 2.

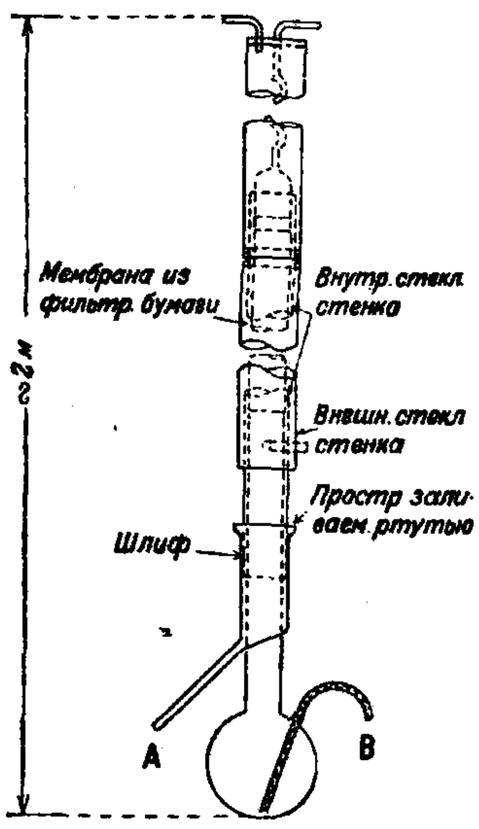
Астона действует подобно ахроматич. призме, отклоняющей световой луч, но не разлагающей его на цвета; угол отклонения определяется только отношением $\frac{e}{m}$. На фиг. 2 дана схема последней модели прибора. Разряд происходит в цилиндрическ. или шаровом сосуде, не изображенном на схеме. Через щель, или канал, a в катоде b каналовые лучи попадают во вторую щель c (обе щели шириной ок. 0,02 *мм*). В несколько искривленном пространстве между пластинами d_1, d_2 лучи подвергаются действию электростатич. поля, проходя диафрагму e_1, e_2, и затем попадают в область сильного магнитного поля f, образуемого мощным электромагнитом с полюсами, имеющими сечение, изображенное заштрихованной площадью. Лучи фокусируются на фотографич. пластинке g. Железные экраны h служат для защиты от магнитного поля. На вкладном листе воспроизведены массовые спектры Астона, полученные с новой моделью спектрографа. Каждой линии соответствуют каналовые частицы определенной массы, значения которой написаны сбоку (при чем масса атома кислорода считается равной 16). В спектре I виден дублет, соответствующий кислороду и метану (16), в спектре X, c видны линии 11 И. олова и т. д. Разрешающая способность нового прибора такова, что массы, различающиеся примерно на $^1/_{600}$, дают отдельные, не сливающиеся линии, а точность определения положения линий составляет около 0,1‰. При помощи массового спектрографа прежней и новой конструкции Астон обнаружил большое число И. для разных элементов (см. вкладной лист). В табл. 2 приве-

дены в виде примера новые данные Астона (1927 г.) для четырех элементов.

Табл. 2.—Данные Астона для серы, олова, ксенона и ртути.

Элемент	Ат. число	Ат. вес	Миним. число изотопов	Массовые числа изотопов в порядке их интенсивности
S . . .	16	32,06	3	32, 33, 34
Sn . .	50	118,70	11	120, 118, 116, 124, 119, 117, 122, 121, 112, 114, 115
Xe . .	54	130,2	9	129, 132, 131, 134, 136, 128, 130, 126, 124
Hg . .	80	200,6	6	202, 200, 199, 198, 201, 204

Наличие И. у многих элементов, к-рые являются, т. о., смесью атомов с разными массами, объясняет отклонения средних ат. весов от целых чисел. Есть, однако, и другой источник этих отклонений, менее значительный, но принципиально не менее важный. Если ат. в. O принять равным 16, то ат. в. H окажется равным 1,00778, ат. в. He—4,002; у H нет И., и следовало бы ожидать, что вес He д. б. равен учетверенному H, т. е. 4,03. Разница 4,03—4,00 соответствует, по Ланжевену, убыли массы при образовании ядра гелия из 4 протонов, т. е. из 4 водородных ядер. Эта убыль, как предполагается, эквивалентна радиации, сопровождающей процесс образования He; она определяет огромную устойчивость ядер He, вылетающих при радиоактивном распаде в виде α-частиц. Новые измерения Астона позволили установить, что ат. веса изотопов большинства элементов, даже в том случае, когда эти отдельные И., составляющие какой-нибудь один элемент, отделены друг от друга, также не выражаются целыми числами. В табл. 3 приведена величина $\frac{d}{m}$, убыль массы на каждый протон, входящий в состав ядра данного атома, где d—отклонение действительного ат. в. от массового числа m (числа протонов, входящих в состав атома). В этой табл. (в отличие от установленного в последнее время в химии правила) ат. в. H, конечно, принимается равным точно 1,000, поэтому $\frac{d}{m}$ для него равно точно нулю. Числа, стоящие в скобках около обозначений атомов, указывают атомное массовое число m. Из табл. видно, что $\frac{d}{m}$ имеет максимум в области изотопов криптона и затем начинает убывать. Возможно, что это уменьшение $\frac{d}{m}$ — первый признак повышающейся неустойчивости ядер тяжелых элементов,



Фиг. 3.

Табл. 3.—Значения величины $\frac{d}{m}$.

Атом	H	He	Li(6)	Li(7)	B(10)
$\frac{d}{m}10^4$	0	72	58	61	64
Атом	B(11)	C	N	O	F
$\frac{d}{m}10^4$	68	75	72	78	78
Атом	Ne(20)	Ne(22)	P	Cl(35)	A(36)
$\frac{d}{m}10^4$	78	75	83	82	84
Атом	Cl(37)	A(40)	As	Kr(78)	Kr(79)
$\frac{d}{m}10^4$	83	85	86	87	87
Атом	Kr(80)	Kr(81)	Kr(82)	Kr(83)	Kr(84)
$\frac{d}{m}10^4$	87	86	87	87	86
Атом	Kr(86)	J	Sn(120)	Xe(134)	Hg(200)
$\frac{d}{m}10^4$	86	83	85	83	79

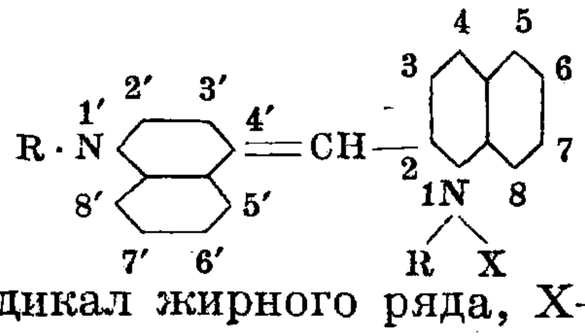
которая резко проявляется в радиоактивных явлениях.

Массовый спектрограф Астона, разделяя И., не дает, однако, возможности изолировать их в количествах, достаточных для изучения их физическ. свойств. Принципиально возможно, пользуясь различием атомных масс у И., разделить их в газообразном состоянии путем фракционированной диффузии и фракционированного испарения или путем комбинации обоих указанных методов. На фиг. 3 изображен аппарат Гаркинса для разделения И. ртути комбинированным испарением и диффузией. Испаряющаяся ртуть диффундирует через мембрану из фильтровальной бумаги. При многократном повторении этого процесса Гаркинсу и Мортимеру удалось получить фракции ртути, ат. веса которых отличались на 0,02 единицы.

Лит.: Астон Ф. В., Изотопы, пер. с англ., М.—П., 1923; M-me Pierre Curie, L'isotopie et les éléments isotopes, P., 1924; Aston F. W., A New Mass-Spectrograph and the Whole Number Rule, «Proc. of the Royal Society of London», L., 1927, series A, v. 115, p. 487; Harkins W. a. Mortimer B., The Separation of Isotopes a. a Further Separation of Mercury by Evaporative-Diffusion, «Philos. Magazine a. Journ. of Science», L., 1928, v. 6, p. 601, 1928; Discussion on the Structure of Atomic Nuclei, «Proc. of the Royal Society of London», L., 1929, series A, v. 123, p. 373.

С. Вавилов.

ИЗОЦИАНИНЫ, красящие вещества, обладающие весьма незначительной прочностью к свету, но незаменимые по своей сенсибилизирующей способности. По своему строению И. являются производными хинолина и имеют в основе нижеследующий скелет:

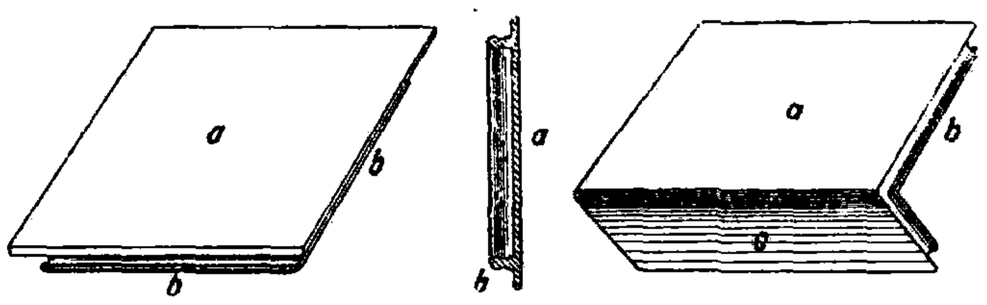


где R—радикал жирного ряда, X—остаток

кислоты. И. получаются при действии щелочей на производные хинолиналкилиодидов аналогично изомерным с ними цианинам [1,2]. Строение И. установлено работами Милса и др. [3]. Как сенсибилизаторы И. нашли применение в фотографическ. деле, где были испробованы впервые А. Мите [4]. Наиболее простой И.—этиловый красный, открытый в 1883 г. Шпалтенгольцем [5], представляет собой 1,1′-диэтил-И. Наибольшее применение имеет 1,1′, 6-триметил-И., выпускаемый в продажу под названием п и н а в е р д о л ь. Изоцианины—весьма дорогие красящие вещества, и в настоящее время 1 *г* пинавердоля стоит 25—30 р.

Лит.: [1]) H e w i t t J. T., Synthetic Colouring Matters: Dyestuffs, derived from Pyridine, Quinoline, Acridine, a. Xanthene, L., 1922; [2]) F i e r z-D a v i d H. E., Künstliche organ. Farbstoffe, B., 1926; [3])«Soc.», 1920, v. 117, p. 579, 1935; [4]) «B», 1904, B. 37, p. 2012; [5]) ibid., B. 16, p. 1847. **И. Иоффе.**

ИЗРАЗЦЫ, облицовочный материал для комнатных печей; И. состоят из пластины *a* и румпа *b* (фиг. 1). Поверхность пластины, противоположная румпу (т. е. при заделке наружная сторона), почти всегда покрывается глазурью и делается или совершенно



Фиг. 1.

Фиг. 2.

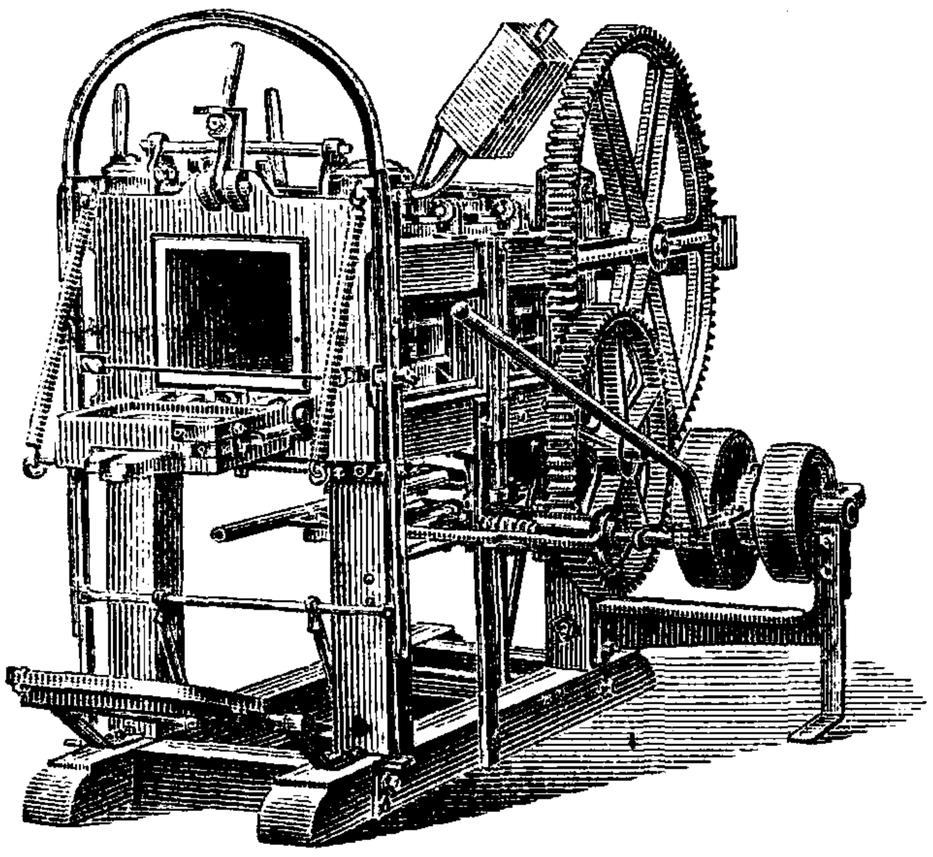
гладкой или же с рельефными украшениями. Румп, находящийся на задней стороне И., представляет собой четырехугольное кольцо с округленными углами и служит для примазывания И. к кладке печи, при чем внутренность румпа заполняется кирпичным щебнем с раствором. Кроме обыкновенного И., изображенного на фиг. 1, вырабатывают еще угловые И. (фиг. 2), а также карнизные. И. должны прежде всего выдерживать без повреждений и вообще существенных изменений быстрое нагревание печи. Для изготовления И. могут служить любые пластичные, дающие не слишком сильную усадку при обжиге, глины. Натуральный цвет глин для приготовления И. роли не играет, т. к. обыкновенно наружная поверхность И. покрывается белою или окрашенною, но не просвечивающею, глазурью или же *ангобом* (см.), покрытым в свою очередь прозрачною свинцовою глазурью. В отношении состава изразцовых глин следует отметить существенное влияние на качество приготовляемых изразцов содержания в них углекислой извести. Опыт показал, что для изразцовых масс допускается в среднем содержание 25—30% углекислой извести. Обыкновенно в качестве сырья для И. пользуются природными мергелями, и для получения изразцовых масс надлежащих качеств смешивают между собою различные глины и мергели. В случае недостатка углекислой извести в глине последняя м. б. обогащена углекислой известью добавкой к ней природного известняка или мела. Крупнозернистые песчаные примеси в глинах вредны для изготовления И., и поэтому д. б. удалены путем отмучивания. Однако, к отмучиванию изразцовых глин прибегают лишь в самых крайних случаях, т. к. эта операция существенно удорожает производство И. Более применим технически и более выгоден прием пропуска глины с крупнозернистыми примесями через бегуны или вальцы, где эти примеси измельчаются и одновременно тесно смешиваются с глиной. Примерный состав изразцовой глины следующий: 47,86% SiO_2; 11,90% Al_2O_3; 5,18% Fe_2O_3; 25,40% $CaCO_3$; 1,71% MgO; 3,66% щелочи; 4,64% воды.

П о д г о т о в к а массы заключается в отмучивании глины, если этого требует состав последней, и в перемешивании глины с добавляемыми к ней другими глинами, мелом или песком. Последний приходится прибавлять в тех случаях, когда глина жирна и ее не удается сделать достаточно формующейся добавкой других тощих глин. Тщательное перемешивание массы необходимо для получения доброкачественных И., особенно когда в состав массы входит несколько различных по свойствам материалов. При отмучивании глины удается значительно лучше перемешать массу, но зато в дальнейшем процесс усложняется работой по удалению избытка воды. Для удешевления процесса обезвоживания жидкой глиняной массы после отмучивания ее собирают в отстойные бассейны и дают глине отстояться. Воду сверху сливают, а оставшуюся густую массу высушивают до нормальной консистенции формующегося теста. Полученное тесто пропускают обыкновенно через вертикальную *глиномятку* (см.) несколько раз, после чего масса готова для формовки.

Ф о р м о в к а И. может быть ручная и машинная с помощью прессов. При ручном способе формовку И. можно вести двояко: 1) пластину и румп готовят отдельно, затем подсушивают (до состояния кожи) и тогда соединяют вместе с помощью жидкой массы; 2) и пластину и румп формуют и тотчас же соединяют вместе. В последнем случае обычно после высушивания перед обжигом И. подвергают шлифовке. Формовка пластины производится на гончарном круге, употребляемом в гончарном производстве, при чем для получения правильных размеров пластины пользуются металлическими или железными формами.

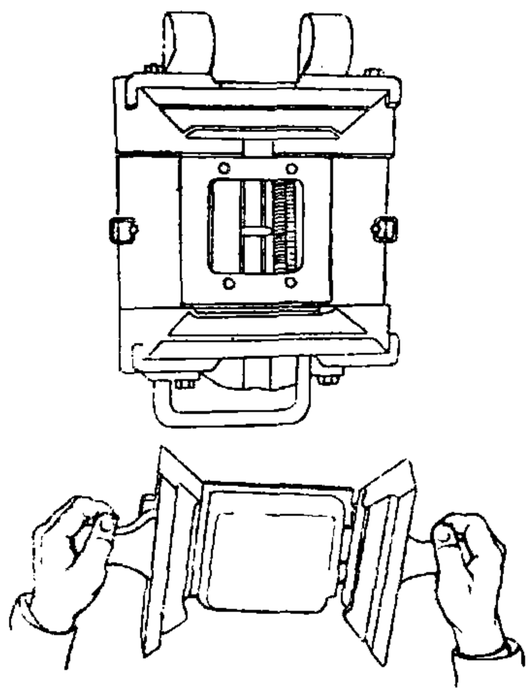
Для механич. формовки И. употребляют специальные (обыкновенно ящичные) прессы с ручным и механическ. приводом. Глину, помещенную в такой пресс, с помощью поршня выдавливают через соответствующий мундштук и втискивают в прижатую к мундштуку форму. Затем проволокой сформованный И. отделяют от всей массы глины и вынимают из формы. На фиг. 3 изображен изразцовый пресс Дрешера. Одной зарядки такого пресса может хватить на 30 штук И., прессуемых одновременно с румпом как одно целое. Первоначально формы готовились из гипса и для прочности связывались железными полосами. Они не требовали смазки маслом и давали И. с равномерной поверхностью. В последнее время формы начали делать металлические, гл. образом бронзовые. Перед наполнением глиной металлич. формы смазывают маслом, чтобы сформиро-

ванные сырые И. можно было легко вынимать из форм. Производительность такого пресса при двух рабочих—120—180 прямых кафелей и 80—95 углов в 1 час. В прессе

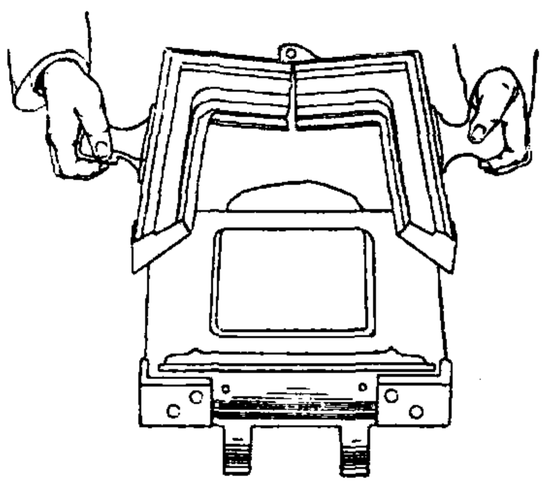


Фиг. 3.

фирмы Дехерт и с-ья имеется приспособление для выемки сформованных изразцов, для чего форма делается составной и укрепляется на общей плите; плита, как и в предыдущем случае, делается откидной и при формовке прижимается к мундштуку пресса помощью перекидного рычага. На фиг. 4 показаны отдельные части составной формы для этого пресса. При этом устройстве часть формы с сердечником для румпа позволяет после формовки снимать готовое сырье и выкладывать его пластиной книзу. Если же требуется после расформовывания выложить готовый И. на румп, то пользуются особым грейфером, изображенным на фиг. 5, к-рым отформованный И. подхватывается за румп, вынимается из формы и ставится пластиной кверху. Для формовки углов на прессе намонтировывается специальный мундштук, к которому во время формовки нажимается соответствующих очертаний форма. На фиг. 6 показан пресс для формования углов.

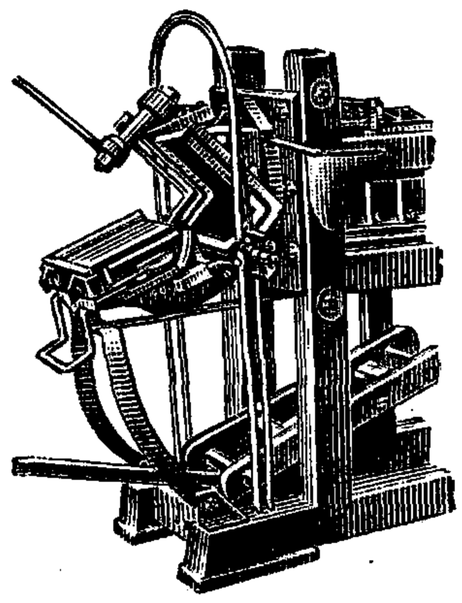


Фиг. 4.



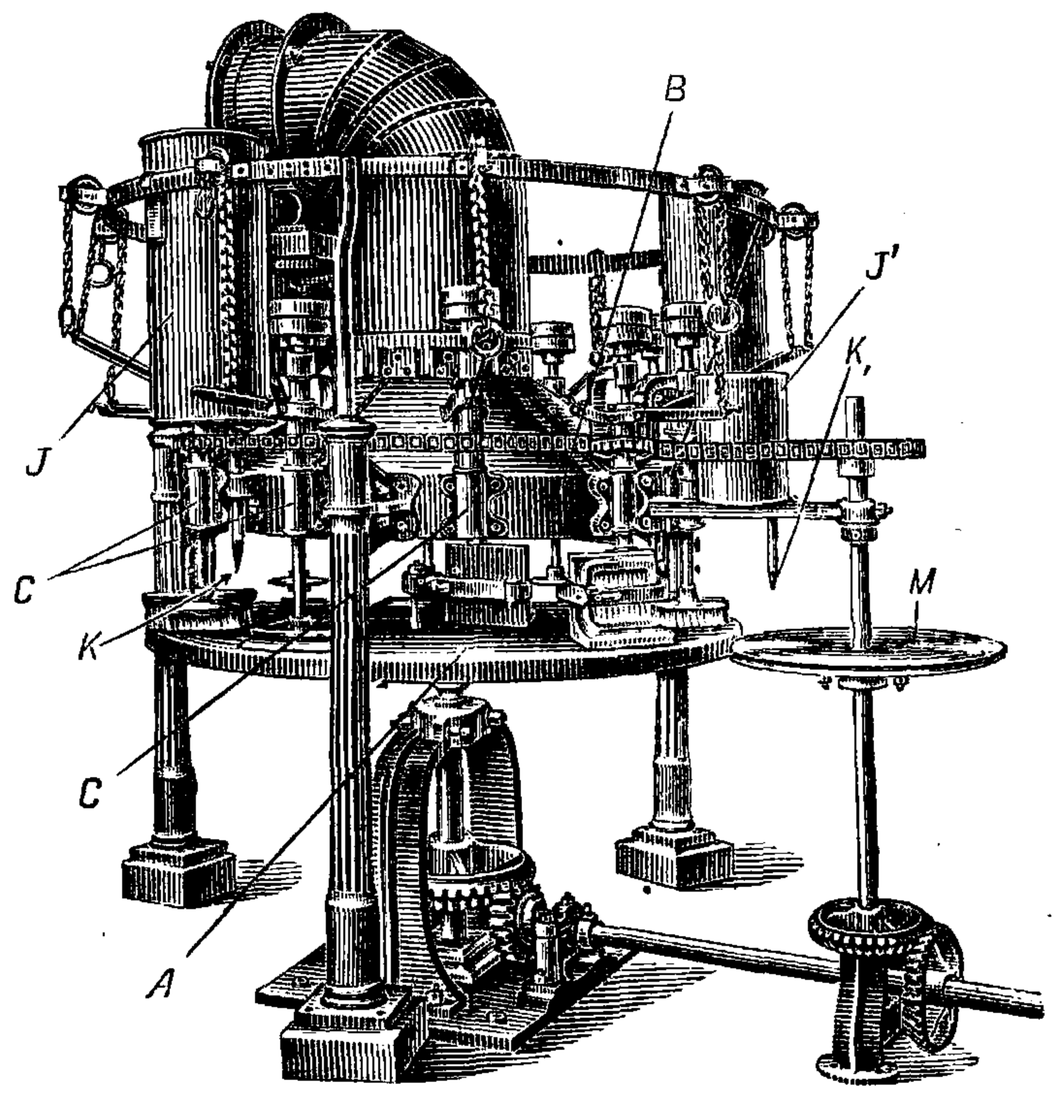
Фиг. 5.

После формовки И. сушат; так как при процессе сушки И., особенно с гладкими (без рельефов) поверхностями, коробятся и искажают свою первоначальную форму, то они в состоянии еще не вполне сухом подвергаются обработке, имеющей целью исправление дефектов сушки и сообщение им правильной и ровной поверхности, толщины и углов. Для этого подсушенные И. прихлопывают поверхностями о твердые полированные плиты из чугуна, гранита или мрамора, затем заглаживают деревянными правилками и, наконец, строгают и полируют специальными полировочными ножами и скалками. Углы, кроме того, проверяют по шаблонам и соответственно исправляют. Всю эту дополнительную обработку И. нужно производить при таком состоянии сухости, когда изделия хотя и сохраняют еще известную мягкость в обработке, но уже не имеют при дальнейшем высушивании склонности к усадке. После этих операций делается подправка поверхностных недостатков с помощью тестообразной массы, смешанной с шамотом, и, наконец, поверхность изразца заглаживается мокрой губкой или кожей; после этого изразец высушивают и иногда протирают наждачной бумагой.



Фиг. 6.

Обработанные т. о. изделия подвергаются первому обжигу (утильному) в тех же самых



Фиг. 7.

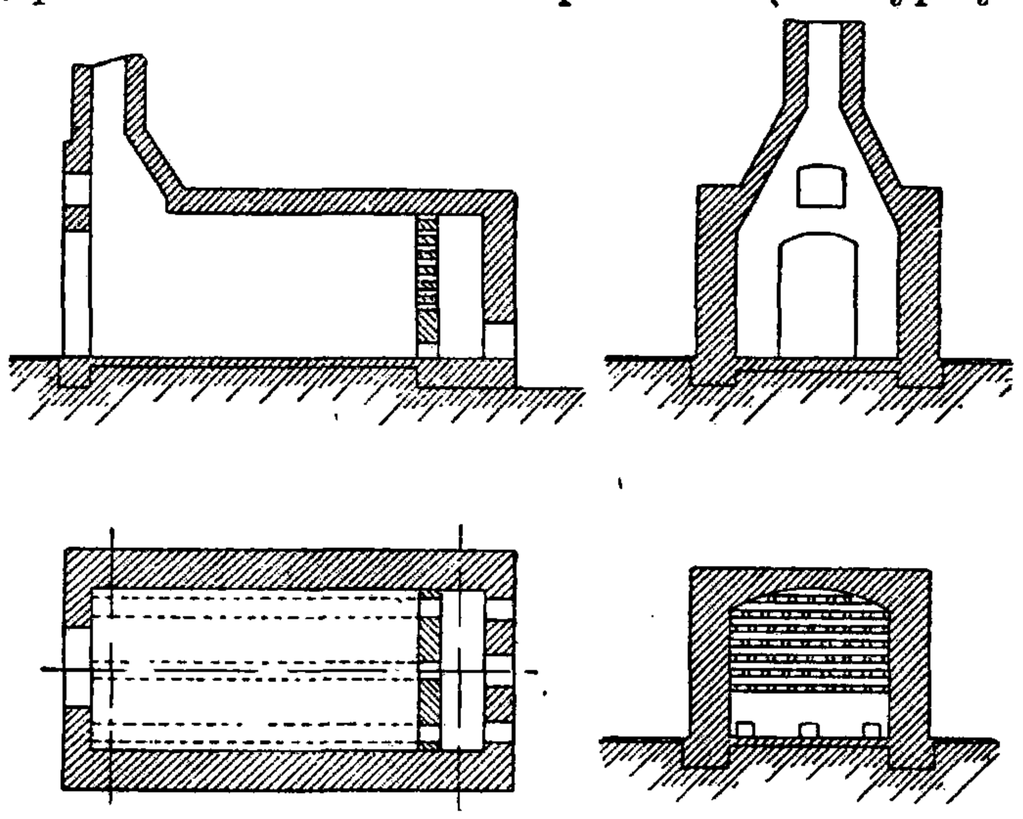
печах, в к-рых производят и окончательный обжиг глазурованных И. Так как при этом обжиге трудно избежать нек-рого искривления поверхностей изделия, особенно гладких, то после обжига необходимо И. подвергнуть шлифованию, чтобы иметь совершенно ровные поверхности и чтобы растекание глазури по поверхности было вполне равномерным. Эта операция при ручном способе сопряжена с трудностями, к-рые при шлифовании сырых изразцов не имеют места, и, кроме того, неизбежное выделение пыли при этой операции отражается на здоровьи рабочих, занятых этой обработкой. Эти затруднения устраняются применением специальных шлифовальных машин, в которых движется шлифующая плита, а И. или

остается совершенно неподвижным или же имеет только вращательное движение. На фиг. 7 представлен тип шлифовальной машины для обожженных изразцов, состоящей из медленно вращающейся железной плиты *A*, над к-рой на колоннах помещается особое кольцо *B* с примонтированными гнездами для ползунов *C*, которые в свою очередь опираются на обоймы, охватывающие шлифуемые И. С помощью цепи (или зубчатого колеса) валы ползунов приводятся во вращательное движение, которое м. б. приостановлено для каждого вала в отдельности особыми рычагами. При сухом шлифовании верх машины устраивается конусообразным и трубой сообщается с эксгаустером для отсасывания пыли. Для хранения песка, необходимого при шлифовании, машина снабжена 3—4 цилиндрич. сосудами *J*, из к-рых песок стекает на шлифовальную плиту по трубам *K*. При мокром шлифовании устройства для отсасывания пыли не требуется, и на его место на машине намонтировывается сосуд с водой. Рядом с большой шлифовальной плитой устраивается еще малая *M* для шлифования вручную места сгиба углов. Для этой плиты имеется сосуд с песком *J'* и к нему спускная трубка K_1. Производительность машины при 10 ползунах колеблется от 800 до 2 000 штук в день в зависимости от твердости шлифуемых поверхностей и шлифовального песка.

Глазурование. И. перед вторым обжигом покрываются глухой белой или окрашенной *глазурью* (см.)—свинцовой глазурью, в к-рую для заглушения вводится окись олова или криолит. Примерный состав глазури для И., выраженный в зегеровской формуле, следующий: 0,1 Na_2O; 0,2 CaO; 0,7 PbO; 2,8 SiO_2; 0,2 B_2O_3; 0,5 SnO_2. Получается эта глазурь предварительным сплавлением следующих материалов:

Свинцово-оловянной золы (полученной из 29 ч. олова и 71 ч. свинца)	232 ч.
Буры кристаллической	40 »
Известняка или мела	20 »
Кварцевого песка	168 »
Поваренной соли	20 »
Итого	480 ч.

В отношении состава изразцовых глазурей можно придерживаться следующих общих правил. Глазури для масс с большим содержанием извести должны иметь такое количество кремнекислоты, чтобы при плавлении они не могли извлекать кремнезема из самой массы. Если нужно с помощью щелочей сделать глазурь более легкоплавкой, то заменяют 0,1—0,2 эквивалентов окиси свинца щелочами, не изменяя количества кремнезема в глазури. При понижении $t°_{пл.}$ глазури с помощью борной к-ты нужно вводить борного ангидрида 0,2—0,3 эквивалента на 1 эквивалент окиси свинца; при этом должно сохраняться отношение окиси олова к щелочам 0,5 SnO_2 : 1 RO. В глазурях для масс с малым содержанием извести при незначительном содержании кремнезема заменяют часть окиси свинца щелочами и известковым боросиликатом. Если употребляются для глазури только щелочи, то содержание окиси олова должно быть выше указанного отношения. Если глазурь обнаруживает склонность к отскакиванию или растрескиванию, то целесообразнее изменять соответственным образом состав массы, а не глазури. В случае необходимости сохранить неизменным состав массы и подгонять к ней глазурь нужно для сильно известковых масс подбирать легкоплавкие глазури со сравнительно небольшим содержанием окиси олова, добавляя в известных случаях в глазурную смесь каолин. При массах с небольшим содержанием извести следует поступать обратно, т. е. употреблять тугоплавкие глазури с большим содержанием окиси олова и совершенно не вводить в глазури каолин. Глазурование И. производится поливанием, для чего глазурный материал д. б. тщательно измолот и разболтан в воде до консистенции густых сливок. Поливание выполняют вручную. Подготовленный вышеизложенным способом И. держат левой рукой в вертикальном положении, в то же время правой рукой с помощью деревянного ковша зачерпывают глазурную



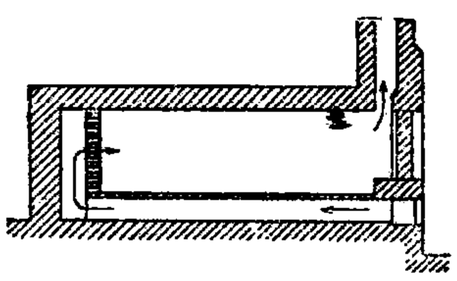
Фиг. 8.

массу и равномерно разливают по поверхности И.; при этом избыток глазури стекает в бак, где помещается глазурь. После подсушивания глазурного слоя зачищают ножом края и счищают щеткой избыток глазури.

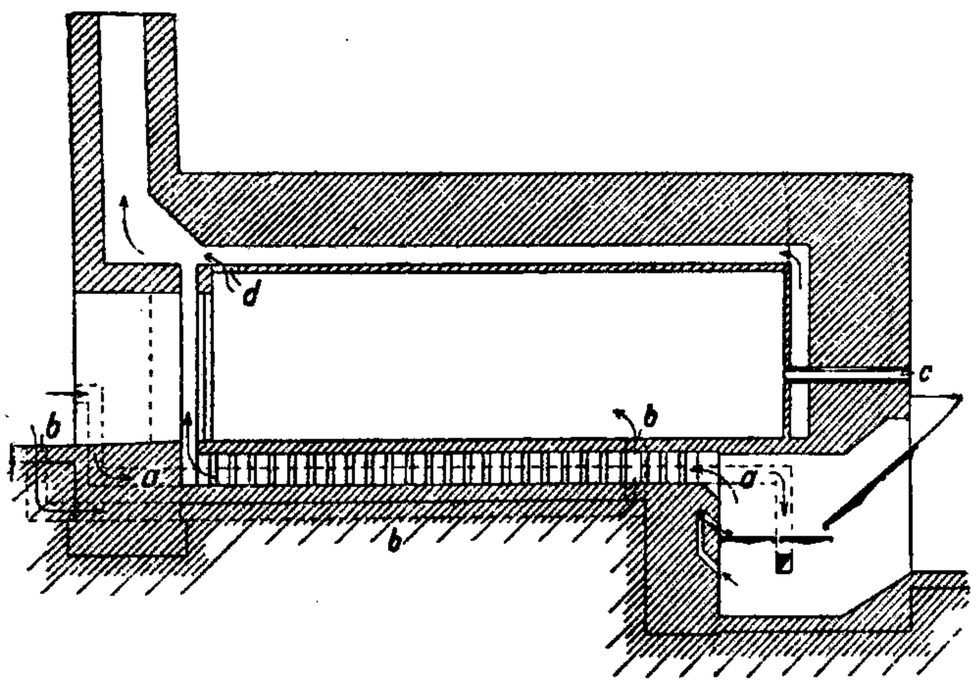
После глазурования И. подвергаются второму обжигу, во время к-рого нанесенный глазурный слой сплавляется и равномерно растекается по поверхности изделия. Т. к. свинцово-оловянные глазури легко восстанавливаются, при чем глазурь в этом случае темнеет и содержит черные вкрапления, то следует при обжиге избегать сильно коптящего пламени, особенно в тот момент, когда глазурь только начинает сплавляться. Регулирование состава печной атмосферы легко достигается при употреблении в качестве топлива дров; кроме того, необходимо озаботиться также и защитой обжигаемых изделий от непосредственного воздействия пламени. Печные установки для обжига И. следует выбирать такие, чтобы в них м. б. легко получать окислительное пламя. Чаще всего для этой цели употребляются лежачие печи кассельского типа. В большинстве случаев такие печи представляют в плане прямоугольник, при чем короткая сторона снабжена топками, а противоположная ей—отводом для дымовых газов.

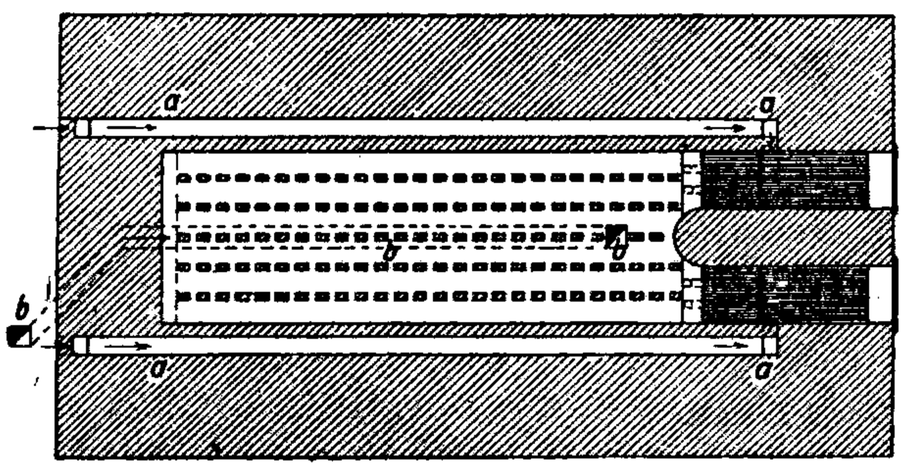
На фиг. 8 представлен тип кассельской печи, имеющей следующие размеры: длина

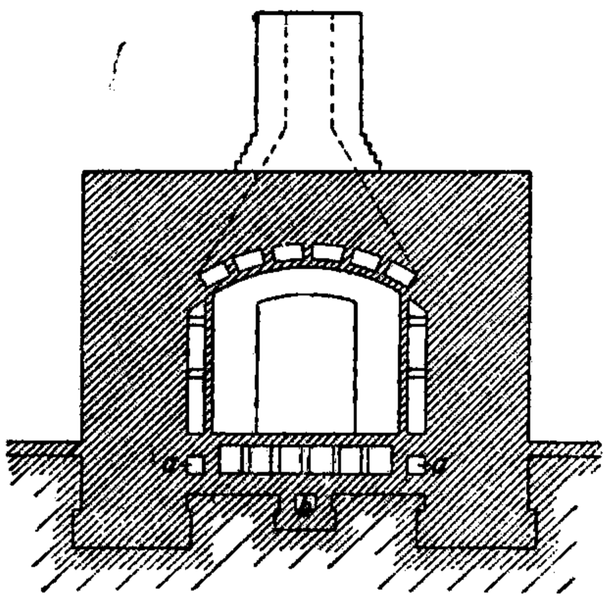
(включая топочную камеру) 5 *м* (длина рабочего пространства 4,25 *м*), ширина 2 *м*, высота в середине 1,70—1,80 *м*. Передняя стенка печи снабжена тремя печными отверстиями, из к-рых среднее делается обыкновенно больше крайних. Печное пространство от топочного отделяется ширмой в кирпич (25 *см*) толщиной, отстоящей от передней стенки на 50 — 60 *см*. Ширма эта сверху, более чем до половины, снабжена отверстиями для прохода пламени, внизу же на самом поду сделаны три широких отверстия, от к-рых по длине печи вплоть до задней стенки при установке обжигаемых изделий оставляются каналы для нижнего прогрева печного пространства. Задняя стенка печи снабжена входом для посадки изделий в печь,



Фиг. 9.



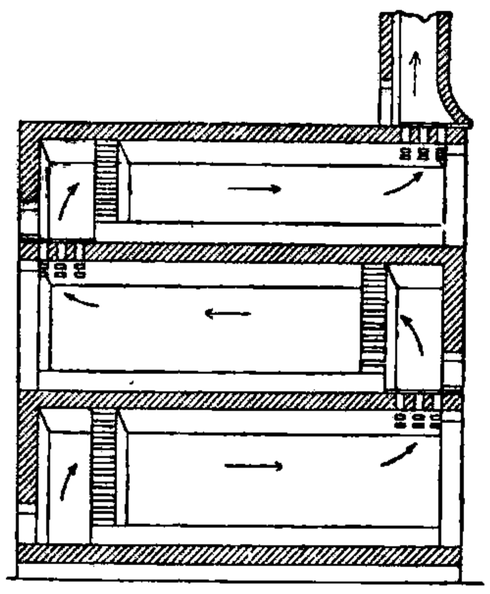




Фиг. 10.

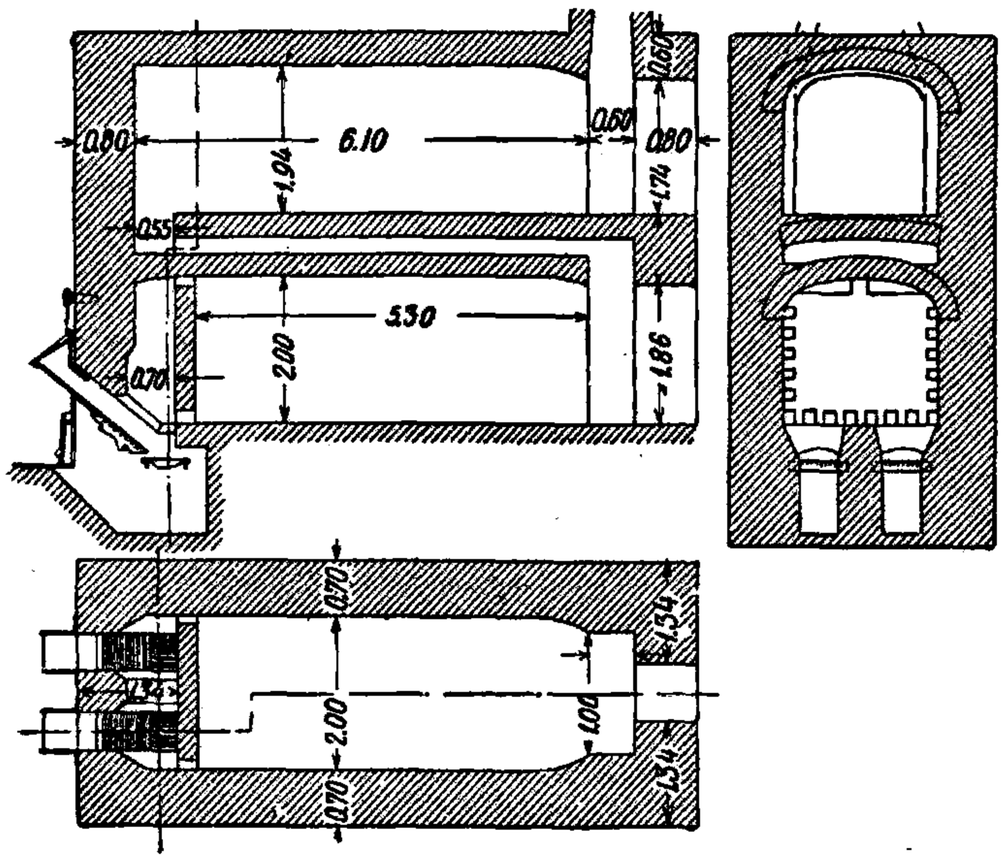
который во время обжига закладывается кирпичом и плотно замазывается. Отверстие над входом в печь служит для посадки изделий (сравнительно малоценных) в пространство под трубой. Как на вариант такой печи можно указать на печь с обратным движением пламени (фиг. 9). В этой печи, имеющей такую же форму, как и описанная выше, топочные отверстия, вход в печь и дымовая труба находятся в передней части печи. Пламя из топок идет низом по каналам под подом, поднимается около задней стенки, проходит через решетчатую ширму и движется по печному пространству в обратном направлении. Преимущество этой печи то, что получается чистое, беззольное пламя и легко достигается окислительная атмосфера, но зато, благодаря очень длинному пути пламени, изделия, находящиеся в печи у выхода печных газов в трубу, слабо обжигаются.

Чтобы вполне защитить изделия от непосредственного соприкосновения с пламенем, применяют при обжиге И. муфельные печи. Примером таких печей является печь Риппера, изображенная на фиг. 10. Внутри она представляет собой закрытый со всех сторон муфель. Топочные газы проходят внизу под подом муфеля по направлению к противоположной муфельной стенке; здесь они, поднимаясь, изменяют свое направление и возвращаются по боковым каналам с тем, чтобы затем направиться по верхним, лежащим над сводом, каналам в трубу. Каналы *a* подводят под колосники подогретый воздух. Канал *b* служит для подведения подогретого воздуха внутрь муфеля, чтобы с помощью его можно было удалять испаряемую изделиями влагу через отверстие *d*. В первый период обжига оставляется открытым также и смотровое отверстие *c* для входа в муфель внешнего воздуха. Когда $t°$ в печи доходит до темнокрасного каления, воздушный канал *b* закрывают, т. к. к этому времени вся влага уже удалена. В отношении размеров печи рекомендуется строить ее емкостью в 11—12 $м^3$. В виду весьма длинного пути, который должны проходить газы, необходимо для обжига выбирать лишь длиннопламенные сорта топлива. Муфельные печи, при всех своих положительных качествах, обладают тем недостатком, что потребляют сравнительно много топлива. Для сбережения топлива при обжиге строят многоярусные печи, в которых обжигаемые изделия постепенно нагреваются горячими газами, идущими от одного яруса вверх к последующим, где с помощью особых топок окончательно дожигаются. На фиг. 11 изображена трехъярусная печь Фейльнера, которая состоит из трех поставленных друг на друга кассельских печей. Пламенные газы из нижней печи поступают во вторую печь через отверстия, сделанные в своде, и таким же образом из второй печи поступают в третью, откуда уходят в трубу. Когда обжиг в нижней печи закончен, сообщающиеся со второй печью отверстия закрывают, и продолжается обжиг изделий, уже достаточно подогретых во второй печи, и т. д. На фиг. 12 изображена двухэтажная печь Крафта с угольной экономической топкой и с камерой му-



Фиг. 11.

фельного типа. Муфель (на фиг. не показан) строится из отдельных плит таким образом, что его под выстилается из плит на поставленных на ребро кирпичах (см. разрез), боковые стенки также строятся из плит и



Фиг. 12.

упираются на выпущенные из стенок печи кирпичи. Свод муфеля выводится каждый раз после окончания посадки изделий или из шамотных плит или же из необожженных И. Топочные газы проходят внизу, омывая со всех сторон муфель, поднимаются у задней стенки печи вверх, проходят в обратном направлении через междуэтажную полость и попадают во второй этаж, откуда уже выводятся через свод в трубу.

При посадке И. в печь устраивают сначала по длине печи шуровые каналы высотой около 25 *см* и шириной 15—20 *см*. Затем тотчас же за ширмой устанавливают вертикальный ряд бракованных И., лучше всего углов. Этот ряд сохраняется в продолжение нескольких обжигов и служит для задерживания золы и предохранения остальных изделий от действия остроконечного пламени, идущего непосредственно из топок. Далее следуют четыре ряда сырых (неглазурованных) И. и углов, затем ставят белый политой товар, и, наконец, последняя четверть печного пространства устанавливается изделиями с легкоплавкой глазурью или же сырым товаром. Под самой трубой снова укладывают, по возможности свободно, с большими промежутками, бракованные изделия. И. ставят на ребро попеременно обращенными друг к другу глазурованными поверхностями и румпами, по возможности близко друг к другу—с промежутками в 1—2 *см*. Для большей устойчивости изделия укрепляют глиняными подставками. Отдельные горизонтальные ряды разделяют особыми плитами. Обжиг ведется сначала медленно, при осторожном повышении $t°$. При начале плавления глазури, как было указано, следует избегать коптящего пламени, чтобы не было восстановительных процессов. По окончании обжига печь оставляют медленно остыть. За обжигом следят через смотровое окно с помощью зегеровских пироскопов и пробных черепков. Окончание обжига происходит обыкновенно при SK 010. Остуженный товар вынимают из печи и сейчас же сортируют.

Торговые сорта изразцов на русском рынке имеют полуторные размеры 22×40 *см* или 22×44 *см* и ординарные—22×18 *см* и 27×18 *см*. Немецкие (берлинские) кафели имеют размер 22×25 *см*. Производство И. в СССР распространено в различных районах, из которых наиболее известными являются: ленинградский, тверской, ржевский, копысевский, клинский, гжельский. В Москве производство весьма высоких по качеству И. развито на з-де б. Власова. На Нижегородском з-де б. Костина в настоящее время восстанавливается бывшее на этом з-де еще до войны 1914—18 гг. производство И. Довоенное производство печных И. для 1912 г. выражалось в 1 511 400 п. при чем это производство не удовлетворяло всей потребности в этого рода изделиях, и часть И., приблизительно ок. 300 000 п., в том же году была ввезена, гл. образом из Германии и Финляндии. Стоимость И. на московском рынке, согласно данным Московской товарной биржи, на 1927 г. колеблется в пределах 1,5—40 к. за штуку франко Москва-склад, в зависимости от сорта И.

Лит.: Будников П. П., Керамич. технология, Харьков, 1927; Философов П. С., Изразцы, Энцикл. словарь Брокгауза и Эфрона, т. 19, П., 1916; Kerl B., Handbuch d. ges. Tonwarenindustrie, 3 Aufl., Brschw., 1907. **П. Философов.**

ИЗУМРУД, разновидность минерала *берилла* (см.), драгоценный камень 1-го порядка. Красивый цвет И. обусловливается присутствием в составе его хрома и ванадия: преобладание первого дает золотисто-зеленый, второго—синевато-зеленый тон; окраска неравномерная, иногда зонарная. Чистые кристаллы без изъянов (муть, трещины, включения) очень редки. Величина кристаллов достигает 20 *см* длины и 15—20 *см* толщины. Нормально из 5 *к* ограночного материала получается 1 *к* ограненного камня. Месторождения И. немногочисленны; они связаны с внедрением пегматитов в амфиболиты, змеевики или им отвечающие силикатные породы, богатые Fe, Ca, Mg, или с прониканием апофиз пегматитов в битуминозные мергеля. В СССР известно месторождение «Изумрудные копи», славящееся крупными кристаллами И. золотисто-зеленого (Cr_2O_3 от 0,11 до 0,19%) и редко сине-зеленого цвета. Месторождение разрабатывается трестом «Русские самоцветы»; имеется шесть приисков на протяжении ок. 20 *км*; ширина зоны изумрудных пород 100—600 *м*. На предприятии имеется обогатительная ф-ка, обрабатывающая изумрудный сланец. Запасы ограночного материала значительные: до глубины 50 *м*—не менее 10 млн. *к*.

Из других месторождений известны копи Muzo и Coscuez в Колумбии; камни сине-зеленого тона. Месторождение очень значительное; длина его—8 *км*. Добывается среднего товара в год на сумму до 1 млн. руб. Небольшое значение имеют месторождения: в Бразилии (светлые искристые камни), Habachtal (около Зальцбурга) в Альпах, Poona в З. Австралии и Kjerringöe и Eidsvold в Норвегии. Общая мировая добыча равняется 1 100 000 р. В последнее время И. ценятся в 2—10 раз выше довоенного времени: стоимость 1 *к* исключительного качества—12 000 р.; 1-го сорта—2 000 р., обычного

рыночного товара—от 250 до 2 р. (среднее 40—50 р.).

Центры обработки: Париж, в СССР—Свердловск, где в день опытный мастер гранит 5—6 *к*; огранка ступенчатая и мелкая квадратная искра.

Из историч. камней можно отметить: 1) неграненые кристаллы—а) Николая I, 25 *см* дл. и 12 *см* шир.; б) Венского кабинета, 2 205 *к*; в) герц. Девонширского (Англия), 1 350 *к*; 2) граненые камни — И. Алмазного фонда, замечательного тона и чистоты—250 *к*, 153,75 *к* и 136,25 *к*. Для безошибочного определения качества камней изобретены лампы и лупы с выдвижными цветными фильтрами (фирмы Reichert в Вене и Emerald-Jami—P. E. Walton в Париже). Для улучшения игры, для временного скрытия трещин настоящий И. проваривают в деревянном масле. Подделки И. следующие: 1) смарагдолин—искусная имитация из стекла (несколько разностей) вплоть до подделки естественных изъянов настоящего И.; 2) дублеты, сплавленные или склеенные из двух частей, из к-рых верхняя—настоящий изумруд плохого качества или аквамарин, нижняя—кварц (редко тоже изумруд) или стекло; между ними имеется окрашенный слой, иногда яркая жидкость.

Лит.: Ферсман А. Е., «НИ», т. 1, 1926; его же, Драгоценные камни, т. 2, Л., 1925; Kraus E. a. Holden E., Gems a. Gem Materials, N. Y., 1925; Michel H., Die künstlichen Edelsteine, Lpz., 1926. **Е. Цинзерлинг.**

ИЗЮМ, сушеные ягоды винограда. Сушка ведется почти всегда на солнце. В СССР производство И. сосредоточено в Туркменистане и Узбекистане. До войны 1914—18 гг. из Туркестана вывозилось до 30 000 *m* И. в год, к-рые по районам распределялись так:

Районы	Вывоз в *m*
Самаркандский	15 750
Полторацкий	7 600
Бухарский	3 033
Ура-Тюбинский	2 300
Ходжентский	916

В последние годы вывоз И. из Узбекистана в среднем составляет ок. 14 000 *m*. Кроме того, до войны много И. привозилось из-за границы—в год ок. 29 000 *m*, при чем 95% ввоза приходилось на Персию. В настоящее время ввоз И. сократился: в 1922/23 г. ввезено 10 330 *m* И. из Персии. Более ценные и высокие сорта И. привозились из Испании (малага и др.) и из Турции (бессемянный — кишмиш, с семенами — розаки, из муската—элеми). В большом количестве в Россию ввозилась коринка (коринфский И.) из Греции.

В Узбекистане применяются три способа сушки винограда: 1) непосредственная сушка на солнце—автоби; 2) сушка в тени, в особых сушильных сараях с узкими отверстиями в стенах для пропуска воздуха,—сояги (т. о. сушится виноград сортов кара-маизи, белый кишмиш, вассарга); 3) сушка на солнце винограда после погружения его (обварки) в кипящий раствор поташа (или смеси поташа и извести)—абджет. Наиболее распространена непосредственная сушка на солнце. Обварка в известково-щелочном растворе применяется гл. обр. при получении сортов гермиан, сабза; обариванием в щелоке достигается образование мельчайших трещин на кожице винограда, что ускоряет сушку. Сорта туркестанского И. и химический состав И. см. табл. 1 и 2.

Табл. 1.—Сорта туркестанского изюма.

Сорта И.	Сорта винограда для получения И.	Цвет	Содержание семян
Гермиан	Маска	Бурый	С семенами
Шигани	Кара-кишмиш	Фиолетово-черный	Без семян
Сабза	Ак-кишмиш	Желтый	» »
Бидана	Ак-кишмиш	Розовато-бурый	» »
Чиляги	Чиляги	Бурый	С семенами
Вассарга	Вассарга	Фиолетово-черный	» »
Хусайки	Хусайне	Светлокоричневый	» »
Таифи	Таифи	Светлокоричневый	» »

Табл. 2.—Химический состав изюма (по Ф. Церевитинову).

Сорта	Вес 100 ягод, *г*	Вода, %	Инвертный сахар, %	Азотистые вещества, %	Общих к-т (винных к-т), %	Целлюлоза, %	Зола, %
Шигани	38	25,2	61,5	1,57	1,16	1,02	1,96
Бидана	40	24,8	65,8	1,58	1,19	0,96	1,56
Туркмени	75	24,3	60,1	2,01	1,08	4,92	2,04
Таифи	74	22,4	63,7	1,71	0,74	2,01	2,67
Вассарга	90	24,9	60,7	2,14	1,78	5,64	2,37
Хусайки	118	22,4	63,2	1,98	0,54	3,44	1,90
Гермиан	106	22,5	66,0	1,92	1,26	3,73	1,67
Сабза персидская	39	22,3	68,1	1,59	1,35	0,95	2,29

Коринка, доставляемая Грецией, представляет собою мелкий черный бессемянный И., получаемый сушкой ягод особого вида виноградной лозы (Vitis corinthica или V. apyrena), разводимой по южн. берегу Коринфского залива, на Ионических о-вах, в Далмации и Сирии. Содержание сахара в коринке—66 %. Испания, а также Калифорния производят кувшинный И., или малагу, к-рая поступает в продажу в виде гроздей с гребнями. Малага содержит 62,8—67,8 % сахара.

Производство И. в С. Ш. А. Главным сортом винограда для получения бесточкового И. является «султанина» или «виноград Томпсона без косточек». Виноград собирают, когда уд. вес сока будет не менее 24° Баллинга. После сбора грозди винограда кладут в один слой на лотки из очень плотного картона или деревянные. Для ускорения сушки прибегают к обварке винограда щелоком. Концентрация щелока—0,1÷0,75 % (лучше 0,5 %) углекислого натрия или смеси углекислого натрия с едким натром; продолжительность обварки—3÷6 ск. Лотки с виноградом расставляют

на сушильном дворе или на винограднике, а через 3—5 дней, когда виноград наполовину высох, его переворачивают; еще через 2—3 дня лотки складывают один на другой в клетки (штабеля), в которых заканчивается процесс сушки. Полученный И. очищают от примесей, сортируют по величине ягод и погружают в холодный раствор двууглекислого натрия, на поверхности к-рого находится тонкий слой прованского масла; благодаря этому ягоды покрываются тонким слоем масла, придающим сушеному продукту лоснящийся вид и предохраняющим ягоды от слипания. Готовый И. упаковывают в ящики. В Калифорнии готовят также И. мускат, поступающий в продажу в виде гроздей. Для этого сорта применяется обварка в щелочном растворе.

Громадное значение для И. имеют очистка и сортировка его на специальных машинах. Такая обработка И. всегда применяется в Калифорнии, отчего калифорнский И. содержит ничтожное количество примесей и является совершенно однородным. Туркестанский И., даже лучшие сорта, обычно содержит 1,2—3,5 % примесей (черешки, песок, земля и пр.), почему его необходимо подвергать очистке. В настоящее время в Самарканде построен завод для очистки и сортировки И., оборудованный новейшими американскими машинами.

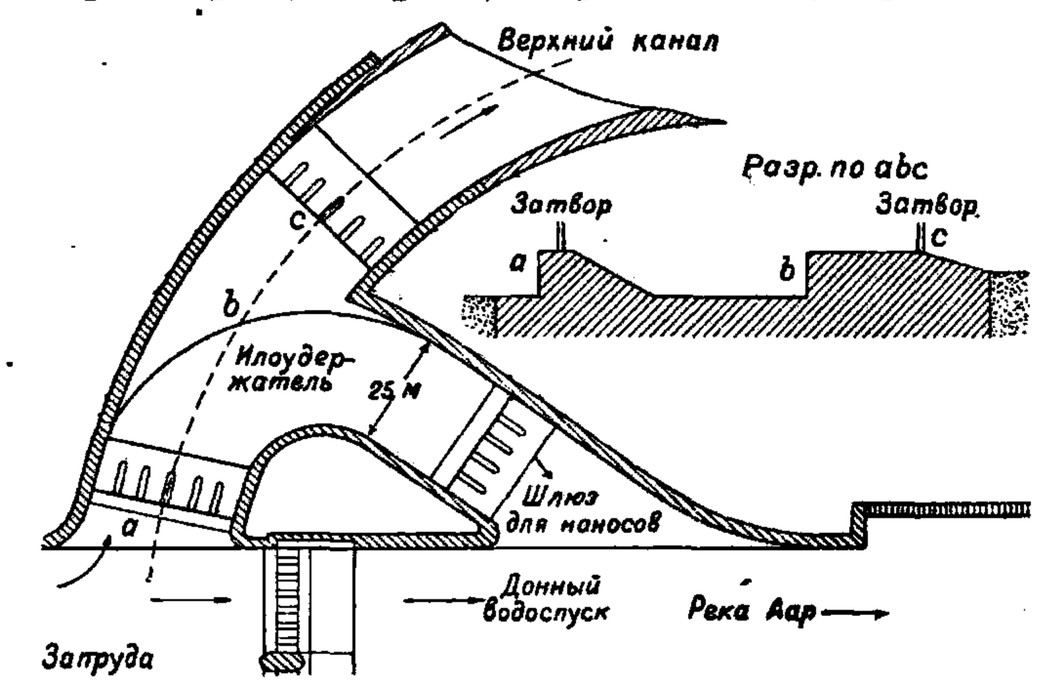
Лит.: Церевитинов Ф. и Урьев Ф., Туркестанский и персидский изюм и его исследование, «Вестник виноделия Украины», Одесса, 1927, 2; Cruess W. V., Commercial Fruit and Vegetable Products, N. Y., 1924. **Ф. Церевитинов.**

ИЛОУДЕРЖАТЕЛИ, илоуловители, пескоудержатели, наносоудержатели—вспомогательные устройства при гидротехнич. сооружениях на реках и каналах для задержания взвешенных в текучей воде наносов.

И. устраивают для уменьшения отложений в каналах и водохранилищах песка, ила и наносов, вредно влияющих на оросительные системы и др. гидротехнические сооружения. В некоторых случаях илоудержатели, особенно наносоудержатели и пескоудержатели, устраивают в целях регулирования водных потоков, когда изменяются направление реки и ее русло или же кольматируется прилегающая к руслу реки пойма. В последнем случае сооружения представляют систему наносоудерживающих, гл. образом плетневых, фашинных и древесных, *заграждений* (см.).

И., служащие для удержания наносов в каналах, в большинстве случаев встречаются двух типов: 1) И. для воды, несущей крупные наносы и грубые материалы по дну; 2) И.—осадочные бассейны с сечением, бо́льшим сечения нижележащего смежного участка канала или реки. Первый тип И. представляет собой камеру, дно к-рой находится ниже дна канала. По дну камеры устроены желобки, задерживающие наносы и грубый материал. Промывка такой илоудерживающей камеры производится через отверстие в стенке ее, а промытый материал сбрасывается в особый отводный канал или естественное русло. Второй тип И., в виде осадочного бассейна, обычно представляет расширенный участок канала с бетонированными стенками, при чем дно бассейна лежит ниже нормального дна канала. В нижнем конце осадочный бассейн снабжен промывными затворами. Длина бассейна делается не менее четырехкратной глубины воды в канале. Иногда, для уменьшения заиления каналов, И. устраивают в виде плотины с пониженным до дна реки порогом.

Типом И. при значительных наносах и высоких паводках может служить И. при плотине крупной электрич. станции Ванген на р. Ааре (см. фиг.). При таком устройстве



бо́льшая часть крупных наносов задерживается перед впускным шлюзом *a*, порог которого находится выше дна реки на 1 *м*. Промывка отложившихся перед шлюзом наносов происходит через донный водоспуск с порогом, пониженным до дна реки. Средние и мелкие наносы задерживаются перед порогом *b* и отлагаются в И. Отложившиеся в И. наносы промываются при закрытии затвора *c* и открытии спускного шлюза для наносов; при нормальной работе этот шлюз закрыт. Для предотвращения попадания в водоприводный канал наносов при наиболее высоких водах затвор *c* снабжен шлюзами.

Лит.: Акулов К. А. и Козлов Г. А., Курс водных сообщений, т. 2, М.—Л., 1928; Дангельштейн В., Сел.-хоз. гидравлика, СПБ, 1904; Зброжек Г., Курс водяных внутр. сообщений, 3 изд., П., 1915; Костяков А. Н., Основы мелиораций, М., 1927; Кандиба Б. Н., Регулирование рек, Л., 1927; статьи «Илоудержатель» и «Илоуловитель» в «Технич. Энциклопедии», изд. «Просвещение»; Mayer K., Das Elektrizitätswerk Wangen an d. Aare, «Z. d. VDI», 1906, B. 50. **А. Калабугин.**

ИМИДЫ КИСЛОТ, производные органич. многоосновных к-т, в к-рых 2 гидроксильных остатка замещены имидо-группой (имино-группой) $>NH$. И. к. получаются из соответствующих к-т или их ангидридов действием аммиака или перегонкой их кислых аммонийных солей или амидов.

При образовании И. к. происходит замыкание открытой цепи углеродных атомов

$$\begin{matrix}COOH\\|\\COOH\end{matrix} \longrightarrow \begin{matrix}CO\\|\\CO\end{matrix}\!\!>\!NH\,.$$

И. к.—кристаллич. вещества, плавящиеся, возгоняющиеся и перегоняющиеся без разложения, б. ч. хорошо растворимые в воде и спирте; при нагревании с водными растворами едких щелочей и к-т присоединяют воду и легко разлагаются на соответствующую к-ту и аммиак. С кислотами И. к. не реагируют и дают нейтральную реакцию (на лакмус). Водород имидо-группы легко замещается металлом, при чем образуются солеобразные производные.

От И. к. надо отличать имидокислоты—производные карбоновых к-т, образую-

щиеся замещением карбонильного кислорода группой NH, например:

$$R\cdot COOH \longrightarrow R\cdot C\begin{matrix}=NH\\ -OH\end{matrix}$$

Имидокислоты являются изомерами амидов соответствующих кислот: $R\cdot CO\cdot NH_2$ и известны лишь в виде производных—хлорангидридов и эфиров.

ИМПЕДАНЦ, полное (кажущееся) сопротивление цепи, отношение эффективного значения напряжения переменного тока к эффективному значению силы тока, возникающего под влиянием этого напряжения. При синусоидальном токе с частотой ω в цепи с сопротивлением R, индуктивностью L и емкостью C полное сопротивление Z определяется по ф-ле:

$$Z=\sqrt{R^2+\left(L\omega-\frac{1}{C\omega}\right)^2}.$$

Если изображать напряжение и силу тока при помощи комплексных чисел, то и полное сопротивление получает комплексное выражение:

$$\bar{Z}=R+j\left(L\omega-\frac{1}{C\omega}\right)=Z\cdot e^{j\varphi},$$

где φ определяется из ур-ия:

$$\operatorname{tg}\varphi=\frac{L\omega-\frac{1}{C\omega}}{R}.$$

Величина, обратная И., называется полною проводимостью или *адмитансом* (см.) и обозначается обыкновенно буквой $\bar{y}$:

$$\bar{y}=g+jb,$$

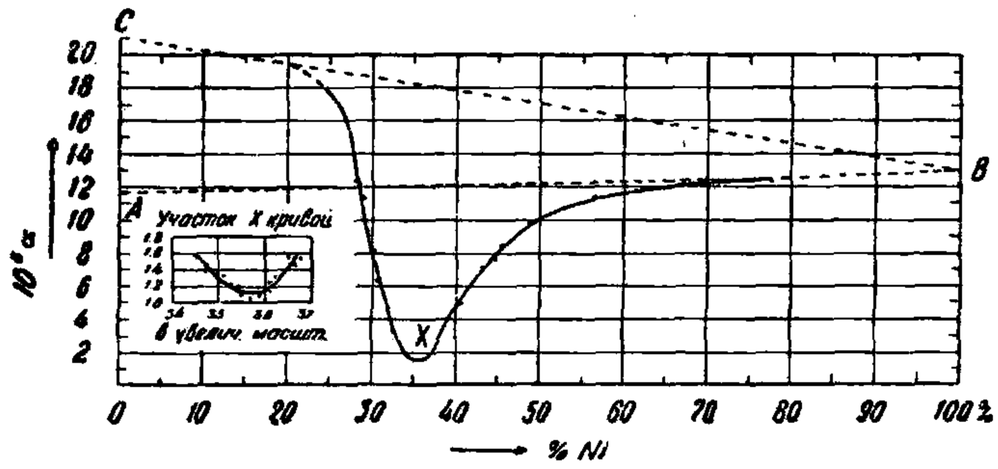
где g и b—активная и реактивная составляющие проводимости:

$$g=\frac{R}{Z^2},\quad b=\frac{\frac{1}{C\omega}-L\omega}{Z^2}.$$

Я. Шпильрейн.

ИМПСОНИТ (impsonite) завершает ряд асфальтовых пиробитумов, представляя последнюю стадию метаморфозы асфальтитов и асфальтовых пиробитумов. Нередко асфальтиты столь похожи по физич. и химич. свойствам на И., что многие промышленники на этом ошибались. Цвет в массе черный, излом неровный, блеск полутусклый, черта черная, уд. в. 1,10—1,25, твердость по Мосу 3, в пламени растрескивается, не плавится, твердого углерода содержит 50—85%, в сероуглероде нерастворим, минеральных веществ содержит 0,7—2,5%, серы 1,3—1,7%, кислорода меньше 5%. Месторождения—в виде жил мощностью 2—3 *м*, при простирании до 100 *м*. Глубина точно не известна. **П. П.**

ИНВАР (от invariable—неизменяемый), сплав никеля с железом, с чрезвычайно малым коэфф-том расширения, почти в 10 раз меньшим, чем коэфф. расширения железа. И. открыт директором Международного бюро мер и весов, проф. Гильомом. При исследований никелевой стали оказалось, что ее магнитные свойства, упругость и коэфф. расширения претерпевают закономерные изменения в строгом соответствии с изменением состава. Для метрологич. целей особенный интерес представляет изменение термич. коэфф-та расширения сплава железа с никелем (α_{20}). На графике (см. фиг.) наглядно иллюстрируется указанная зависимость. Точка *A* отвечает коэфф-ту расширения *α*-железа, точка *C*—коэфф-ту расширения *γ*-железа (см. *Железо*, *Гамма-железо*), точка *B*—коэфф-ту расширения чистого никеля. При постепенном увеличении содержания в сплаве никеля коэфф. расширения этого сплава, вначале мало отклоняющийся от направления *CB*, при содержании 25% никеля начинает сильно уменьшаться и достигает минимума при содержании в стали 36% никеля. При дальнейшем увеличении



содержания никеля коэфф. расширения повышается. Упомянутый 36%-ный сплав никеля с железом Гильом и назвал И. Если принять во внимание, что сплав этот противостоит действию химич. агентов, почти не изменяется на воздухе, легко подвергается обработке и хорошо полируется, то становится понятным распространение этого сплава для изготовления различных точных, не изменяющихся изделий. Недостаток И. состоит в том, что с течением времени термич. коэфф. расширения его претерпевает изменения. При обыкновенной $t°$ линейка из И. очень медленно удлиняется; если же ее выдерживать при 100°, то процесс удлинения ускоряется и, примерно, через 100 часов доходит до максимума. При охлаждении до нормальной $t°$ изменение длины вновь начинает обнаруживаться, и это явление наблюдается в течение многих лет. По мере увеличения содержания никеля, указанное явление в инваре постепенно ослабляется и в 43%-ной никелевой стали исчезает, снова появляясь при дальнейшем обогащении сплава никелем до 70%, когда получается уже совершенно неизменяемый сплав. Исследуя причины описанной неустойчивости И., Гильом нашел, что углерод, всегда присутствующий в железе, играет большую роль в этом явлении. Устойчивость И. находится в прямой зависимости от количества содержащегося в сплаве углерода: чем это содержание меньше, тем сплав устойчивее. Уменьшить или даже совершенно устранить это вредное влияние углерода оказалось возможным путем добавления к сплаву хрома или ванадия в небольшом количестве. Т. о. была разрешена задача изготовления сплава с малым и неизменным коэфф-том расширения. Применение никелевой стали не ограничивается лишь изготовлением мер длины (геодезич. базисных мер, проволок и т. п.), но имеет место и в часовом деле при изготовлении маятников из двух металлов—стали и латуни—для сохранения возможно большего постоянства их длины при изменениях $t°$; никелевую сталь можно подобрать так, что достигается полная гарантия неизмен-

ности длины маятника при всяких $t°$, а не только для двух определенных значений $t°$, как то было достижимо при применении обыкновенной стали.

Изучая изменение упругих свойств никелевой стали, Гильом нашел еще один способ ее применения. Коэфф. упругости данной никелевой стали при разных $t°$ изменяется вместе с изменением термич. коэфф-та расширения: чем этот последний меньше, тем коэфф. упругости больше. Но если к никелевой стали прибавить марганец или хром, то способность ее к изменению упругих свойств ослабляется, и при содержании 12% хрома это изменение в пределах определенных $t°$ становится почти незаметным. Получаемый т. о. сплав, названный Гильомом эльинваром (élasticité invariable), т. е. сплав с неизменяющимся коэфф-том упругости, нашел себе применение в некоторых областях техники, напр. для изготовления нитей в крутильных весах, для изготовления часовых пружин и т. п. См. также *Спр. ТЭ*, т. II.

Лит.: Guillaume Ch. Éd., Études métrologiques sur les aciers au nickel, «Travaux et mémoires du Bureau international des poids et mesures», Paris, 1927, t. 17; Chevenard P., Recherches expérimentales sur les alliages de fer, de nickel et de chrome, ibid.

А. Доброхотов.

ИНВАРИАНТЫ, в теории форм, такая функция коэфф-тов формы, которая, будучи умножена на модуль данного линейного преобразования, равна аналогичной функции коэфф-тов преобразованной формы (см. *Алгебраическая форма*). Линейное преобразование формы $f(x_1, x_2, \ldots, x_n)$, содержащей n переменных $x_1, x_2, \ldots, x_n$, состоит в замене этих переменных выражениями вида:

$$\left.\begin{aligned} x_1 &= a_1^{(1)}\bar{x}_1 + a_2^{(1)}\bar{x}_2 + \ldots + a_n^{(1)}\bar{x}_n \\ x_2 &= a_1^{(2)}\bar{x}_1 + a_2^{(2)}\bar{x}_2 + \ldots + a_n^{(2)}\bar{x}_n \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ x_n &= a_1^{(n)}\bar{x}_1 + a_2^{(n)}\bar{x}_2 + \ldots + a_n^{(n)}\bar{x}_n \end{aligned}\right\}, \quad (1)$$

где $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \ldots, \bar{x}_n$—новые переменные. Ф-ия $\varphi(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \ldots, \bar{x}_n)$, получившаяся в результате подстановки выражений (1) в данную функцию f, называется преобразованной функцией, а определитель

$$D = \begin{vmatrix} a_1^{(1)}, & a_2^{(1)}, \ldots, & a_n^{(1)} \\ a_1^{(2)}, & a_2^{(2)}, \ldots, & a_n^{(2)} \\ \ldots\ldots\ldots & & \\ a_1^{(n)}, & a_2^{(n)}, \ldots, & a_n^{(n)} \end{vmatrix}, \quad (2)$$

составленный из коэфф-тов выражений (1), называется модулем преобразования. Если $A_1, A_2, \ldots, A_{n+1}$—коэфф-ты членов данной формы f, а $\bar{A}_1, \bar{A}_2, \ldots, \bar{A}_{n+1}$—коэфф-ты преобразованной формы φ, то возможно образовать такую ф-ию I от $A_1, A_2, \ldots, A_{n+1}$, называемую И. данной формы f, к-рая, будучи умножена на модуль преобразования в некоторой степени, будет равна такой же ф-ии от $\bar{A}_1, \bar{A}_2, \ldots, \bar{A}_{n+1}$, так что

$$I(A_1, A_2, \ldots, A_{n+1}) \cdot D^\lambda = I(\bar{A}_1, \bar{A}_2, \ldots, \bar{A}_{n+1}). \quad (3)$$

Так, напр., для квадратичной формы с двумя переменными $A_1x_1^2 + 2A_2x_1x_2 + A_3x_2^2$ имеем формулы линейного преобразования:

$$x_1 = a_1^{(1)}\bar{x}_1 + a_2^{(1)}\bar{x}_2;$$
$$x_2 = a_1^{(2)}\bar{x}_1 + a_2^{(2)}\bar{x}_2.$$

Подставляя эти значения x_1 и x_2 в данную ф-ию, получаем преобразованную ф-ию:

$$\varphi = A_1(a_1^{(1)}\bar{x}_1 + a_2^{(1)}\bar{x}_2)^2 + 2A_2(a_1^{(1)}\bar{x}_1 + a_2^{(1)}\bar{x}_2)(a_1^{(2)}\bar{x}_1 + a_2^{(2)}\bar{x}_2) + A_3(a_1^{(2)}\bar{x}_1 + a_2^{(2)}\bar{x}_2)^2 = \bar{A}_1\bar{x}_1^2 + 2\bar{A}_2\bar{x}_1\bar{x}_2 + \bar{A}_3\bar{x}_2^2,$$

где

$$\bar{A}_1 = A_1a_1^{(1)2} + 2A_2a_1^{(1)}a_1^{(2)} + A_3a_1^{(2)2},$$
$$\bar{A}_2 = A_1a_1^{(1)}a_2^{(1)} + A_2(a_1^{(1)}a_2^{(2)} + a_2^{(1)}a_1^{(2)}) + A_3a_1^{(2)}a_2^{(2)},$$
$$\bar{A}_3 = A_1a_2^{(1)2} + 2A_2a_2^{(1)}a_2^{(2)} + A_3a_2^{(2)2}.$$

Нетрудно убедиться, что в рассматриваемом случае имеет место следующее равенство:

$$(A_1A_3 - A_2^2)D^2 = \bar{A}_1\bar{A}_3 - \bar{A}_2^2,$$

где $D = \begin{vmatrix} a_1^{(1)}, a_2^{(1)} \\ a_1^{(2)}, a_2^{(2)} \end{vmatrix}$;

так что $A_1A_3 - A_2^2$ есть И. рассматриваемой квадратичной формы. И. последних типов встречаются в аналитической геометрии.

В теории групп И. группы преобразований называется такая ф-ия координат $x_i^{(1)}$ и $x_i^{(2)}$ двух каких-либо точек многообразия n-го измерения M_n, к-рая при всех преобразованиях, принадлежащих к данной группе, сохраняет свой вид.

Пусть имеем n переменных $x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n$, могущих принимать всевозможные значения от $+\infty$ до $-\infty$. Совокупность M_n всех значений этих переменных называется многообразием n-го измерения. Совокупность каких-нибудь определенных значений этих переменных $x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, \ldots, x_n^{(1)}$ называется точкой или элементом многообразия, а отдельные значения этих величин называются координатами этой точки. Если переменные $x_1, x_2, \ldots, x_n$ связаны определенным образом с переменными $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \ldots, \bar{x}_n$ другого многообразия n-го измерения $\bar{M}_n$, то говорят, что одно многообразие переходит в другое при помощи преобразования координат или при помощи точечного преобразования, при чем обычно требуется еще, чтобы каждая точка одного многообразия переходила в одну и только в одну точку другого многообразия, и обратно. Наиболее простым точечным преобразованием является преобразование, при к-ром координаты преобразованного многообразия $\bar{M}_n$ являются линейными ф-иями преобразуемого многообразия M_n, т. е. при котором имеют место следующие равенства:

$$\bar{x}_i = a_i + \sum_{l=1}^{n} a_l^{(i)}x_l; \; (i = 1, 2, 3, \ldots, n). \quad (4)$$

Условием того, чтобы каждая точка M_n пере-

ходила в одну—и только в одну—точку $\bar{M}_n$, служит неравенство:

$$\begin{vmatrix} a_1^{(1)}, a_2^{(1)}, a_3^{(1)}, \dots, a_n^{(1)} \\ a_1^{(2)}, a_2^{(2)}, a_3^{(2)}, \dots, a_n^{(2)} \\ \dots\dots\dots\dots \\ a_1^{(n)}, a_2^{(n)}, a_3^{(n)}, \dots, a_n^{(n)} \end{vmatrix} \neq 0\,, \qquad (5)$$

где левая часть есть *определитель* (см.), составленный из коэфф-тов $a_l^{(i)}$. Преобразование, выраженное формулами (4), носит название а ф ф и н н о г о преобразования. Если, кроме того, n^2 коэфф-тов $a_l^{(i)}$ связаны между собой соотношениями

$$\sum_{i=1}^{i=n} a_r^{(i)} a_s^{(i)} = \delta_r^{(s)}\,; \quad r, s = 1, 2, 3, \dots, n, \qquad (6)$$

при чем $\delta_r^{(s)} = +1$ при $r = s$ и $\delta_r^{(s)} = 0$ при $r \neq s$, то преобразование называется а ф ф и н н ы м о р т о г о н а л ь н ы м преобразованием. Так, для случая трехмерного многообразия, т. е. при $n=3$, уравнения аффинного преобразования (4) принимают следующий вид:

$$\left.\begin{aligned} \bar{x}_1 &= a_1 + a_1^{(1)} x_1 + a_2^{(1)} x_2 + a_3^{(1)} x_3 \\ \bar{x}_2 &= a_2 + a_1^{(2)} x_1 + a_2^{(2)} x_2 + a_3^{(2)} x_3 \\ \bar{x}_3 &= a_3 + a_1^{(3)} x_1 + a_2^{(3)} x_2 + a_3^{(3)} x_3 \end{aligned}\right\}. \qquad (7)$$

Для случая же аффинного ортогонального преобразования имеем, кроме того, следующие соотношения, получаемые из (6) и выражающие обычные условия ортогональности в трехмерном пространстве:

$$\left.\begin{aligned} (a_1^1)^2 + (a_1^2)^2 + (a_1^3)^2 = 1 \;\big|\; a_1^1 a_2^1 + a_1^2 a_2^2 + a_1^3 a_2^3 = 0 \\ (a_2^1)^2 + (a_2^2)^2 + (a_2^3)^2 = 1 \;\big|\; a_2^1 a_3^1 + a_2^2 a_3^2 + a_2^3 a_3^3 = 0 \\ (a_3^1)^2 + (a_3^2)^2 + (a_3^3)^2 = 1 \;\big|\; a_3^1 a_1^1 + a_3^2 a_1^2 + a_3^3 a_1^3 = 0 \end{aligned}\right\}. \qquad (8)$$

Пусть имеется точечное преобразование, определяемое ф-лами

$$\bar{x}_i = \varphi_{1i}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n),$$

где $i = 1, 2, \dots, n$, и другое точечное преобразование, определяемое ф-лами

$$\bar{\bar{x}}_i = \varphi_{2i}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n),$$

где $i = 1, 2, \dots, n$; тогда точечное преобразование

$$\bar{\bar{x}}_i = \varphi_i(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n),$$

где $i = 1, 2, \dots, n$, являющееся результатом последовательного применения данных преобразований, называется их произведением. Обозначая символически эти преобразования соответственно через T_1, T_2 и T, можно написать: $T = T_2 \cdot T_1$, что в символической форме представляет следующее равенство:

$$\varphi_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = \varphi_{2i}[\varphi_{11}(x_1, x_2, \dots, x_n), \varphi_{12}(x_1, x_2, \dots, x_n), \dots, \varphi_{1n}(x_1, x_2, \dots, x_n)]\,. \qquad (9)$$

Нетрудно видеть, что произведение преобразований обычным свойством коммутативности не обладает.

В качестве примера действия над преобразованиями рассмотрим следующий случай. Преобразование T_1 заключается в следующем: $\bar{x}_i = 3x_i + a_i$, а преобразование T_2: $\bar{\bar{x}}_i = 2x_i - b_i$.

$$T = T_2 T_1 = 2(3x_i + a_i) - b_i = 6x_i + 2a_i - b_i\,;$$
$$T' = T_1 T_2 = 3(2x_i - b_i) + a_i = 6x_i - 3b_i + a_i\,;$$
$$T \neq T'.$$

Можно рассматривать не одно какое-либо преобразование, а целую совокупность преобразований, обладающих каким-нибудь общим свойством. Из таких совокупностей особое значение имеют в современной теоретич. физике и в теории относительности т. н. г р у п п ы п р е о б р а з о в а н и й (см. также *Группа*). Группой преобразований называют такую совокупность их, к-рая обладает тем свойством, что всякое произведение преобразований, входящих в состав данной совокупности, есть преобразование, также входящее в данную совокупность; например, если преобразования T_1, T_2, T_3 входят в состав какой-либо группы преобразований, то преобразования T_1T_2, T_2T_3, $T_1T_2T_3$ и т. д. также входят в состав этой группы. Символически группу преобразований обозначают через $\boxed{T}$. Часто какая-либо часть преобразований, входящих в состав данной группы, обладает каким-нибудь свойством, не общим для всей группы; тогда они составляют т. н. п о д г р у п п у преобразований. Само собою разумеется, что подгруппа преобразований также составляет группу; так, из группы точечных преобразований можно выделить т. н. m-п а р а м е т р е н н у ю подгруппу точечных преобразований, т. е. такую совокупность их, к-рая зависит существенным образом от m произвольных параметров $q_1, q_2, \dots, q_m$, так что

$$\bar{x}_i = \varphi_i(x_1, x_2, \dots, x_n, q_1, q_2, \dots, q_m)\,, \qquad (10)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$. Такую m-параметренную группу символически обозначают через $\boxed{G_m}$. Частный вид аффинных преобразований (4), например

$$\bar{x}_i = x_i + a_i\,, \qquad (11)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$, содержит в себе n параметров a_i, так что эту группу аффинных преобразований, называемую группой параллельного переноса, можно символически обозначить через $\boxed{G_n}$. Общая же группа аффинных преобразований (4) содержит n параметров a_i и n^2 параметров $a_l^{(i)}$, так что ее можно символически обозначить через $\boxed{G_{n+n^2}}$. При $n = 3$ эта группа будет содержать 12 параметров. Аффинная группа преобразований содержит в себе две подгруппы: подгруппу п а р а л л е л ь н о г о п е р е н о с а (11), получающуюся из (7) при $a_l^{(i)} = 0$, если $i \neq l$, и $a_l^{(i)} = 1$, если $i = l$, и т. н. о д н о р о д н у ю подгруппу аффинных преобразований, получающуюся при $a_i = 0$ и содержащую n^2 параметров $a_l^{(i)}$.

При исследовании целого ряда вопросов теоретич. физики, геометрии и т. д. особенно важное значение приобретают понятия И. г р у п п ы и и н в а р и а н т н ы х у р-и й группы. Как было уже сказано выше, И.

группы преобразований $|\overline{T}|$ называется такая ф-ия координат $x_i^{(1)}$ и $x_i^{(2)}$ двух каких-либо произвольно взятых точек многообразия M_n, к-рая не меняет своего вида при всех преобразованиях, входящих в состав данной группы. Т. о., если

$$I = I\left(x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, x_3^{(1)}, \ldots, x_n^{(1)}, x_1^{(2)}, x_2^{(2)}, x_3^{(2)}, \ldots, x_n^{(2)}\right) \quad (12)$$

есть И. данной группы, то должно иметь место равенство

$$I\left(\bar{x}_1^{(1)}, \bar{x}_2^{(1)}, \bar{x}_3^{(1)}, \ldots, \bar{x}_n^{(1)}, \bar{x}_1^{(2)}, \bar{x}_2^{(2)}, \ldots, \bar{x}_n^{(2)}\right) = I\left(x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, x_3^{(1)}, \ldots, x_n^{(1)}, x_1^{(2)}, x_2^{(2)}, x_3^{(2)}, \ldots, x_n^{(2)}\right)$$

при всех преобразованиях данной группы; так, для группы параллельного переноса (11) И. будет

$$I_i = x_i^{(2)} - x_i^{(1)}, \quad (i = 1, 2, \ldots, n), \quad (12')$$

так как $I_i' = \bar{x}_i^{(2)} - \bar{x}_i^{(1)} = x_i^{(2)} + a_i - x_i^{(1)} - a_i = x_i^{(2)} - x_i^{(1)} = I_i$.

Инвариантным ур-ием данной группы преобразований $|\overline{T}|$ называется такое ур-ие, содержащее координаты каких-либо двух точек многообразия M_n,

$$I\left(x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, x_3^{(1)}, \ldots, x_n^{(1)}, x_1^{(2)}, x_2^{(2)}, \ldots, x_n^{(2)}\right) = 0, \quad (13)$$

к-рое имеет при всех преобразованиях группы те и только те решения, что и ур-ие

$$I\left(\bar{x}_1^{(1)}, \bar{x}_2^{(1)}, \bar{x}_3^{(1)}, \ldots, \bar{x}_n^{(1)}, \bar{x}_1^{(2)}, \bar{x}_2^{(2)}, \ldots, \bar{x}_n^{(2)}\right) = 0, \quad (13')$$

рассматриваемое как уравнение относительно $x_i^{(1)}$ и $x_i^{(2)}$.

Если дана какая-либо ф-ия (12) координат $x_i^{(1)}$ и $x_i^{(2)}$, то совокупность всех преобразований, при к-рых эта ф-ия сохраняет свой вид, образует группу точно так же, как все преобразования, сохраняющие инвариантность данного ур-ия (13).

В частной теории относительности Эйнштейна и в электродинамике имеет фундаментальное значение особая подгруппа аффинной группы в M_4, называемая общею группою Лоренца и имеющая следующий инвариант:

$$I = \left(x_1^{(2)} - x_1^{(1)}\right)^2 + \left(x_2^{(2)} - x_2^{(1)}\right)^2 + \left(x_3^{(2)} - x_3^{(1)}\right)^2 - c^2\left(x_4^{(2)} - x_4^{(1)}\right)^2. \quad (14)$$

Кроме того, встречается аффинная подгруппа преобразований в M_4, имеющая инвариантное уравнение той же формы, что и (14), т. е. инвариантное ур-ие

$$I = \left(x_1^{(2)} - x_1^{(1)}\right)^2 + \left(x_2^{(2)} - x_2^{(1)}\right)^2 + \left(x_3^{(2)} - x_3^{(1)}\right)^2 - c^2\left(x_4^{(2)} - x_4^{(1)}\right)^2 = 0. \quad (14')$$

Последняя группа преобразований носит название расширенной группы Лоренца. Аналогично можно говорить об общей и расширенной группах Лоренца в многообразии M_2. В последнем случае формулы аффинного преобразования имеют следующий вид (из ф-лы 7):

$$\left.\begin{aligned} \bar{x}_1 &= a_1 + a_1^{(1)} x_1 + a_2^{(1)} x_2 \\ \bar{x}_2 &= a_2 + a_1^{(2)} x_1 + a_2^{(2)} x_2 \end{aligned}\right\}. \quad (15)$$

Или, если обозначить для простоты x_1 и x_2 через x и t, а коэфф-ты a_1, $a_1^{(1)}$, $a_2^{(1)}$, a_2, $a_1^{(2)}$, $a_2^{(2)}$ соответственно через a, a_1, a_2, b, b_1, b_2, то получим:

$$\left.\begin{aligned} \bar{x} &= a + a_1 x + a_2 t \\ \bar{t} &= b + b_1 x + b_2 t \end{aligned}\right\}. \quad (15')$$

Подставляя значение (15′) в равенство

$$\left(\bar{x}^{(2)} - \bar{x}^{(1)}\right)^2 - c^2\left(\bar{t}^{(2)} - \bar{t}^{(1)}\right)^2 = \left(x^{(2)} - x^{(1)}\right)^2 - c^2\left(t^{(2)} - t^{(1)}\right)^2, \quad (16)$$

выражающее требующуюся инвариантность, и произведя соответствующие преобразования, получим следующие соотношения между коэффициентами:

$$a_1^2 = \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}; \quad b_2 = -\frac{v^2}{c^2 b_1\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}; \quad b_1^2 = -\frac{\frac{v^2}{c^4}}{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \quad (17)$$

где $v = -\frac{a_2}{a_1}$; при этом группа преобразований (15′) принимает следующий вид:

$$\bar{x} = a + \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad \bar{t} = b + \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (18)$$

Полученная группа Лоренца в M_2, имеющая И. (16), называется частной группой Лоренца и имеет фундаментальное значение как в частной теории относительности, так и в новейшей волновой механике (de Broglie и др.).

Теория И. и соответствующих групп преобразований имеет крупное значение, т. к. по современным воззрениям как свойства пространства, так и основные свойства законов природы не зависят от координатных систем, т. е. они инвариантны по отношению к преобразованию координат. Об И. с точки зрения тензорного анализа см. *Тензорное исчисление*.

В теоретич. механике играют известную роль т. н. интегральные И., сущность к-рых в простейших случаях заключается в следующем. Допустим, что имеется система дифференциальных ур-ий:

$$\frac{dx_1}{dt} = X_1, \quad \frac{dx_2}{dt} = X_2, \ldots, \frac{dx_n}{dt} = X_n, \quad (19)$$

где $X_1, X_2, \ldots, X_n$ суть нек-рые ф-ии переменных $x_1, x_2, \ldots, x_n$ и t. Если принять переменные x_i за координаты пространства n измерений, а t рассматривать как меру времени, то совокупность дифференциальных уравнений (19) определит некоторое семейство кривых (D). Ур-ия движения точки по какой-либо из кривых семейства (D), а тем самым и вид кривой соответствуют определенным начальным условиям движения, т. е. значениям координат $x_1^0, x_2^0, \ldots, x_n^0$, имевшим место в момент t^0. Обозначим это начальное положение точки через P^0, а положение ее в момент t через P. Допустим, что мы рассматриваем вариации координат при перемещении P^0 по нек-рой кривой C^0 или при соответствующем перемещении P по кривой C', и возьмем далее интеграл

$$I = \int Q_1 \delta x_1 + Q_2 \delta x_2 + \ldots + Q_n \delta x_n, \quad (20)$$

где Q_i суть нек-рые ф-ии переменных $x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n$ и t, а интеграл взят вдоль кривой C'.

Если перемещать точку P^0 по C^0, то x_i^a будут ф-иями некоторого параметра μ, принимающего на крайних точках C^0 нек-рые значения μ_0 и μ_1. С другой стороны, переменные x_i суть ф-ии от x_i^0 и t. Поэтому вдоль дуги C' координаты x_i суть также ф-ии параметров μ и t, при чем при интегрировании (20) следует считать $t=\text{Const}$. Если затем начать изменять время t, то пределы интегрирования останутся μ_0 и μ_1, но,. так как элемент интегрирования зависит от t, то и I в общем будет зависеть от t. Может случиться, однако, что I окажется независимым от времени t, какова бы ни была дуга C'. Такой интеграл и называется и н т е г р а л ь н ы м И.

Интегральные И. более сложных форм связаны с т. н. гамильтоновыми и каноническими ур-иями движения и нашли применение при исследовании вопросов, связанных с устойчивостью тел, в т. н. статистич. механике, в кинетич. теории газов, в термодинамике и других науках. Интегральные И. были впервые исследованы Пуанкаре.

Лит.: К л е й н Ф., О геометрич. основаниях Лоренцовой группы, сборник «Новые идеи в математике», СПБ, 1914, 7; Ф р е д е р и к с В. и Ф р и д м а н А., Основы теории относительности, Л., 1924; А п п е л ь П., Теоретич. механика, т. 2, М., 1911; L i e S o p h u s, Theorie d. Transformationsgruppen, B. 1—3, Lpz., 1888—93; L i e S o p h u s, Vorlesungen über kontinuirl. Gruppen. Zur Einführung in die Theorie derselben, bearb. u. hrsg. v. G. Scheffers, Lpz., 1891; K l e i n F., Ueber die geometrischen Grundlagen d. Lorenzgruppe, «Jahresbericht d. Deutsch. Mathematiker-Vereinigung», Lpz., 1910, B. 19; v. L a u e M., Die Relativitätstheorie, B. 1, Braunschweig, 1921; B l a s c h k e W., Vorlesungen über Differential-geometrie u. geometr. Grundlagen v. Einsteins Relativitätstheorie, B. 2, B., 1923; W e y l H., Raum, Zeit, Materie, 5 Auflage, B., 1923; P o i n c a r é H., «Acta Mathematica», P., 1890, v. 13; P o i n c a r é H., Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste, v. 3, P., 1899; C a r t a n E., Leçons sur les invariants intégraux, P., 1922; J e a n s J. H., The dynamical Theory of Gases, Cambridge, 3 ed., 1921; L e v i-C i v i t a T. ed A m a l d i U., Lezioni di meccanica razionale, v. 2, parte 2, Bologna, 1927; W h i t t a k e r E., Analytische Dynamik der Punkte und starren Körper, Berlin, 1924; A p p e l l P., Traité de mécanique rationnelle, v. 2, Paris, 1924, v. 5, P., 1925; C a r n o y J., Cours de géométrie analytique, Paris, 1904; N i e w e n g l o w s k y B., Cours de géométrie analytique, v. 1—3, Paris, 1911—14.

М. Серебренников.

ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ, выяснение в натуре, описание, оценка и подсчет вещественных ценностей и расчетов (прав и обязательств) на определенный момент. П о л н а я И. распространяется на все хозяйство; ч а с т и ч н а я—только на часть его (отдел, отделение, цех и пр.) или на известную группу ценностей.

При о п и с а н и и ценностей точно устанавливается: а) время проверки; б) точное название предметов; в) местонахождение—по плану, по номеру и названию помещения, а при нахождении вне данного хозяйства—точное его местопребывание и условия последнего (в аренде, залоге, на хранении, комиссии, в ремонте); г) принадлежность чужих объектов с указанием условий и оснований (залог, хранение, переработка, комиссия); д) главнейшие технич. признаки—тип, марка, год постройки, фирма, система, конструкция, материал, мощность, давление, размер; е) качественное состояние—износ, степень годности по полезному действию, по времени поступления, по расходам эксплоатации, по неточности действия, по ненадежности и неудобству работы, по устарелой конструкции; ж) количество в определенном измерении—по объему, длине, площади, поштучно; особо отмечается, как установлено это количество: сплошной проверкой или выборкой; з) степень готовности. По расчетам указывается: контрагент, характер расчета, документальное обоснование, дата и № документа, сроки платежей, размер расчета, реальность; долг причисляется к сомнительным в случае несостоятельности контрагента, направления дела в суд, спорности претензии, а к безнадежным—в случае отказа судом в иске, истечения давности, нерозыска должника. Особо отмечаются на основе документов те реальные авансовые расходы и доходы, которые относятся к будущему времени, как, напр., вперед уплаченная или полученная арендная плата.

О ц е н к а инвентаризируемых предметов производится: либо по стоимости приобретения, заготовки и производства (по себестоимости); либо по рыночным, биржевым, регламентированным продажным или покупным ценам; либо по восстановительной стоимости (стоимости воспроизводства); либо по реально возможной выручке в зависимости от годности, доходности и т. п. условий. Чужие, подлежащие возврату предметы оцениваются по указанию их владельцев, а при отсутствии такого указания — в обычном порядке или в условной сумме. В целях обеспечения правильности баланса и налогового обложения методы оценки обычно регламентируются законодательством. Наше законодательство устанавливает следующие правила. а) Земельные участки, месторождения ископаемых, леса и воды учитываются только количественно, без денежной оценки. В капиталистич. странах, где перечисленные объекты участвуют в гражданском обороте, они оцениваются на общих основаниях. До декрета о трестах от 29 июня 1927 г. эти объекты у нас показывались со справкой о их довоенной оценке. б) Строения, сооружения, машины, оборудование, инвентарь и т. п. имущество, как законченные, так и незаконченные, оцениваются по фактич. стоимости сооружения, постройки или приобретения, включая расходы по перевозке, установке и подготовке к действию. Исключение составляют предметы, сооруженные до установления твердой червонной валюты. Эти объекты раньше показывались в довоенной оценке с учетом износа; в настоящее время они переоценены в червонные рубли с учетом износа на дату их переоценки, и выявленная таким обр. их оценка принимается за исходную. Оценка имущества остается все время его существования неизменной, а износ его характеризуется амортизационными отчислениями (см. *Амортизация*). в) Котирующиеся ценные бумаги и иностранная валюта оцениваются по курсу Московской фондовой биржи на день И., а некотирующиеся—по стоимости покупки за вычетом включенных в нее организационных расходов. В описях особо указывается номинальная стоимость бумаг. г) Материально-товарные ценности оцениваются по

себестоимости. Для товаров, в тех случаях, когда себестоимость превышает продажные цены, особо указываются также и последние; на разницу в оценках по себестоимости и продажным ценам составляется особый резерв. д) Расчеты (права и обязательства) по открытым счетам, распискам, векселям и прочим документам показываются в полной сумме; безнадежные долги, до истечения давности, оцениваются в один рубль каждый, с отметкой об их полной первоначальной сумме; по сомнительным долгам отмечается особо размер сомнительной части, которая резервируется в балансе. Расчеты в иностранной валюте показываются в последней с пересчетом в рубли по курсу Московской фонд. биржи на день И. е) Расходы и доходы, относящиеся к будущему времени, показываются в сумме, оставшейся непогашенной прошлыми операциями.

Подсчитанные объекты классифицируются применительно к структуре и номенклатуре баланса по разделам и группам (имущество, материалы, товары, денежные средства, дебиторы и т. д.), к-рые, в свою очередь, детализируются (напр. имущество—на здания, машины, оборудование; здания—на производственные, обслуживающие, жилые, а равно на каменные, деревянные и т. д.).

Получаемая таким образом систематич. опись называется инвентарною описью и служит основой для инвентарного баланса.

И. обычно поручается определенным лицам или комиссиям, состоящим из счетных работников и инженеров или техников; эти лица или из центра инструктируют и контролируют работу или же на местах непосредственно производят И. Непосредственные работники по И. снабжаются специальными ведомостями, бланками, ярлыками, старыми описями и всеми необходимыми приспособлениями для обмера, подсчета и оценки. Для облегчения И. предметы обыкновенно заблаговременно размещаются по однородным группам, сортам, размерам и развесам. И. производится в порядке расположения имущества по корпусам, отделам и цехам. Предметы описываются и учитываются индивидуально, комплектами или целыми группами, в зависимости от их природы и ценности. Количество определяется: а) непосредственной проверкой, обмером и взвешиванием; б) по пробным партиям, с последующим исчислением всего количества по взятым пробам; в) наконец, количество устанавливается по бесспорным документам — накладным, надписям на упаковке и пр. Определение количества по пробе или по документам практикуется гл. обр. для громоздких и крупных партий, а равно там, где непосредственная проверка вызовет потери от раструски, утечки, усушки и порчи или лишние расходы, замедление работы и т. п. На проверенных предметах обычно делается особая отметка, а именно, наклеивается ярлык, прибивается инвентарный номер, ставится знак. Обычно каждому предмету имущества, входящего в состав основного капитала, присваивается постоянный инвентарный номер. Целесообразно устанавливать нумерацию по категориям имущественных объектов; напр. для зданий № 1—500, для машин—№ 501—1 000 и т. д., разбивая затем каждую категорию на более мелкие группы.

Инвентарные ведомости подписываются лицами, производившими И., и лицом, хранящим имущество. По окончании И. лица, производившие ее, составляют акт и отчет и вместе с подписанными ими инвентарными описями сдают управлению хозяйством.

Лит.: Гинзбург А., Техника инвентаризации, М.—Л., 1927; Герстнер П., Анализ баланса, М., 1926; Вейцман Н. Р., Курс балансоведения, гл. 10 и 11, М., 1928; Энциклопедия торгового счетоводства, под ред. Р. Я. Вейцмана, М., 1926; Законодательство по бухгалтерской отчетности, под ред. А. Локшина, гл. 7 и 8, М.—Л., 1926; Собрание законов СССР, 1927, *63*, стр. 636, 1928, *1*, стр. 2. См. также *Амортизация*, *Баланс*. **А. Локшин.**

ИНВЕРСИЯ в математике. 1) И. в теории соединений, нарушение нормального порядка двух элементов в перестановке независимо от того, стоят ли эти два элемента рядом или отделены друг от друга промежуточными элементами. Перестановка, в которой порядок элементов принимается за нормальный, называется главной.

Пример. В перестановке *eacbd* элементы *a* и *e*, *c* и *e*, *b* и *e*, *d* и *e*, *b* и *c* образуют И., если за главную принять перестановку *abcde*.

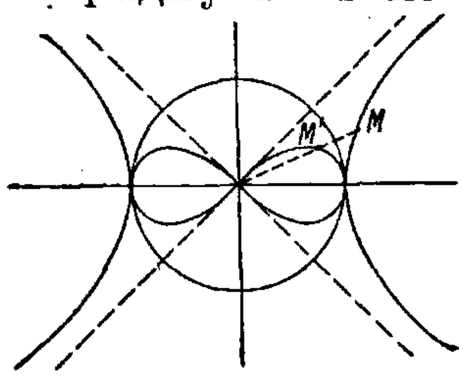
Перестановки без И. или с четным числом И. называются перестановками четного типа, а перестановки с нечетным числом И.—перестановками нечетного типа. Число перестановок того и другого типа из данного числа элементов одинаково. Для определения числа И. в данной перестановке нужно подсчитать элементы, стоящие перед элементом, к-рый в главной перестановке занимает первое место, затем, вычеркнув его, подсчитать элементы, стоящие перед вторым элементом (главной перестановки) и т. д.; сумма найденных чисел представит число И. в перестановке. Так, в приведенном выше примере, в перестановке *eacbd*—одна И. относительно *a*; в перестановке *ecbd*—две И. относительно *b*; в *ecd*—одна И. относительно *c*; в *ed*—одна И. относительно *d*,—всего пять И.; т. о., перестановка в этом случае нечетного типа. Перестановкам четного типа сопутствует знак «плюс», перестановкам нечетного типа—«минус». И. находят применение, напр., в теории определителей.

2) И. в геометрии, преобразование обратными радиусами, на плоскости состоит в следующем: задается окружность данного радиуса R с центром в точке O (центр И.). Любой точке M плоскости соответствует точка M', лежащая на полупрямой OM на расстоянии, удовлетворяющем равенству: $OM\ OM' = R^2$ (соответствие взаимное). Т. о., при И. область, внешняя относительно круга, переходит во внутреннюю и обратно; центр И. переходит в бесконечно удаленную точку плоскости (предполагаемую единственной). Ф-лы И. (если центр И. лежит в начале координат) для $M(x,y)$ и $M'(x',y')$:

$$x' = \frac{R^2 x}{x^2+y^2},\quad y' = \frac{R^2 y}{x^2+y^2}.$$

Окружности и прямые при инверсии переходят в окружности (в частном случае окружности переходят в прямые).

Пример. Равнобочная гипербола $x^2-y^2=1$ при И. в круге радиуса $=1$ переходит в лемнискату $(x'^2+y'^2)^2-R^4(x'^2-y'^2)=0$ (см. фиг.).



Инверсия в пространстве определяется аналогично, с заменой окружности поверхностью шара.

ИНВЕРСИЯ в химии, гидролиз полисахаридов; термин И. чаще применяется для обозначения гидролиза тростникового сахара:

$$\underset{\text{тростниковый сахар}}{C_{12}H_{22}O_{11}}+H_2O=\underset{\text{d-глюкоза}}{C_6H_{12}O_6}+\underset{\text{d-фруктоза}}{C_6H_{12}O_6}.$$

Процесс гидролиза полисахаридов связан с изменением направления вращения плоскости поляризации; так, тростниковый сахар вращает плоскость поляризации вправо ($[\alpha]_D^{20}=+66{,}67°$), а продукт его превращения—*инвертный сахар* (см.)—влево, а именно, $[\alpha]_D^{20}=-20{,}59°$.

И. протекает под каталитич. влиянием минеральных к-т или природных катализаторов—энзимов. И. тростникового сахара служила объектом многочисленных исследований как в области химич. кинетики, так и в области изучения природы каталитич. явлений (см. *Катализ*). Скорость И. в случае разбавленных растворов к-т (т. е. при полной диссоциации их) пропорциональна концентрации водородных ионов; в случае концентрированных к-т наблюдаются заметные отклонения в сторону возрастания констант, и потому нельзя считать вполне установленным, что каталитическим агентом являются только ионы водорода.

К энзимам, вызывающим И., относятся: инвертаза (инвертин), мальтаза, лактаза, раффиназа и др. Энзимы обладают специфич. действием; так, напр., мальтаза гидролизует только мальтозу и инактивна по отношению к тростниковому сахару, к-рый подвергается И. под влиянием инвертазы.

С. Медведев.

ИНВЕРТНЫЙ САХАР, инвертированный сахар, продукт *инверсии* (см.) сахарозы, представляющий собой смесь равных количеств *d*-глюкозы и *d*-фруктозы. Инверсия сахарозы происходит под влиянием кислот и энзимов по ур-ию:

$$\underset{\text{сахароза}}{C_{12}H_{22}O_{11}}+H_2O=\underbrace{\underset{\text{d-глюкоза}}{C_6H_{12}O_6}+\underset{\text{d-фруктоза}}{C_6H_{12}O_6}}_{\text{инвертный сахар}}.$$

Скорость инверсии зависит от концентрации сахарозы и кислоты, природы кислоты и температуры. Константа инверсии, по Вильгельми (Wilhelmy), равна

$$K=\frac{1}{t}\ln\frac{a}{a-x},$$

где a — количество молей (т. е. граммолекул) сахарозы в 1 *л*, x—количество молей в в 1 *л* инвертного сахара, образовавшегося за время t. Т. о., скорость инверсии в каждый данный момент пропорциональна концентрации негидролизованной сахарозы. Инверсионная энергия кислот, в случае слабой концентрации, пропорциональна концентрации водородных ионов. По Оствальду, инверсионные константы различных к-т при 25° и при концентрации, равной $0{,}5\,N$, выражаются следующими величинами, если принять константу для соляной к-ты за 100:

соляная к-та	100,0	лимонная к-та	1,72
азотная »	100,0	муравьиная »	1,53
серная »	53,6	яблочная »	1,27
щавелевая »	18,57	молочная »	1,07
сернистая »	15,16	уксусная »	0,40
фосфорная »	6,21		

Концентрированные кислоты повышают константу инверсии; кислые соли различных к-т обладают инверсионной способностью, средние же соли оказывают влияние на скорость инверсии или в сторону ускорения или в сторону замедления. Т. о., скорость инверсии зависит не только от концентрации водородных ионов [1]. При полной инверсии 1 вес. ч. сахарозы дает 1,053 вес. ч. И. с.

В технике И. с. готовят нагреванием 80%-ного сахарного сиропа с 0,05% соляной к-ты (или с 0,2% муравьиной, винной или лимонной к-ты) до 95 — 100°; затем нейтрализуют к-ту содой. По Герцфельду (Herzfeld), И. с. получают след. обр.: растворяют 125 *г* виннокаменной к-ты в 25 *л* воды, смешивают раствор с 100 *кг* сахара и нагревают на паровой бане до 103° в продолжение получаса; полученный горячий раствор И. с. фильтруют через полотно; охлажденный сироп сильно загустевает и может итти в пищу без нейтрализации.

Свежеприготовленный концентрированный раствор И. с. совершенно прозрачен, но при стоянии, особенно на свету, мутнеет вследствие кристаллизации глюкозы. Свойства И. с. определяются вполне свойствами углеводов, входящих в его состав, т. е. *d*-глюкозой и *d*-фруктозой. И. с. легко растворяется в воде и разбавленном спирте; плоскость поляризации вращает влево; удельное вращение его зависит от концентрации и в сильной степени от $t°$, а также и от реакции среды. В кислой среде И. с. имеет удельное вращение

$$[\alpha]_D=-\frac{27{,}9+0{,}044\,p-0{,}33\,t}{1{,}053},$$

где p—концентрация И. с., t—температура. При $p=10\%$ и $t=20°$

$$[\alpha]_D^{20}=-20{,}59°.$$

В нейтральной среде И. с. имеет удельное вращение несколько меньшее, а именно:

$$[\alpha]_D^{20}=-19{,}447-0{,}06068\,p+0{,}000221\,p^2.$$

При $p=10\%$ и $t=20°$

$$[\alpha]_D^{20}=-20{,}02°.$$

Влияние температуры на величину удельного вращения, по Гюббе (Gübbe), выражается следующими ф-лами:

при $t=$ от 0 до 30°

$$[\alpha]_D^t=-[\alpha]_D^{20}+0{,}3041(t-20)+0{,}00165(t-20)^2;$$

при $t=$ от 30 до 100°

$$[\alpha]_D^t=-[\alpha]_D^{20}+0{,}3246(t-20)+0{,}00021(t-20)^2.$$

И. с. обладает восстанавливающими свойствами и редуцирует медь из фелингова раствора. Этим свойством пользуются для количественного определения И. с. Для этого к 50 *см*³ фелингова раствора прибавляют 25 *см*³ исследуемого раствора, содержащего не более 1% И. с., объем доводят до 100 *см*³,

нагревают до кипения и кипятят точно 2 минуты. По количеству выпавшей закиси меди, по табл. Мейсля (Meissl), определяют количество И. с. [2]. Между выпавшей медью и И. с. существует такое соотношение:

$$y = -1{,}0845 + 1{,}9864\,x - 0{,}0008978\,x^2,$$

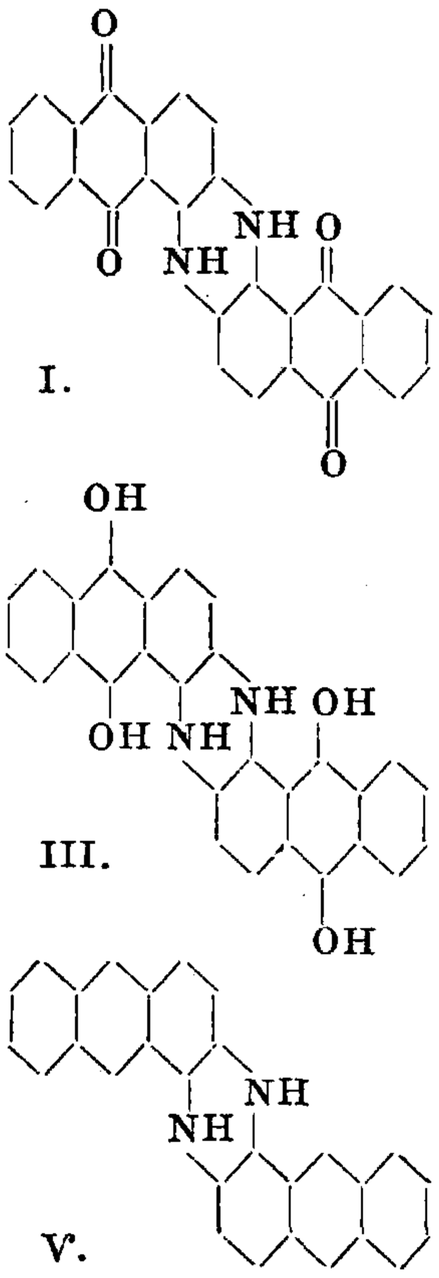
где y—количество меди в *мг*, x—количество И. с. в *мг*.

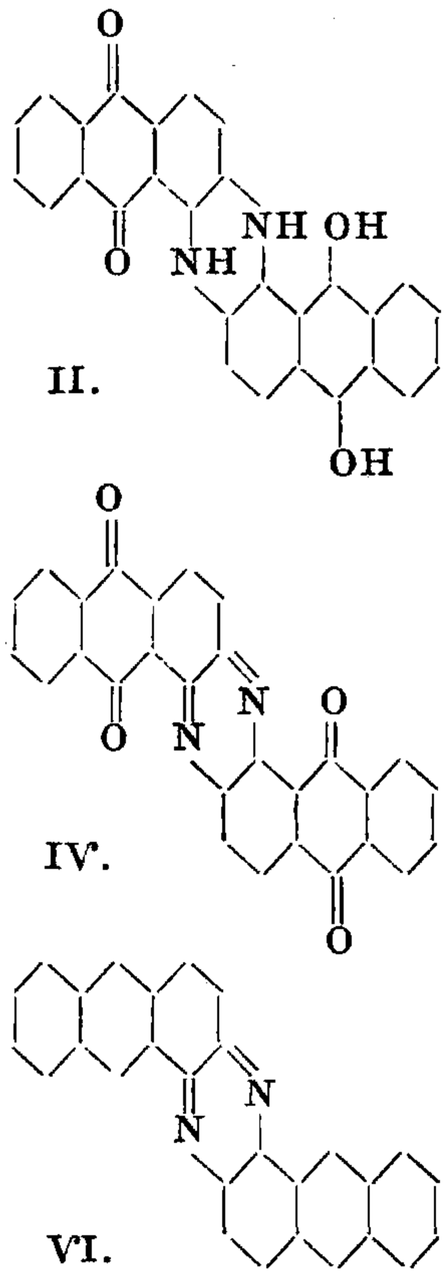
И. с. является легко усвояемым пищевым продуктом, содержится в плодах, ягодах, овощах и пр., служит материалом для приготовления искусственного меда. Присутствие технич. И. с. в меде открывается при помощи реакции Фиша (Fiche), для чего несколько *г* меда растирают в ступке с эфиром, эфирную вытяжку сливают, дают эфиру улетучиться при комнатной $t°$ и к остатку прибавляют несколько капель свежеприготовленного 1%-ного раствора резорцина в конц. HCl. В присутствии технич. И. с. получается оранжевое, переходящее в вишневокрасное окрашивание. Эта реакция основана на том, что при инвертировании сахарозы к-тами продукт распада левулозы, β-окси-δ-метилфурфурол, дает цветную реакцию с резорцином.

Лит.: [1]) Lippmann E., Die Chemie d. Zuckerarten, 3 Aufl., Halbband 2, p. 1261 u. ff., Lpz., 1904; [2]) Демьянов Н. Я., Общие приемы анализа растительных веществ. Агрономич. химия, стр. 75—88, М.—П., 1923.

И. Щербаков.

ИНДАНТРЕН, правильнее индантрон, синий антрахинонный *кубовый краситель* (см.), обладающий выдающейся прочностью к мытью и свету; по химич. строению он представляет собой диантрахинондигидроазин строения (I)





И. был впервые получен Р. Боном [1] в 1901г. при сплавлении β-аминоантрахинона со щелочами. Этот путь получения И. оказался наиболее удобным и для технич. производства. В нагретый до 250° плав едкого кали вносят по частям β-аминоантрахинон в количестве $^1/_3$ от взятого едкого кали и при размешивании нагревают $^1/_2$ часа при 250° [2,3]. Плав разбавляют водой и осаждают содержащуюся в нем калиевую соль лейкосоединения И. продуванием воздуха. Выпавший в осадок краситель очищают растворением в щелочном растворе гидросульфита, и из фильтрованного раствора осаждается либо лейкоиндантрен поваренной солью либо готовый краситель продуванием воздуха. Степень чистоты И. сильно влияет на его прочность к хлору и окислителям. При этом методе выход И. составляет 48% теоретического. Некоторые патенты предлагают добавлять окислитель в плав И., но целесообразность этого не подтверждается экспериментальными данными, тем более что часто добавление окислителя вызывает бурную, доходящую до взрыва, реакцию. В плаве И. всегда присутствуют в различных количествах ализарин и флавантрен. Соотношение их количеств зависит от $t°$ плава: более низкая $t°$ способствует образованию ализарина, более высокая (310°)—образованию флавантрена. Объяснение их совместного образования по Швенку см. [3].

Лучшие выходы И., близкие к количественным, получаются при конденсации двух молекул 1-амино-2-бромантрахинона в нитробензольном или нафталиновом растворе (по Ульману) в присутствии безводной уксуснонатриевой соли и каталитически действующего медного порошка [5]. Для И. этот синтез имеет лишь теоретич. интерес, подтверждая строение И. Высокая же стоимость исходного продукта не позволяет этому способу конкурировать с методом щелочного плавления β-аминоантрахинона. Из остальных синтезов И. следует отметить [4] метод действия хлора на α-аминоантрахинон при 220°. Целый ряд синтезов И., не имеющих технич. значения, см. [3,4,6]. Интересна работа Р. Люлека [7], имеющая пока только теоретический интерес. 48%-ный выход И. при щелочном плавлении является побуждающим стимулом для дальнейшего усовершенствования метода щелочного плавления, и исследование в этой области продолжается. И. может давать два различных лейкопродукта (II и III) и продукт окисления, имеющий строение азина (IV). Первые два переходят обратно в И. при действии кислорода воздуха, последний же—при умеренном восстановлении. При действии сильных восстановителей И. переходит в антраценовое производное (V), к-рое при окислении образует не И., а азин строения (VI). Более глубокая окраска лейкосоединения (II) и продукта окисления (IV) является интересным материалом для объяснения связи между строением и цветностью [8]. И. обладает выдающейся прочностью к свету и мытью, но его прочность к окислителям, и особенно к хлору, заставляет желать лучшего. Нек-рые галоидопроизводные И. [9], поступающие в продажу под названием И. синего GCD, обладают более повышен. прочностью к хлору.

И. и его производные являются весьма распространенными кубовыми красителями и находят применение не только в печати и крашении, но и в литографском деле для замены мало прочного ультрамарина. Серьезными конкурентами И. являются тетраброминдиго, гидрон-синий и пирогеновый синий. В последнее время

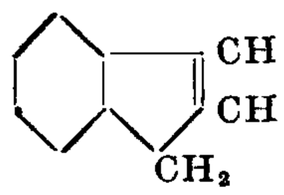
И. стал собирательным термином для ряда кубовых красящих веществ, отвечающих определенным требованиям прочности.

К индантреновым красителям относятся: 1)ациламиноантрахиноны, как индантреновый желтый SK, представляющий дибензоил - 1,5-диаминоантрахинон, и ряд других; 2) антримиды, как индантреновый бордо B, получаемый конденсацией (по Ульману) 1,5-дихлорантрахинона с β-аминантрахиноном и др.; 3) красители, содержащие конденсированные антрахинонные ядра, как *виолантрен* (см.) и другие производные *бензантрона* (см.), пирроновые и периленовые производные; 4) красители, содержащие гетероциклич. ядра, как собственно индантрен, содержащий дигидроазиновое кольцо, антрахинон-акридоны, антрахинон-ксантоны, антрахинон-тиоксантоны и антрахинон-карбазолы.

Лит.: [1]) «B», 1903, B. 36, p. 930, 1910, B. 43, p. 999; [2]) Fierz-David H. E., Künstliche organische Farbstoffe, B., 1926; [3]) Cain J. a. Thorpe J., The Synthetic Dyestuffs, L., 1923; [4]) de Barry Barnett E., Anthracene a. Anthraquinone, N. Y., 1921; [5]) Г. П. 158287; Friedlaender P., Fortschritte d. Teerfarbenfabrikation u. verwandter Industriezweige, T. 8, p. 531, B., 1921; [6]) Friedlaender P., ibid., T. 1—15, B., 1920—28; [7]) Luleck R. N., «Journ. of the Amer. Chem. Society», Wsh., 1927; [8]) Scholl, «B», 1903, B. 36, p. 3410, 3437, 3710, ibid., 1907, B. 40, p. 424; [9]) Г. П. 287590, 234950/24.

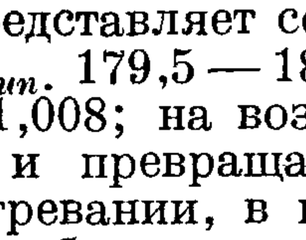
И. Иоффе.

ИНДЕН C_9H_8, жидкий углеводород, открытый во фракциях сырого бензола, кипящих при 176—182°; молекула И. состоит из двух конденсированных ядер — бензольного и пятичленного — пентадиена



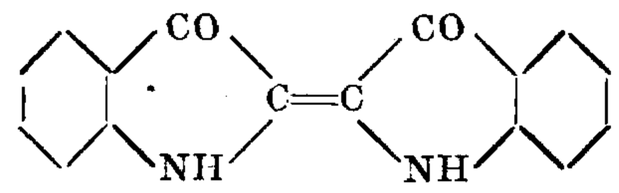
И. представляет собою светложелтое масло с $t°_{кип.}$ 179,5 — 180,5°, $t°_{замерз.}$ −2°, уд. в. 1,002—1,008; на воздухе неустойчив, окисляется и превращается, особенно быстро при нагревании, в полимеризованный продукт. И. обладает слабо кислым характером; водород группы CH_2 может легко замещаться щелочными металлами; так, при нагревании до 100° с натрием или амидом натрия, И. дает соль — натрий-инден C_9H_7Na. Для И. характерен трудно растворимый пикрат, кристаллизующийся в желтых иглах; им пользуются для выделения индена (при сильном охлаждении) из каменноугольного дегтя и светильного газа. И. может быть получен также и синтетически различными способами; удобнее всего его приготовлять из гидрокоричной кислоты.

Из производных И. наиболее важны: гидриден

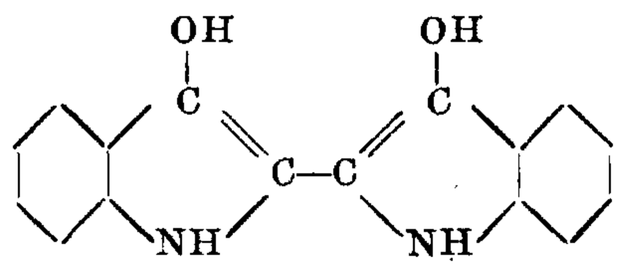


, находящийся также в каменноугольном дегте, синтетически получаемый восстановлением И. натрием в спиртовом растворе; метил- и диметил-инден, находящиеся во фракциях каменноугольного дегтя, кипящих при 220—230°. И. еще не нашел себе технич. применения; его полимеризованный продукт применяется при производстве лаков.

ИНДИГО, синий кубовый краситель, являющийся родоначальником класса индигоидных красящих веществ. И. в чистом виде, называемое индиготином, имеет химическое строение:

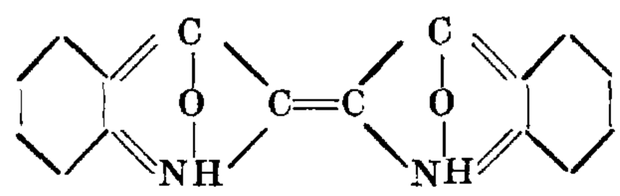


и представляет собой синий кристаллич. порошок, бронзирующий при растирании, нерастворимый в воде, водных к-тах и щелочах, мало растворимый в спирте. И. хорошо растворимо в кипящем анилине, нитробензоле, феноле, нафталине и особенно во фталевом ангидриде, из к-рого кристаллизуется в крупных синих призмах. И. растворяется с сине-зеленым цветом в крепкой серной к-те и при стоянии или нагревании раствора переходит в сульфокислоты И. И. легко восстанавливается в белое И. строения:

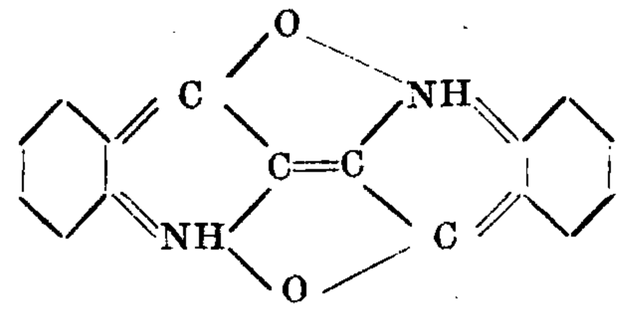


а при действии окислителей переходит в *изатин* (см.). Более подробно физич. и химич. свойства И. см. [1].

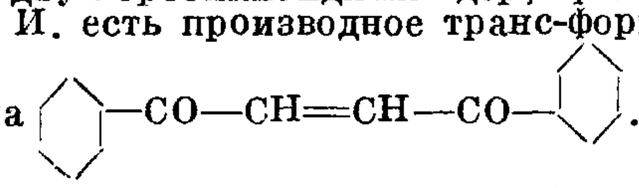
Вышеприведенная структурная ф-ла И., предложенная А. Байером, до сих пор еще не встретила единодушного признания, хотя характерная полухинонная группировка и легла в основу классификации *индигоидных красящих веществ* (см.). Нек-рые свойства И., гл. обр. его мономолекулярность как в парах, так и в растворе, несмотря на наличие весьма реакциеспособной к галохромным (см. *Галохромия*) присоединениям карбонильной группы, заставили предположить, что в молекуле И. имеют место внутримолекулярные связи между карбонильными и имидными группами. М. Клаш (M. Claasz) [2] предложил для И. ф-лу



к-рая не вполне соответствует нерастворимости И. И. Лифшиц и Г. Лури [3] видоизменили вышеприведенную формулу, приняв галохромную связь за счет остаточных сродств кислорода карбонильной и имидной групп. В. Маделунг [4] для объяснения стойкости молекулы И. предполагает, что в молекуле И. имеется связь между карбонильной и имидной группами разных ядер, обусловливающая образование двух новых циклов, почему он и придает И. строение



с наличием двух ортохиноидных ядер; при этом предположении И. есть производное транс-формы дибензоилэтилена



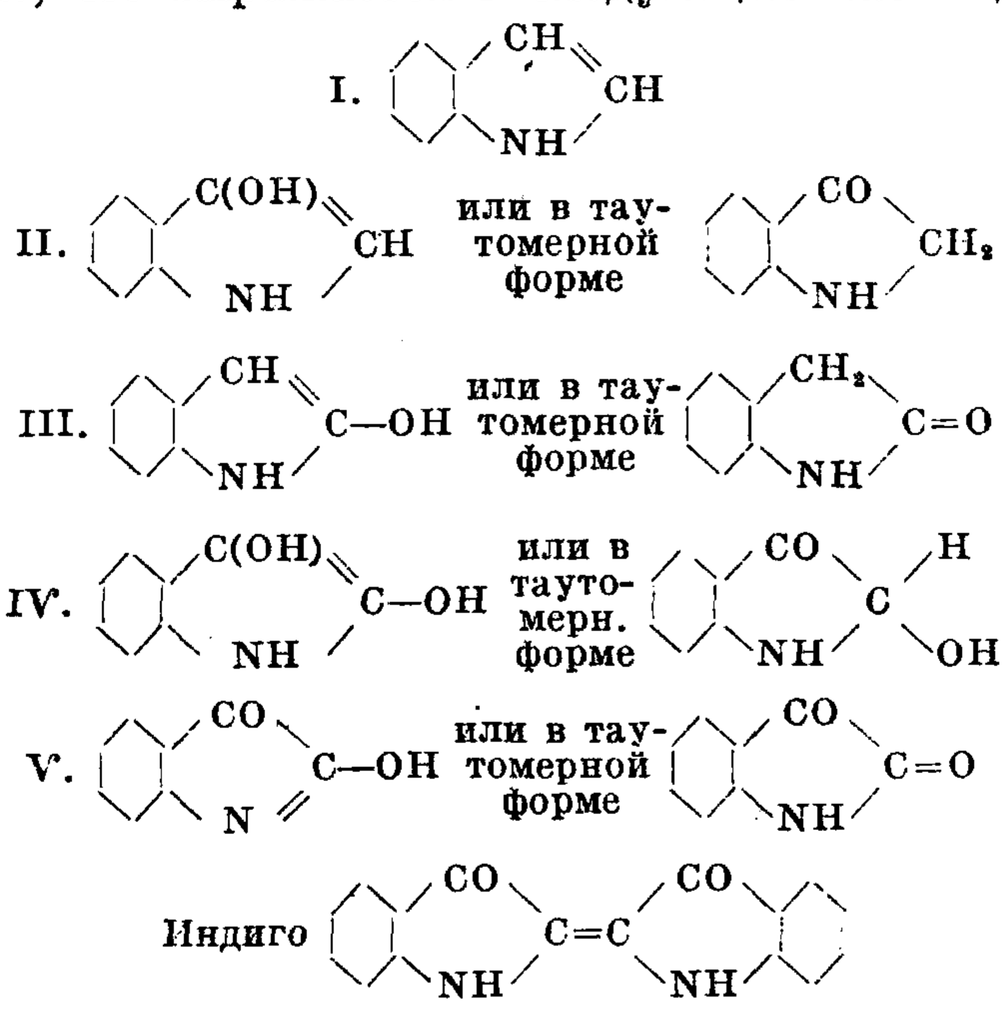
. Формулу В. Маделунга можно видоизменить, заменив связи между карбонильными и имидными группами соответственно галохромным представлениям. Окончательное установление ф-лы строения И. принадлежит будущему.

До конца 19 века И. представляло собой продукт исключительно естественного, растительного происхождения, получавшийся в больших количествах из индигоносных растений (индигоноски, семейства мотыльковых)—Indigofera tinctoria, Isatis tinctoria, Polygonium tinctorium и друг., в зеленых

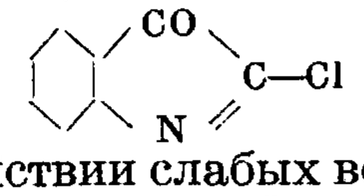
листьях и стеблях к-рых И. находится в виде глюкозида индикана; содержание индикана в стеблях доходит до 0,2%, в листьях—до 0,5%. В виду того, что наиболее богатые И. культуры растений выращивались в тропич. колониях (Ява, Филиппинские острова, Ост-Индия и др.), естественное И. носило также название колониального И. На юге России, а также в средней Германии культивировалось (преимущественно в средние века) индигоносное растение Isatis tinctoria, т. н. вайда [5], но содержание И. в нем было незначительно по сравнению с тропич. культурами, и культура вайды не выдержала конкуренции с колониальным И. Выход И. при получении его из колониальных растений колеблется от 0,1 до 0,4% от веса сырого растения, в зависимости от культуры и условий переработки.

Для выделения И. из содержащегося в листьях и стеблях растений глюкозида свежесрезанные зеленые части растения помещают в специальные ямы, заливают водой и оставляют для брожения. Процесс сбраживания сопровождается усиленным выделением углекислоты и длится 12—24 ч. При этом углевод глюкозида разрушается, и носитель И., по всей вероятности—производное индоксила (см. ниже), переходит в раствор, окрашивая его в желтый цвет. Полученный в бродильных ямах желтый раствор сливают в чаны, где при непрерывном помешивании он окисляется пропусканием воздуха; при этом индоксильное производное окисляется в И., и последнее в виде синих хлопьев выпадает в осадок, к-рый отфильтровывают, промывают, отжимают на прессах и сушат, придавая ему форму, характерную для каждого сорта колониального И. Содержание индиготина в различных сортах колеблется от 90% (в лучших сортах бенгальского И.) до 10—15% (в худших сортах И. из вайды или И. эквадорского) [6]. Из примесей естественного И. следует отметить частицы древесины, попадающие при брожении, различные фальсифицирующие и наполняющие вещества, а также и получаемые вместе с И. красящие вещества, из к-рых главным является индигорубин, или индирубин (см. *Индигоидные красящие вещества*). Качество естественного И. определяется либо пробными выкрасками либо чисто химич. путем [7]. Применение естественного И., начавшееся в древнеисторич. времена, продолжается до наших дней, и лишь победоносное развитие производства искусственного И. в начале 20 в. сильно повлияло на уменьшение потребления и производства естественного И. В 1900 г. мировая продукция естественного И. оценивалась в 40 млн. р. при цене его от 2 до 10 р. за *кг*.

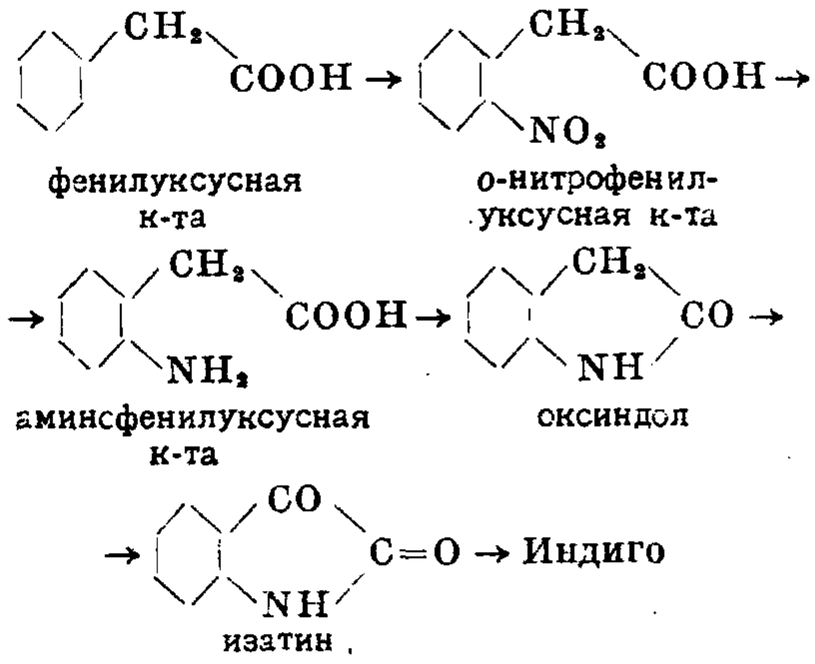
Громадное потребление естественного И. поставило перед химией задачу изыскать пути синтетич. получения И. Этой задаче должна была предшествовать другая—изучение и установление строения И. Честь разрешения обеих задач принадлежит Адольфу Байеру [8]. Исходным продуктом первых работ Байера был изатин; при перегонке изатина с цинковой пылью при высокой $t°$, Байер получил в 1868 г. новое вещество, названное им индолом (I), к-рое он назвал «основным веществом» («Muttersubstanz») И. Вслед за этим Байер в ряде работ получил и исследовал различные производные индола, к которым он отнес и И. Т. о. были получены: оксиндол (III) и диоксиндол (IV), исследованы: изатин (V) и изомерный с оксиндолом индоксил (II), единственное соединение, к-рое, в отличие от всех остальных кислородных производных индола, при окислительном действии кислорода воздуха переходит в И. Т. о. была доказана генетич. связь И. с индолом и было предположительно указано строение И., что выражается в следующей таблице:



В 1870 г. Байеру удалось воспроизвести обратный процесс получения И. из изатина. Хотя И. при окислении легко переходит в изатин, но обратный процесс не протекает при непосредственном восстановлении изатина. Лишь действие пятихлористого фосфора переводит изатин в изатинхлорид

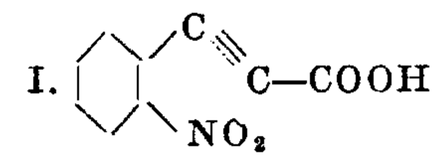


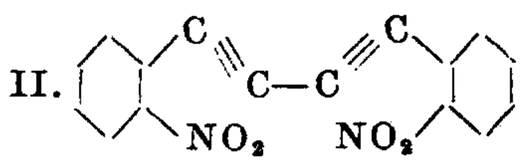
к-рый при действии слабых восстановителей, как сернистый аммоний, переходит в И. Этот процесс нельзя еще считать синтезом И., т. к. исходный продукт—изатин—до тех пор являлся продуктом индигового происхождения. В виду этого усилия Байера и его школы были направлены к получению изатина из продуктов неиндигового происхождения. Эта задача была разрешена Байером (1878 г.), и т. о. был произведен первый истинный синтез И. по следующей схеме:



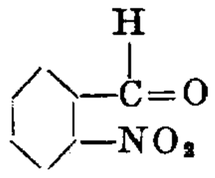
Первый синтез И. не мог иметь производст-

венного значения, т. к. исходные продукты обходились дорого и выход был незначителен. В 1880 г. Байером был предложен новый синтез И., где исходным продуктом являлись производные фенилацетилена: *о*-нитрофенилпропиоловая к-та (I) или *о*-динитродифенилдиацетилен (II).





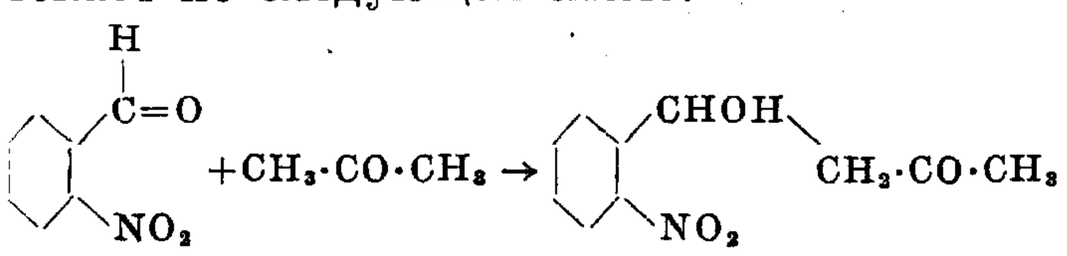
В 1882 г. Байер совместно с Древсеном предложил новый, не потерявший своего значения и в наше время синтез И., в к-ром исходным продуктом был *о*-нитробензальдегид

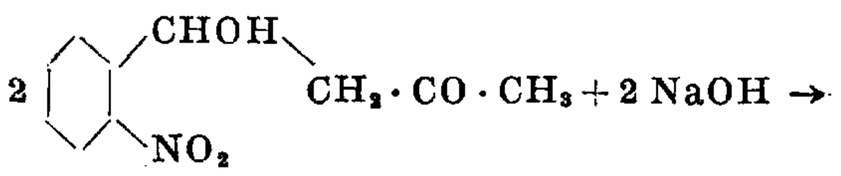


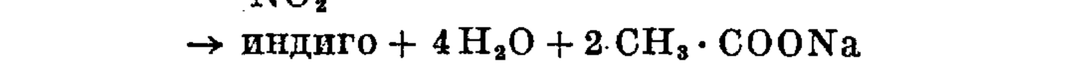
Исчерпывающая литература по всем вопросам, касающимся И., указана в [9].

Число синтезов, разработанных и предложенных для получения искусственного И., исчисляется многими десятками. Из них производственное значение имеют лишь следующие: 1) нитробензальдегидный (А. Байера и Древсена), 2) фенилглициновый К. Геймана, 3) антраниловый К. Геймана, 4) хлоргидриновый BASF и 5) изатиновый Т. Зандмейера.

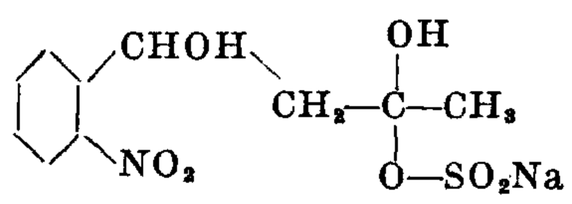
1. Нитробензальдегидный способ Байера и Древсена является одним из наиболее изящных синтезов не только в области И., но в органич. химии вообще. Он заключается в конденсации *о*-нитробензальдегида с ацетоном и обработке получившегося нитрофениллактометилкетона молекулярным количеством едкой щелочи и протекает по следующей схеме:





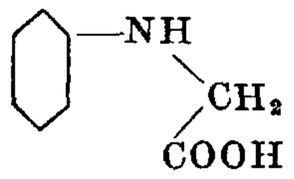


Для успешного проведения этого синтеза необходимо употреблять строго теоретич. количества реагентов, и тогда И. количественно выпадает из раствора в виде мелких синих кристаллов [10]. Несмотря на количественный выход, на несложную аппаратуру, на легкость процесса нитробензальдегидный синтез не нашел до сих пор широкого применения; им пользуются преимущественно для получения не И., а его производных. Причиной этого является неудовлетворительный выход получения самого *о*-нитробензальдегида: при непосредственном нитровании бензальдегида лишь 20% падает на долю *о*-продукта, из остальных 80% получается *м*-производное, не имеющее широкого применения. Целый ряд обходных путей, заключающихся в окислении *о*-нитробензилхлорида или даже *о*-нитротолуола, не привели еще к вполне удовлетворительным результатам [11]. Лишь недорогой *о*-нитробензальдегид мог бы поставить синтез Байера и Древсена вне конкуренции. Несмотря на это, попытка применения этого синтеза была сделана в 1893 г. фирмой Калле в Бибрихе на Рейне [12], к-рая выпустила на рынок растворимый в воде препарат И., названный ею индиговой солью (Indigosalz) и представлявший собою бисульфитное производное продукта конденсации *о*-нитробензальдегида с ацетоном, строения:



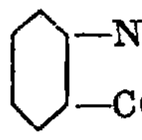
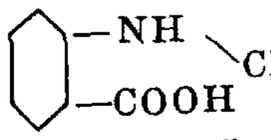
При действии щелочи, одновременно с разрушением бисульфитного производного, отщеплялась и уксусная кислота с образованием И. Первое время индиговая соль нашла применение для печатания, но была вытеснена гидросульфитом, как более дешевым и удобным препаратом.

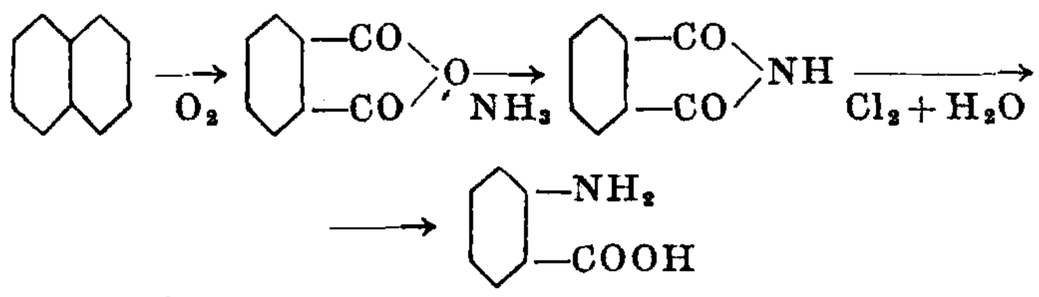
2. Фенилглициновый синтез К. Геймана построен на совершенно ином принципе. Индоксил, в отличие от иных кислородных производных индола, дает при окислении кислородом воздуха индиго. Целью работ К. Геймана было получение индоксила. Исходным продуктом при этом синтезе был фенилглицин, фенилгликоколь



получаемый весьма легко при конденсации хлоруксусной к-ты с анилином в присутствии щелочи или избытка анилина в водном растворе; конденсация протекает почти количественно; при сплавлении фенилглицина с едкими щелочами при 300° происходит замыкание индолового кольца, и получается индоксил, к-рый легко переходит в И. Недостатком фенилглицинового синтеза является недостаточно большой выход, не превышавший 60% теоретич. количества. Причина этого явления—высокая $t°_{пл.}$, при к-рой часть фенилглицина разлагается, не успев замкнуться в индоксил. В начале 20 в. было обнаружено, что амид натрия $NaNH_2$ обладает способностью вызывать замыкание индолового кольца (сопровождающееся выделением частицы воды) при значительно более низкой $t°$ (190—210°); вследствие этого выход И. при применении амида натрия значительно поднялся и достиг 90—94% теоретического. В настоящее время фенилглициновый синтез ведется на производстве следующим образом. Заранее приготовляется сухая соль фенилглицина, преимущественно натриевая. Сухость продукта играет весьма большую роль, т. к. следы влаги понижают выход И. Амид натрия, необходимый для процесса, м. б. также приготовлен заранее или же приготовляется в самом плавильном котле. На ф-ках Meister, Lucius & Brüning щелочное плавление фенилглицина ведется в котле, снабженном мощной мешалкой. В котел загружают 1 000 *кг* едкого натра и 1 000 *кг* едкого кали и в расплавленную обезвоженную нагреванием смесь вносят при

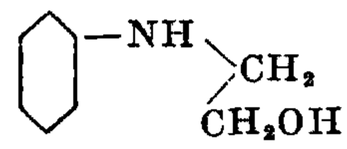
350° 10 *кг* металлич. натрия. Предварительно котел заполняют сухим водородом и аммиачным газом. При этом от взаимодействия натрия с едким натром и аммиаком получается окись и амид натрия: Na_2O и $NaNH_2$. После того как весь металлич. натрий вступит в реакцию, понижают $t°$ до 190° и вносят в котел сухую натриевую соль фенилглицина в количестве от $^1/_3$ до $^1/_4$ от веса взятых щелочей. Металлич. натрий берут в таком количестве, чтобы получившиеся из него амид и окись натрия связали всю воду. После загрузки фенилглицина поднимают $t°$ до 210° и выдерживают при ней ок. 3 ч., после чего получают в котле однородную красно-коричневую массу. Последнюю выдавливают в такое количество льда и воды, чтобы $t°$ смеси была 50°. При этом получается раствор индоксилнатриевой соли, из которого продуванием воздуха осаждается И. Полученный краситель отфильтровывают, промывают и либо сушат, либо ставят на тип для получения пасты красителя определенной концентрации; фильтрат же выпаривают наполовину, после чего из него выпадают образовавшиеся от поглощения углекислого газа карбонаты, и, отделив от них, подвергают его выпариванию в вакууме для регенерации щелочей. При подобном ведении процесса выход И. достигает 90—94% теоретического. Другим вариантом этого процесса является проведение его при давлении от 4 до 6 *atm* и применение иных конденсирующих средств как, напр., анилида натрия, на что имеется ряд патентов. Фенилглициновый способ оказывается в последней модификации вполне удовлетворительным, и недостатком его является лишь необходимость применения дорого стоящих продуктов (хлоруксусной к-ты и металлич. натрия).

3. Антраниловый синтез К. Геймана отличается от предыдущего лишь заменой анилина антраниловой к-той, строения 
. При этом конденсация с хлоруксусной к-той дает не фенилглицин, а его карбоновую к-ту, строения 
Последняя при действии щелочей (для чего требуется более умеренная $t°$) дает индоксилкарбоновую (индоксиловую) к-ту, к-рая, как и индоксил, переходит при действии кислорода воздуха в И. Получение фенилглицинкарбоновой к-ты и щелочное плавление протекают аналогично фенилглициновому синтезу, но более низкая $t°$ плавления делает необязательным применение амида натрия. Для лучшего течения процесса плавления прибавляют в плаве к щелочам некоторое количество жженой извести CaO. Антраниловый способ К. Геймана разрабатывался и был поставлен на BASF. По сравнению с фенилглициновым способом он имеет преимущество в пользовании CaO вместо амида натрия; кроме того, имеется возможность, не окисляя в И., выделить индоксиловую к-ту, к-рая под названием индофора поступала в продажу как препарат И. для печати. Технически этот метод стал осуществимым, лишь когда ряд открытий дал возможность рентабельно получать антраниловую к-ту из нафталина, окисляя последний в присутствии ртути каталитическим действием серного ангидрида до фталевого ангидрида, путем переведения последнего во фталевый имид, к-рый, окисляясь, перегруппировывался в антраниловую кислоту при действии теоретического количества активного хлора. Весь процесс выражается схемой:



Введенный Гиббсом и Волем метод окисления нафталина во фталевый ангидрид кислородом воздуха при каталитич. действии ванадиевых солей сделал получение антраниловой к-ты еще более дешевым, т. к. нафталин—полуфабрикат весьма доступный. Существенными недостатками обоих синтезов К. Геймана являются необходимость применения хлоруксусной к-ты, к-рая получается хлорированием дорогой ледяной уксусной к-ты, а также и необходимость разделения моно-, ди- и трихлорпроизводных. В виду этого еще в 1912 г. на BASF был применен хлоргидриновый синтез.

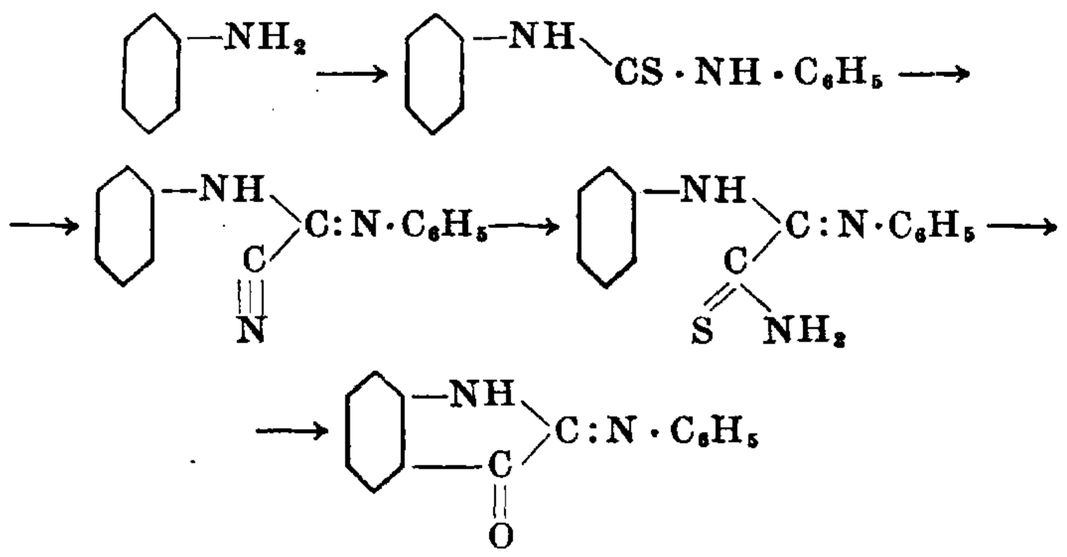
4. Хлоргидриновый синтез заключается в конденсации хлоргидрина с анилином и в щелочном плавлении получившегося при этом оксиэтиланилина следующего строения:



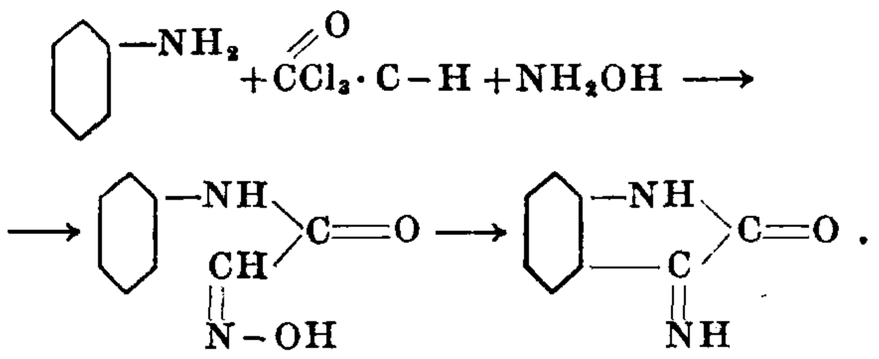
При этом получается индоксил, обрабатываемый обычн. методом. Т. о., хлоргидриновый синтез является нек-рым видоизменением фенилглицинового синтеза К. Геймана. Синтез выполняется след. обр. Предварительно приготовляется хлоргидрин пропусканием смеси этилена с углекислым газом через белильную известь до полного использования хлора. Затем хлоргидрин отделяют от углекислого кальция и очищают перегонкой. Полученный хлоргидрин количественно конденсируется с анилином обычным методом, после чего получается маслянистая жидкость—оксиэтиланилин, к-рую пускают на плавление. Для этого 2 ч. едкого натра с 1 ч. едкого кали плавят в закрытом котле при 350° и к плаву добавляют $^1/_2$ ч. мелко измельченной окиси кальция. Темп-ру понижают до 232—236°, наполняют котел водородом и передавливают в него $^1/_2$ ч. оксиэтиланилина, после чего при 240—245° ведут процесс при размешивании в продолжение еще 2—3 часов. При этом из котла энергично выделяется водород, и содержимое котла превращается в однородную массу, к-рую обрабатывают так же, как и при фенилглициновом синтезе К. Геймана. В виду загрузки оксиэтиланилина в закрытый котел содержание карбонатов достигает лишь 0,5%, вследствие чего удается регенерировать 98% от взятой щелочи. Выход И. при хлоргидриновом синтезе не превышает 60—65%, но, несмотря на

это, он должен считаться рентабельным благодаря почти полной регенерации щелочи вследствие применения этилена вместо уксусной к-ты и в силу своей близости к производству иприта: хлоргидрин получается из того же исходного продукта (этилена) и в той же аппаратуре, что и иприт. Для того чтобы не применять уксусной к-ты, на некоторых производствах, особенно в Америке, приготовляют фенилглицин из анилина, цианистого калия и формалина.

5. Изатиновый синтез Т. Зандмейера (ф-ка Geigy в Базеле)—в к-ром конечным продуктом является изатин, в виде *α*-изатинанилида или *β*-изатинимида; этот метод заключается в конденсации анилина с сероуглеродом и в действии цианистого калия в присутствии свинцовых солей на получившийся тиокарбанилид, при чем получается карбоциандифенилимид. Последний при действии сернистого аммония переходит в т. н. тиоамид, к-рый в свою очередь легко переходит в *α*-изатинанилид, что выражается общей схемой:

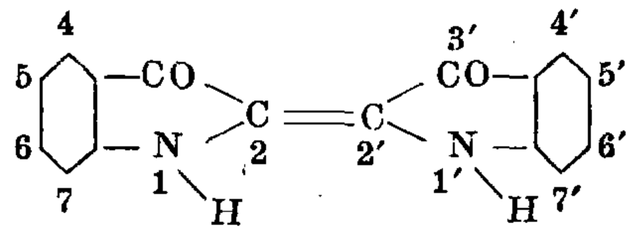


Проведение этого синтеза см. [13]. Несколько позже, в 1919 г., тот же Т. Зандмейер применил для получения производных изатина, именно *β*-изатинимида, иной метод, исходя из того же анилина, но конденсируя его с хлоралем и гидроксиламином по схеме:



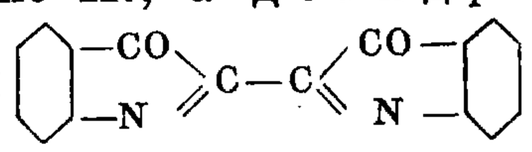
При действии восстановителей, напр. сернистого аммония, *α*-изатинанилид легко дает И. При действии же разбавленных кислот на *α*-изатинанилид и на *β*-изатинимид получается изатин. Синтез Зандмейера в настоящее время не имеет большого значения для получения И., но его роль велика в производстве различных тиоиндиговых и индигоидных красителей, где для нек-рых марок в качестве исходного продукта употребляют изатин и *α*-изатинанилид, который в отличие от изатина является реакциеспособным в *α*-положении и поэтому находит в производстве индигоидов большее применение, чем изатин. К тому же изатин выгоднее получать из *α*-изатинанилида или из *β*-изатинимида, чем из И. В силу этого синтез Зандмейера утвердился в технике.

Кроме И., большое применение находит и целый ряд его производных: алкильные производные, сульфокислоты и галоидные производные. Из алкильных производных наиболее важным является метильное производное, именно 7,7′-диметилиндиго, или индиго Т (для правильного определения производных индиго его скелет перенумерован следующим образом:



и перед названием замещающего радикала ставят № занимаемого им места). Индиго Т получают по методу Байера и Древсена, исходя из *о*-нитро-*м*-толилальдегида, или по методу Зандмейера—из *о*-толуидина. Индиго Т дает более зеленые оттенки, чем И., и отличается большой прочностью к хлору.

Сульфопроизводные И., из к-рых наиболее важным является индиго-кармин (5, 5′-дисульфокислота И.), применяемый в качестве индикатора при хлорометрии, не имеют, вследствие своей непрочности, большого распространения. Они являются кислотными красителями, дающими чисто синие тона. Часто их получают для аналитического исследования И., заключающегося в переведении И. в растворимое состояние и титровании раствором гидросульфита [7]. Они получаются при внесении мелко истертого И. в нагретый до 35—40° моногидрат серной кислоты и выдерживании при этой *t*° до полного растворения в растворе водной щелочи. В продажу индиго-кармин поступает в виде натриевой соли.

Наибольшее распространение имеют галоидопроизводные И., особенно хлоро- или бромопроизводные. Их получают хлорированием и бромированием готового И. или синтезом красителя, исходя из содержащих галоиды исходных продуктов. Наибольшее распространение имеет 5, 7, 5′, 7′-тетраброминдиго, называемый индиго 4В и получаемый при обработке И. бромом в нагретом растворе нейтрального растворителя (нитробензола и т. п.). При употреблении в качестве растворителя ледяной уксусной кислоты получается 5,5′-диброминдиго, или индиго R; 6, 6′-диброминдиго представляет собой знаменитый пурпур древних, получавшийся из улиток Murex brandaris; он был получен в 1908 г. П. Фридлендером по методу Байера и Древсена из *п*-бром-*о*-нитробензальдегида. Непосредственное хлорирование И. не дает хлоропроизводных, т. к. хлор действует на И. окисляющим образом. Для получения ценного бриллиант-индиго, или яркого И., являющегося 5, 7, 5′, 7′-тетрахлориндиго, приходится хлорировать не И., а дегидроиндиго, строения  , легко хлорируемое в обоих ядрах в положении 5 и 7, получаемое из И. по методу Кальба, действием перекиси свинца или марганцовокалиевой соли в отсутствии влаги. Дегидроиндиго и его продукты замещения при действии сернистой к-ты переходят в И. и его производные. Для получения хлоропроизводных И. применимы и синтезы Геймана, а также и Байера-Древсена. Галоидопроиз-

водные И., за исключением замещенных в положении 6, дают некоторое изменение тона и продаются под названием И. различных марок [14]. Они отличаются повышенной по сравнению с И. прочностью к хлору. Кроме того, их лейкосоединения имеют больше сродства к волокну, являются более субстантивными.

Производство И., развивавшееся до 1914 г. в Германии, существует в настоящее время и во Франции, Англии и Америке. Синтетич. И. занимает первое место среди остальных красящих веществ. В 1922 г. из выпущенных на земном шаре на рынок 150 млн. *кг* синтетич. красителей на сумму 88 млн. долл. 28% падало на долю И. Производство И. началось в 1880 году в Германии, когда на рынок было выпущено ок. $^1/_2$ млн. *кг*, и непрерывно возрастало в этой стране, достигнув в 1913 г. 33 млн. *кг*. Кроме Германии, до войны 1914—18 гг. индиго производилось (с 1911 года) лишь в Швейцарии в количестве около 1,8 млн. *кг*. Обе эти страны снабжали синтетическим индиго все страны света, при чем главными потребителями были:

Китай, импортировавший	21,5 млн.	*кг*
С. Ш. А., импортировавшие	3,5 »	»
Австро-Венгрия, импортировавшая	1,4 »	»
Англия, импортировавшая	1,2 »	»
Россия, »	0,5 »	»

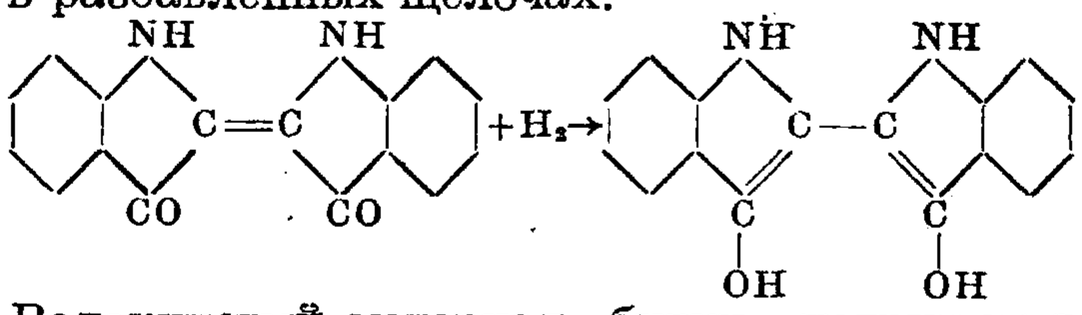
Война 1914—18 гг. поставила ряд стран, получавших И. из Германии, в катастрофич. положение. В С. Ш. А. цена И. возросла с 15,5 центов за англ. фн. в 1913 г. до 1,5 долл. в 1916 году, что побудило С. Ш. А. поставить собственное производство И., которое в 1925 году достигло 29 млн. англ. фн. (ок. 13 млн. *кг* И.). Во Франции производство И., начатое во время войны, достигло в 1925 г. 5 млн. *кг*. В Англии производство И. началось с 1922 года и достигло к 1925 году 4,5 млн. *кг*. В Италии $^2/_3$ потребности страны в И. покрывается собственной продукцией.

Лит.: [1]) Beilstein F. K., Handbuch der organischen Chemie, B. 1—11, 4 Aufl., B., 1918—28; Schultz G., Farbstofftabellen, 5 Aufl., Berlin, 1911—14; Rowe F., Colour Index, N. Y., 1924; Mayer F., Chemie d. organ. Farbstoffe, 2 Auflage, B., 1924; [2]) «B», 1918, B. 51, p. 516; [3]) ibid., 1917, B. 50, p. 897; [4]) «Z. ang. Chem.», 1921, B. 34, p. 481; [5]) Rupe H., Die Chemie d. natürlichen Farbsfoffe, Brschw., 1900; [6]) Georgievics G., Der Indigo, Wien, 1892; [7]) Heermann P., Färberei- u. textilchemische Untersuchungen, 4 Aufl., Berlin, 1923; [8]) Bayer A., «B», 1900, B. 33, p. LI—LXXI; Bayer A., Gesammelte Werke, B. 1—Über Indigo, Brschw., 1905; [9]) Truttwin H., Enzyklopädie d. Küpenfarbstoffe, B., 1920; [10]) Шапошников В. Г., Общая технология волокн. и красящих веществ, М.—Киев, 1926; [11]) Fierz-David H., Künstliche organ. Farbstoffe, B., 1926; Georgievics G., Handbuch der Farbenchemie, 5 Auflage, Wien, 1922; Bucherer H., Lehrbuch der Farbenchemie, 2 Auflage, Leipzig, 1921; [12]) Г. П. 73377; [13]) Fierz-David H. E., Grundlegende Operationen der Farbenchemie, 3 Auflage, Berlin, 1924; [14]) Проспекты BASF, MLB, CIBA.

И. Иоффе.

Применение И. в крашении волокнистых материалов.

И. нерастворимо в воде и принадлежит (по технич. классификации) к индифферентным красителям. Для получения окраски И. восстанавливают в щелочной среде при помощи восстановителей; при этом оно переходит в лейкоиндиго—белое индиго, содержащее гидроксильные группы и растворимое в разбавленных щелочах:



Волокнистый материал, будучи погружен в этот раствор, извлекает лейкоиндиго, т. к. последнее обладает нек-рым сродством к волокну. Для закрепления И. волокнистый материал вынимают из красильного раствора, отжимают и подвергают окислению на воздухе; при этом на волокне образуется И., давая довольно прочную окраску синего цвета. Такое погружение с последующим окислением называется проходом. Продолжительность и число проходов бывают различными.

Щелочной раствор восстановленного И., а также аппарат, в к-ром производят крашение, называются индиговым кубом или просто кубом (см. *Кубовые красители*). По $t°$ крашения кубы бывают горячие (50—60°) и холодные (15—25°).

И. применяют для крашения животных волокнистых материалов (гл. обр. шерсти) и растительных (гл. обр. хлопка и льна). Для шерсти применяют горячие кубы (бродильные, гидросульфитный), для хлопка и льна—холодные (купоросный, цинковый, гидросульфитный, бродильные), а иногда и горячие (бродильные). Для растворения лейкоиндиго служат NaOH, $Ca(OH)_2$, K_2CO_3, Na_2CO_3 и NH_4OH. Особенностью И. является то, что оно лучше растворяется в конц. растворах, а окрашивает лучше в разбавленных (окраски получаются прочнее); поэтому для растворения И. приготовляют конц. раствор, т. н. матку, а для крашения—более разбавленный красильный куб. Во время крашения И. выбирается волокном, и концентрация в кубе уменьшается; поэтому для выравнивания концентрации необходимо куб «подкармливать», или «чередить», т. е. прибавлять некоторое количество восстановленного И.

Для крашения находит применение И. в порошке, в пасте (20 и 40%-ной) и в виде восстановленного И.—готового 20- или 60%-ного куба. И. в порошке необходимо предварительно превратить в пасту, обрабатывая его смачивающими веществами: ализариновым маслом, контактом, некалом и др. (см. *Эмульсаторы*), а также подвергая его механич. растиранию в присутствии глицерина или едкого натра. В последнее время германскими красочными фабриками выпущены марки легко смачивающегося И. (например И. «К» и др.).

Крашение животных волокнистых материалов. И. находит большое применение для крашения шерсти, так как получаемые окраски обладают хорошей прочностью (8—к свету, 4—к мытью, 4—к валке), за исключением прочности к трению (около 3). Для крашения шелка индиго применяется значительно реже. К особенностям крашения шерсти индиго следует отнести применение горячих кубов, слабую щелочность, а также малую концентрацию (1 *г* индиго на *л*). В настоящее время большим распространением пользуются гидросульфитные кубы, а в некоторых случаях—бродильные.

Гидросульфитные индиговые кубы. Образование их основано на восстановительном действии гидросульфита $Na_2S_2O_4$ в присутствии NaOH:

$$\underset{\text{индиго}}{C_{16}H_{10}N_2O_2} + Na_2S_2O_4 + 4NaOH \rightarrow C_{16}H_{10}N_2O_2Na_2 + 2Na_2SO_3 + 2H_2O.$$

Для приготовления матки затирают И. (3 *кг*) с горячей водой (42 *л*) и обрабатывают раствором едкого натра (3,6 *л* при 38—40° Bé). После этого постепенно при 60—65° прибавляют гидросульфит (3 *кг*) и оставляют при этой $t°$ на $^1/_2$—1 час. При этом И. переходит в куб с янтарно-желтым цветом. Полученную матку вливают в красильный куб, содержащий 3 000 *л* воды и небольшое количество гидросульфита и NH_3, для восстановления кислорода, растворенного в воде. Реакция куба д. б. лишь слабо щелочной, при чем для предохранения шерстяного волокна от ослабления прибавляют раствор клея. Хорошо приготовленный куб должен иметь янтарно-желтый цвет и с поверхности покрываться тонкой пленкой И., т. н. цветом. Иногда применяют индиговые кубы 20- и 60%-ные, представляющие конц. растворы лейкоиндиго в щелочах; при этом приготовление матки отпадает, и такие растворы непосредственно задают в красильный куб.

Недавно красочные ф-ки (Баденская и «Фарбверке») запатентовали способ крашения шерсти И. в гидросульфитном кубе, заключающийся в том, что лейкоиндиго переводят на шерстяное волокно при помощи солей аммония (уксуснокислого или сернокислого), а к концу процесса—уксусной к-той; при этом способе даже интенсивные окраски получаются в один проход (ок. $2^1/_2$ час.). Иногда применяют цинково-известково-бисульфитный куб, т. н. английский куб, отличающийся от предыдущих тем, что необходимый для восстановления гидросульфит образуется в красильном кубе из бисульфита натрия и цинковой пыли в присутствии $Ca(OH)_2$:

$$Zn + 4NaHSO_3 \rightarrow ZnSO_3 + Na_2SO_3 + Na_2S_2O_4 + 2H_2O.$$

Под влиянием гидросульфита происходит восстановление И. в лейкоиндиго, растворяющееся в растворе $Ca(OH)_2$. Недостатком этого куба является большое гнездо куба—осадок нерастворимых солей, образующихся в кубе и осаждающихся на дне его. Осадки эти могут поглощать до 20% И.

Бродильные кубы. Эти старинные кубы основаны на восстановительном действии водорода, получаемого при брожении нек-рых сахарсодержащих веществ (отрубей, вайды, патоки и др.) под действием энзимов, находящихся в этих же веществах. Брожение сопровождается образованием к-т—масляной, уксусной, CO_2 и др.:

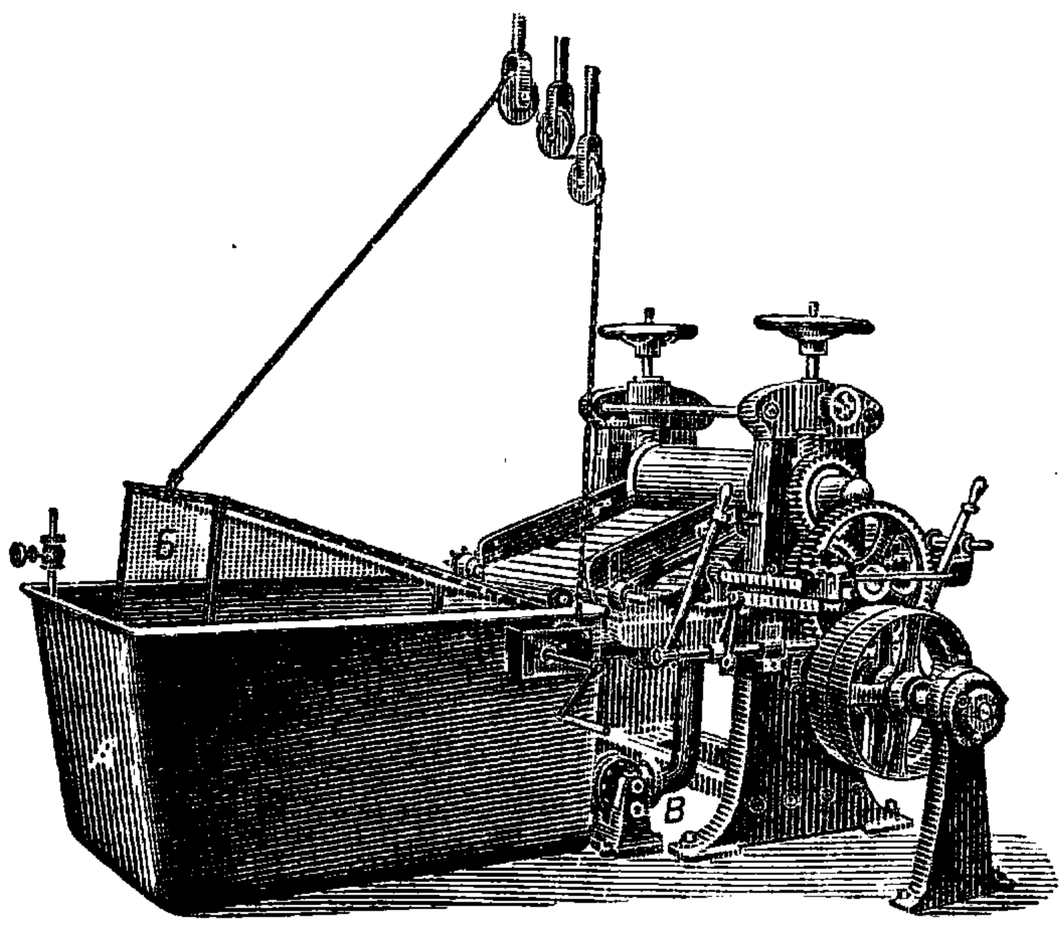
$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow C_4H_8O_2 + 2CO_2 + 2H_2$$

или

$$C_6H_{12}O_6 + 2O_2 \rightarrow C_2H_4O_2 + 4CO_2 + 4H_2.$$

Для возбуждения брожения иногда прибавляют крап—молотые корни марены. Для растворения лейкоиндиго применяют гашеную известь, соду, поташ. В зависимости от применяемых материалов различают кубы: вайдовый, содовый, поташный, мочевой; из них наиболее распространены вайдовый и содовый кубы. Ведение бродильных кубов требует большого опыта и является затруднительным; к недостаткам их следует отнести, кроме того, продолжительность приготовления куба (до 4 дней), а также образование большого гнезда.

Крашение шерсти в гидросульфитных и бродильных кубах производится при $t°$ 50—55°, в течение $^1/_2$—$2^1/_2$ час., при чем после окончания одного прохода шерсть вынимают и, дав раствору стечь, отжимают ее и окисляют на воздухе до посинения (если нужно, эту операцию повторяют несколько раз). В заключение шерсть промывают, кислуют и опять промывают. Шерсть окрашивают И. в виде непряденого материала (рунной шерсти), камвольной ленты (топса), пряжи (в мотках и крестовых шпулях) и ткани. Рунную шерсть красят в обыкновенных круглых деревянных или цементированных чанах, куда опускают шерсть в железных сетчатых цилиндрах (корзинах), или же в т. н. циркуляционном кубе (фиг. 1), состоящем из железного чана *A* и ситчатого



Фиг. 1.

ящика *Б*, в к-рый загружают шерсть; в этом аппарате при крашении шерсть остается неподвижной, а красильный раствор циркулирует при помощи насоса *B*; пряжу в мотках обыкновенно окрашивают в ручных барках, а пряжу в виде крестовых шпуль и камвольную ленту—в аппаратах насадочной системы (см. *Красильные машины*). Шерстяную ткань окрашивают в расправку в кубах, имеющих направляющие ролики и отжимные валы под уровнем красильного раствора.

Крашение растительных волокнистых материалов. В настоящее время, с появлением более прочных кубовых синих красителей (индантренов, альголевых, гидроновых, гелиндоновых), а также дешевых сернистых синих красителей, И. для крашения растительных волокнистых материалов, гл. обр. хлопка и льна, стало применяться в меньших размерах, чем раньше. Прочность окрасок на этих материалах меньше, чем на шерсти (3—к свету, 1—к трению). Особенностью крашения И. хлопка и льна является большая щелочность куба, повышенная концентрация ($2^1/_2$—5 *г* в 1 *л*) и низкая $t°$ крашения (15—25°), за исключением бродильных кубов, у к-рых $t°$ крашения 50°. Для крашения хлопка и льна применяют холодные кубы

(купоросный, цинковый, гидросульфитный, бродильные) и горячие (бродильные).

Купоросный куб. В этом кубе железный купорос в присутствии $Ca(OH)_2$ образует $Fe(OH)_2$, к-рый восстанавливает И. в лейкоиндиго, растворяющееся в растворе $Ca(OH)_2$:

$$2\,FeSO_4 + 2\,Ca(OH)_2 \rightarrow 2\,Fe(OH)_2 + 2\,CaSO_4;$$
$$2\,Fe(OH)_2 + C_{16}H_{10}N_2O_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow$$
$$\rightarrow C_{16}H_{10}N_2O_2Ca + 2\,Fe(OH)_3.$$

Для приготовления матки И. (в виде 20%-ной пасты) растирают с горячей водой при 60°, прибавляют железный купорос и гашеную известь. После 4—6-час. стояния при 50—60° И. восстанавливается. Полученную матку вливают в красильный куб и приступают к крашению. Недостатком этого куба является большое гнездо, поглощающее до 20% И., а также необходимость кисловки хлопка и льна после выхода из куба для разрушения Са-соли лейкоиндиго и для удаления с ткани гидрата окиси железа.

Цинковый куб. В этом кубе цинковая пыль, растертая с водой в присутствии гашеной извести, выделяет водород, к-рый восстанавливает И. в лейкоиндиго, растворяющееся в растворе $Ca(OH)_2$:

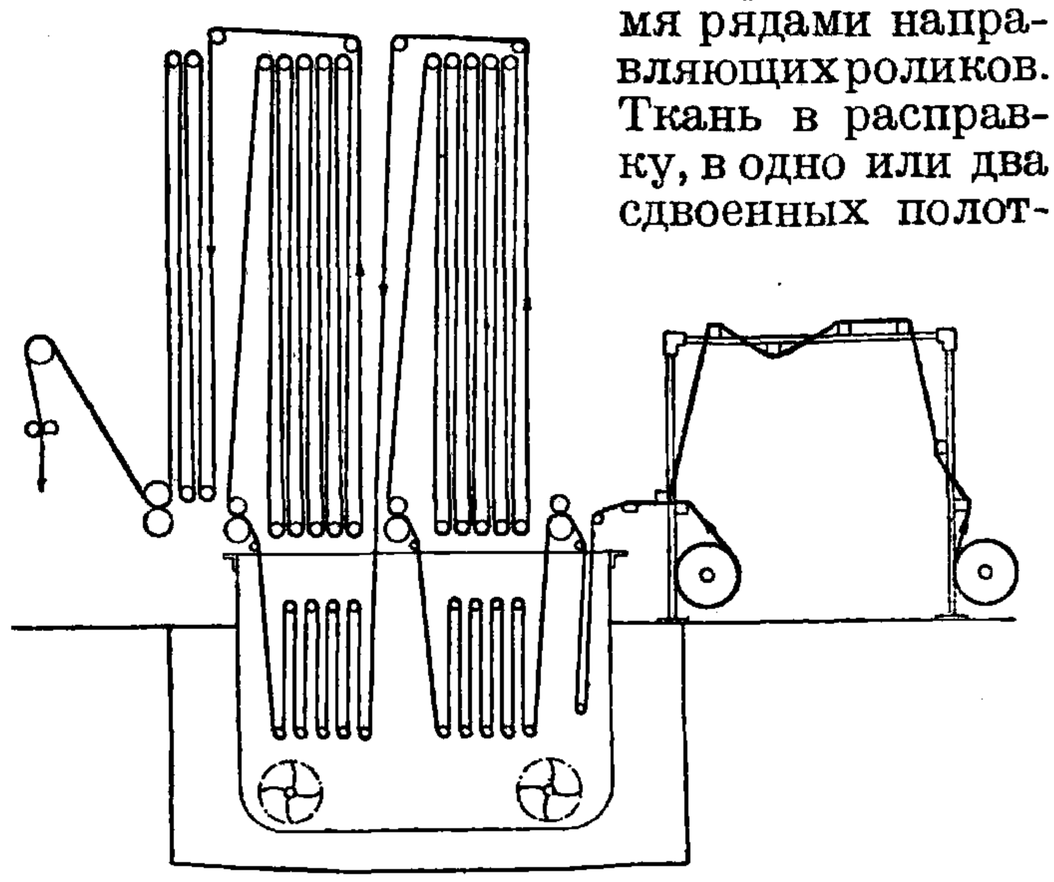
$$Zn + Ca(OH)_2 + C_{16}H_{10}N_2O_2 \rightarrow C_{16}H_{10}N_2O_2Ca + Zn(OH)_2.$$

Для приготовления матки И. (в виде 20%-ной пасты) смешивают с цинковой пылью (предварительно замешенной с горячей водой) и при 50—60° прибавляют гашеную известь (в виде известкового молока). После 5—6 час. стояния И. куб готов, и его вливают в красильный куб. Цинковый куб имеет, по сравнению с купоросным, меньшее гнездо, но потери И. все же достигают здесь 10%.

Гидросульфитный куб. Этот куб в настоящее время наиболее распространен, так как не имеет недостатков предыдущих кубов. Для восстановления И. применяют гидросульфит в готовом виде, в порошке, или же красильщик сам его готовит из цинковой пыли и бисульфита натрия в присутствии $Ca(OH)_2$ (см. выше). Для приготовления матки берут, напр., И. в виде 20%-ной пасты (50 *кг*), прибавляют горячей воды (100 *л*) и едкого натра (20 *л*, плотностью 40° Bé) и при 50—60° задают при постоянном помешивании гидросульфит в порошке (8,5 *кг*) или соответствующее количество самостоятельно приготовленного раствора гидросульфита. По истечении $^1/_2$—1 часа куб готов, и его вливают в красильный куб. Гидросульфитный куб несколько дороже предыдущих, но имеет ряд преимуществ (простота и быстрота работы, отсутствие кисловки, отсутствие гнезда и др.).

Бродильные кубы в общем похожи на кубы для крашения шерсти, но отличаются от них большей щелочностью, большей концентрацией И. в красильном кубе и тем, что бывают как горячими, так и холодными.

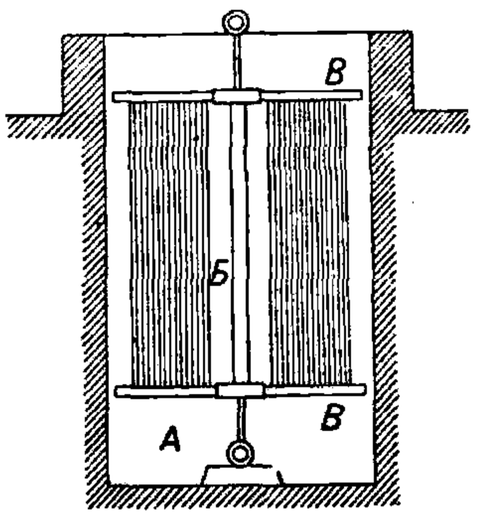
Крашение хлопка и льна в перечисленных кубах (купоросном, цинковом, гидросульфитном и бродильных) производят при $t°$ ок. 15—25°, продолжительность одного погружения (прохода)—от $^1/_2$ до 5 мин.; затем следуют отжим и окисление на воздухе в течение 1—10 мин. В случае необходимости получить более интенсивную окраску операции эти повторяют несколько раз. После крашения происходят промывка и кисловка (за исключением гидросульфитного куба), снова промывка и сушка. Хлопок окрашивают И. в виде непряденого материала, пряжи в мотках (редко в виде крестовых шпуль), а гл. обр. в виде тканей. Для крашения непряденого хлопка применяют механич. аппараты упаковочной системы, для крашения пряжи в мотках—либо ручные барки с изогнутыми железными палками, позволяющими держать пряжу под уровнем красильного раствора, либо непрерывно действующие аппараты (системы Планелла). Пряжу в виде крестовых шпуль окрашивают в аппаратах насадочной системы. Ткани окрашивают в кубах непрерывного или периодич. действия. Непрерывно действующий куб (системы Вельтера), называемый также рулетным кубом (фиг. 2), состоит из большого железного или цементированного бассейна, в к-ром имеются две вынимающиеся каретки с двумя рядами направляющих роликов. Ткань в расправку, в одно или два сдвоенных полотна, входит в первую половину куба, где, проходя по роликам, пропитывается раствором лейкоиндиго, затем выходит из куба, отжимается парой отжимных валов и подвергается окислению на воздухе, делая несколько оборотов в вертикальном направлении по роликам, расположенным над кубом. После этого ткань поступает во вторую половину куба, проходит в нем по роликам, отжимается и таким же образом, как раньше, окисляется; затем с помощью самоклада ткань укладывается в тележку. Продолжительность пребывания в кубе (прохода) и окисления—$1^1/_2$—$2^1/_2$ минуты. Количество погружений бывает разным в зависимости от требуемой интенсивности окраски. Обычно пропускают ткань два раза через один куб или через два рядом стоящих куба. На дне куба расположены мешалки для перемешивания раствора во время «подкармливания», заправки и т. д.



Фиг. 2.

При небольшой производительности применяют куб периодич. действия, представляющий (фиг. 3) глубокий круглый деревянный или цементированный чан *A*, наполненный красильным раствором. В этот чан опускают каретку *Б* с тканью. Каретка представляет вертикальный деревянный или железный стержень, на концах к-рого укреплены звездчатые деревянные или железные бруски *B*; на внутренней стороне этих брусков

укреплены крючки, на которые завешивают кромками ткань по спирали, начиная от стержня. Количество завешиваемой ткани доходит до трех кусков. Каретка с тканью



Фиг. 3.

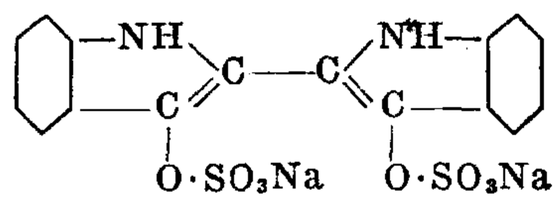
находится в кубе около 5 мин.; после этого ее вынимают, дают раствору стечь в течение 5 мин. и опять опускают в куб, но уже другим концом (для получения равномерной окраски). Операции эти повторяют несколько раз (до 10), до получения требуемой окраски. Ткань после крашения в кубах поступает на проходные аппараты, где в расправку подвергается кисловке соляной или серной (если имеем дело с Са-солями лейкоиндиго) кислотами и промывке водой.

Применение И. в печатании волокнистых материалов. Наибольшее применение И. находит в печатании хл.-бум. тканей. Печатание И. шерстяных и шелковых тканей производится лишь в редких случаях. Непосредственное печатание И. на хлопке в настоящее время производят по т. н. гидросульфитному способу: И. в виде пасты смешивают с раствором едкого натра и формальдегидсульфоксилатами натрия (ронгалитом С, гидросульфитом NF, концентрированными в порошке) и загущают загусткой (напр. из британской камеди); полученной печатной краской печатают по хл.-бум. ткани, затем ткань высушивают и подвергают короткому запариванию в *зрельнике* (см.) при $t°$ ок. 100—105° в течение 2—5 мин. При этом под влиянием влажного горячего пара и формальдегидсульфоксилатов происходит восстановление И. в лейкоиндиго, растворение его в едком натре и поглощение хлопковым волокном. Для закрепления И. ткань после выхода из зрельника подвергают окислению раствором хромпика, после чего ее промывают, мылуют, еще раз промывают и высушивают. Все эти операции после выхода ткани из зрельника производят на проходных аппаратах. Узоры, белые и цветные, на индиговом фоне получают при помощи *вытравок* (см.) и резервов.

Лит.: Шапошников В. Г., Общ. технология волокн. и красящих веществ, стр. 449—462, М.—Киев, 1926; Петров П., Викторов П., Малютин Н., Химич. технология волокн. веществ, стр. 280—304, Ив.-Вознесенск, 1928; Loewenthal A., Handbuch d. Färberei d. Spinnfasern, B. 2, p. 1042—1076, B., 1923.
Д. Грибоедов.

ИНДИГОВЫЙ КУБ, щелочной раствор восстановленного индиго, а также аппарат, в котором производят крашение. См. *Индиго*, применение в крашении, и *Кубовые красители*.

ИНДИГОЗОЛЬ, растворимый в воде препарат *кубового красителя* (см.), обыкновенно натриевая соль сернистокислого эфира лейкосоединения красителя. Впервые И. был получен в 1924 г. Бадером и Ш. Вошером [1] при действии пиридиновой соли хлорсульфоновой кислоты на натриевую соль *белого индиго* (см.) в пиридиновом растворе и при последующем вытеснении из продукта конденсации пиридинового остатка молекулярным количеством едкого натра [2]. Полученный препарат индиго имеет строение

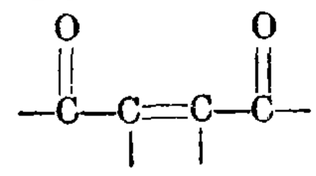


и назван Бадером индигозолем. В 1925 г. фирма Durand et Huguenin [3] применила метод Бадера к целому ряду кубовых красителей, как индигоидных, так и индантреновых. Полученные препараты этих кубовых красителей получили тоже наименование И. с прибавлением лишь заглавной буквы названия кубового красителя и его марки.

Применение И. в текстильном деле основано на омылении И. с отщеплением частицы бисульфита натрия и на последующем окислении свободного лейкосоединения красителя. Омыление И. происходит весьма легко в кислой среде, окисление же м. б. произведено за счет кислорода воздуха при каталитич. действии ванадиевых солей, а также при действии азотистой к-ты, хлорного железа и других несильных окислителей. И. в виду его растворимости очень удобен для крашения и печати [2,4]. И. применим также и для крашения животных волокон, т. к. извлекается из красильной ванны подобно кислотному красителю, а затем омыляется и окисляется на волокне. При этом отпадает недопустимая для животных волокон щелочная среда, сильно препятствовавшая применению кубовых красителей в крашении шерсти и шелка. Высокая цена И. (почти вчетверо дороже соответствующего кубового красителя) препятствует широкому применению И. в текстильном деле, но в ситцепечатании И. завоевывает все большее применение.

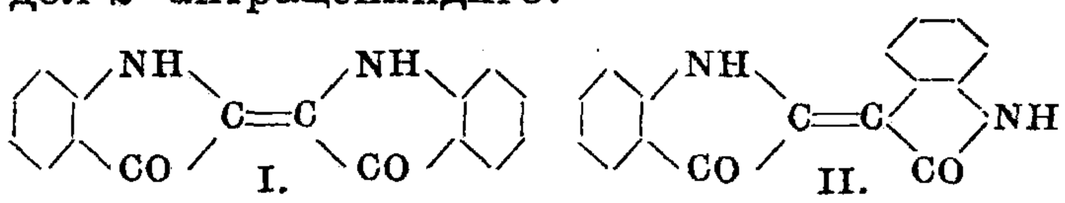
Лит.: [1]) Chemische Industrie, B., 1924; [2]) Шапошников В. Г., Общая технология волокнист. и красящих веществ, М.—Киев, 1926; [3]) Friedlaender P., Fortschritte d. Teerfarbenfabrikation u. verwandter Industriezweige, T. 14, 15, Berlin, 1926—28; [4]) Проспекты I. G. Farben.
И. Иоффе.

ИНДИГОИДНЫЕ КРАСЯЩИЕ ВЕЩЕСТВА, индигоиды, *кубовые красители* (см.), отличающиеся наличием в них двух соединенных двойной связью между углеродными атомами ядер, в каждом из которых расположено по одной карбонильной группе в *о*-положении к двойной связи; это обусловливает образование характерной для И. к. в. полухинонной группировки:

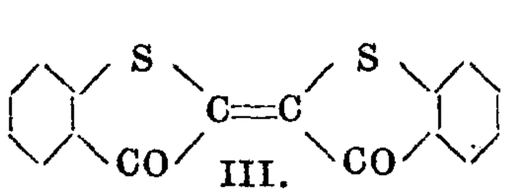


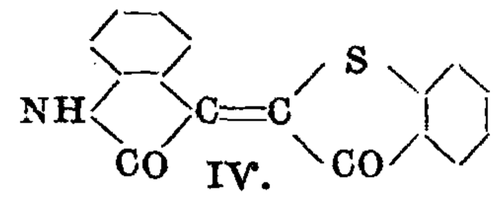
Близкими к И. к. в. являются лигноны, в к-рых обе карбонильные группы расположены в *п*-положении к двойной связи, и индолигноны, в к-рых одна карбонильная группа находится в *о*-положении, другая же в *п*-положении. И. к. в. выпускают в продажу различных цветов и марок под названиями: тиоиндиго, циба, гелиндоны и др. Более правильной является рациональная номенклатура, основанная на тех родоначальных ядрах, из к-рых составлена молекула И. к. в. При этом в ядрах перенумерованы атомы, составляющие их скелет, чем пользуются как для обозначения атомов, примыкающих к двойной связи, так и всех возможных замещений в ядре. В силу этого рациональным обозначением для индиго (I)—

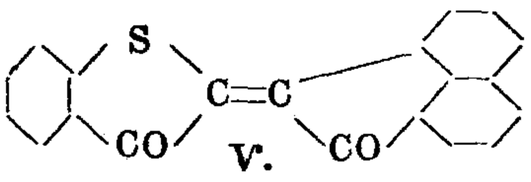
родоначальника группы И. к. в.—является 2, 2′-bis-индолиндиго; для изомерного с ним индиго красного, или индирубина (II),— 2, 3′-bis-индолиндиго; для тиоиндиго красного (III), содержащего два тионафтеновых ядра, соединенных в положении 2 и 2′,— 2,2′-bis-тионафтениндиго. Смешанные И. к. в., как тиоиндиго алый R (IV), циба алый G (V) и ализарининдиго G (VI) соответственно могут быть названы 3-индол-2′-тионафтениндиго, 2-тионафтенаценафтениндиго и 2-индол-2′-антраценинидиго:

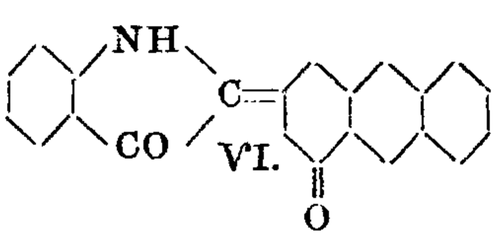

I.

II.


III.

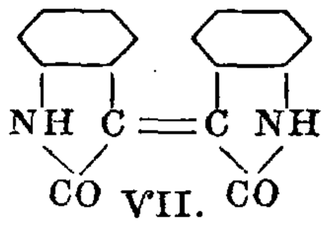

IV.

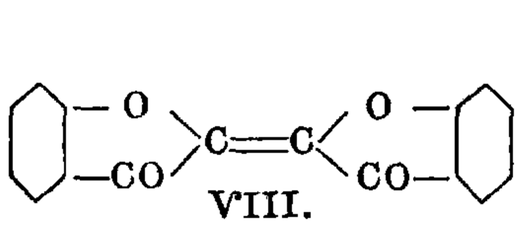

V.

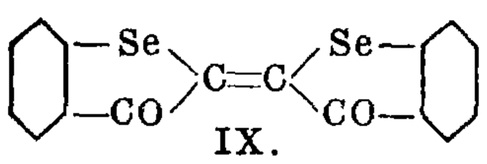

VI.

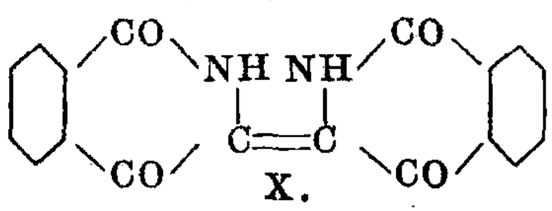
В основе рациональной номенклатуры лежат не кислородные производные, из к-рых И. к. в. получаются (как индоксил, изатин, окситионафтен, аценафтенхинон, оксантрол и т. п.), а соответствующие им углеводороды, т. к. уже само название И. к. в. обусловливает наличие двух кислородных атомов, входящих в состав карбонильных групп. Рациональная номенклатура И. к. в. не нашла еще широкого применения в технике и торговле.

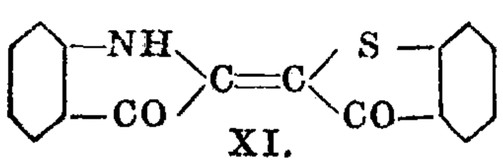
По химич. строению И. к. в. могут быть разбиты на следующие группы: 1) И. к. в., содержащие два ядра с наличием в каждом из них пятичленного гетероцикла, 2) содержащие лишь одно ядро с наличием в нем пятичленного гетероцикла и 3) не содержащие пятичленных гетероциклич. ядер. Первые из них могут представлять симметричную молекулу, как 2,2′-bis-индолиндиго (I), 2,2′-bis-тионафтениндиго (III), 3,3′-bis-индолиндиго (VII), 2, 2′-bis-кумараниндиго (VIII) и так называемого селениндиго (IX). Из них техническое значение имеют лишь индиго и тиоиндиго красный. Остальные, равно как и близкое к ним по строению, но не содержащее пятичленных колец карбиндиго (X), имеют лишь теоретическ. интерес.

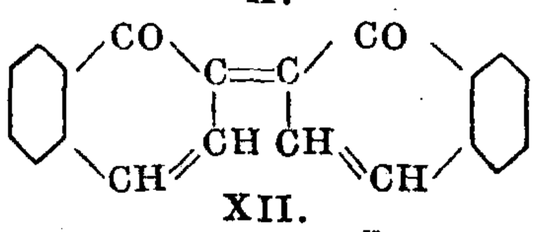

VII.


VIII.


IX.

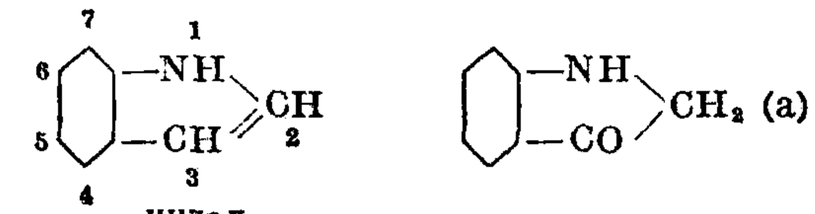

X.

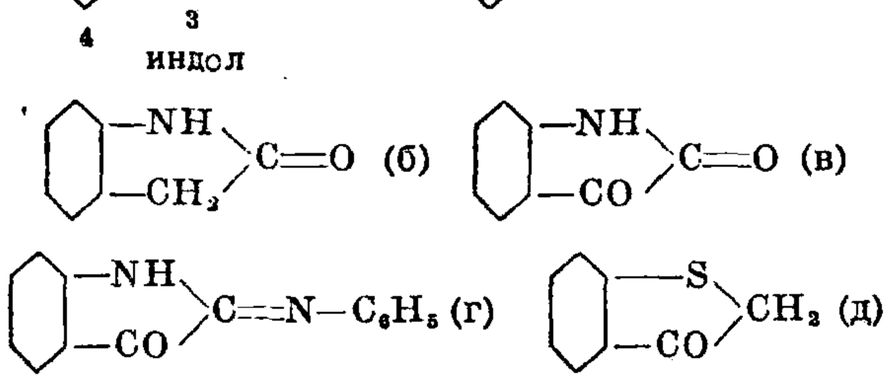

XI.


XII.

Несимметричные индигоиды первой группы представляют преимущественно сочетания в различных положениях индолового и тионафтенового ядра. Из них технически важны два: 3-индол-2′-тионафтениндиго (IV) и 2-индол-2′-тионафтениндиго (XI). Индирубин (II) интересен лишь в качестве И. к. в., сопутствующего индиго при его получении из индигоносных растений. Весьма большой отдел И. к. в. составляют красители, получаемые при сочетании ядер, содержащих пятичленный гетероцикл, гл. обр. индоловый и тионафтеновый, с нафталиновым, антраценовым, аценафтеновым, карбазоловым и т. п. ядрами. Главные представители их указаны выше [(V) и (VI)]. И. к. в., не содержащие пятичленных колец, за исключением карбиндиго, стали известны лишь недавно. Р. Вильштеттером был получен краситель (XII), представляющий 2, 2′-bis-нафталининдиго, который не содержит вовсе гетероциклич. ядер и тем самым заслуживает большого теоретич. интереса. За последние годы сильно развилось получение и изучение И. к. в., в состав к-рых входят аналоги индолового и тионафтенового ядер, содержащие вместо бензольного ядра нафталиновое или антраценовое (антрахинонное). Получаются они аналогично индиго из соответствующих глициновых производных или аналогично тиоиндиго из соответствующих тиогликолькарбоновых к-т. Эти И. к. в. могут давать как симметричные красители, так и несимметричные при конденсации соответствующих им изатинов с индоксилом, окситионафтеном и т. п. В виду возможностей различного положения пирролового или тиофенового цикла при ядре нафталина или антрацена, число возможных изомеров этих красителей велико. Кроме вышеописанных И. к. в., широкое распространение имеют их производные, гл. обр. галоидные и метильные.

И. к. в. получаются преимущественно при конденсации уже предварительно приготовленных промежуточных продуктов, содержащих замкнутые, необходимые для молекулы красителя циклы. Таковыми являются содержащие пятичленные ядра индоксил, оксиндол, изатин, изатинанилид, 3-окситионафтен и ряд кислородных производных ароматич. углеводородов — нафталина, антрацена, аценафтена и др. В виду того что различные кислородные производные индола вступают в реакцию неодинаково, возможно получение перечисленных выше различных И. к. в. Так, в индоксиле (а) вступает

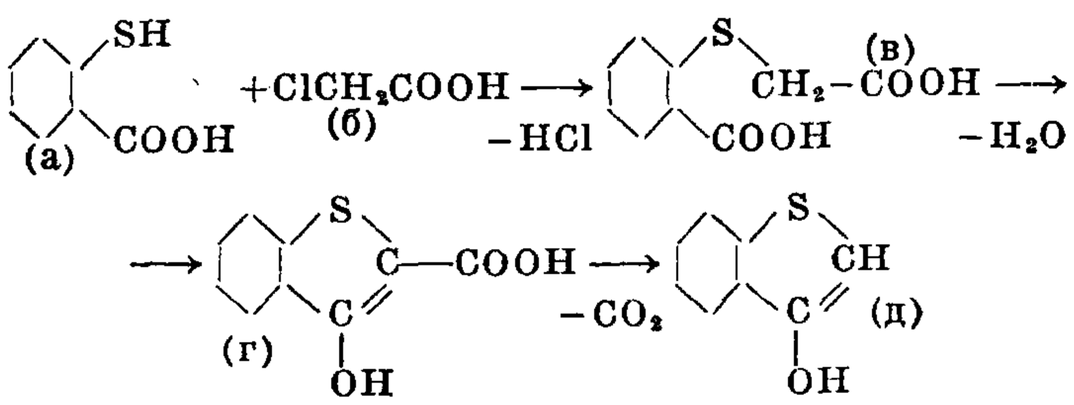

индол



в реакцию водород при углеродном атоме 2, в оксиндоле же (б)—при углероде 3. Изатин (в) вступает в реакцию за счет карбонильной группы 3, иначе называемой β, в то время как изатинанилид (г)—за счет замещенной карбонильной группы 2 (α); 3-окситионафтен (д) аналогичен индоксилу. Так, напр., конденсация оксиндола с изатином ведет к образованию 3, 3′-bis-индолиндиго, а индоксила

с изатинанилидом—к 2,2′-bis-индолиндиго. Сочетая различным образом между собой, а также с кислородными производными нафталина, антрацена, аценафтена и др. вышеприведенные промежуточные продукты, можно получить различные И. к. в. Все эти сочетания происходят весьма легко в водном или спиртовом растворе, в силу легкой подвижности атомов водорода и кислорода всех вышеперечисленных продуктов.

Из кислородных производных индола, применяемых для синтеза И. к. в., наиболее важны индоксил, изатин и изатинанилид (см. *Индиго*). Не менее важны производные тионафтена, в частности 3-окситионафтен, тиоиндоксил, который при окислении непосредственно переходит в тиоиндиго красный (III), в силу чего производство его сильно распространено; его получают действием хлоруксусной к-ты (б) на тиофенолкарбоновую к-ту (а), неправильно назыв. тиосалициловой. Продукт конденсации (в) при действии щелочей при повышенной $t°$, аналогично методу Геймана при синтезе индиго, и при действии кислотных водоотнимающих средств, как хлорсульфоновая кислота, замыкает тионафтеновое кольцо, переходя в 3-окситионафтен-2-карбоновую к-ту (г). Последняя уже при кипячении с водой выделяет CO_2, переходя в 3-окситионафтен (д). Последняя операция представляется часто лишней, т. к. и карбоновая к-та 3-окситионафтена может непосредственно окисляться в тиоиндиго и вступать в конденсацию с образованием И. к. в., выделяя CO_2 в процессе конденсации. Вся вышеизложенная реакция м. б. выражена следующей схемой:



По своим свойствам И. к. в. несколько отличаются от своего родоначальника, индиго, тем, что лейкосоединения многих из них, подобно галоидопроизводным индиго, обладают более субстантивными свойствами и выбираются волокном. Кроме того, некоторые из них, как тиоиндиго красный и др., м. б. переведены в натриевые соли лейкосоединений не только при действии гидросульфита, но и при действии сернистого натрия, т. е. аналогично сернистым красителям. При этом получаются все же несколько более тусклые окраски.

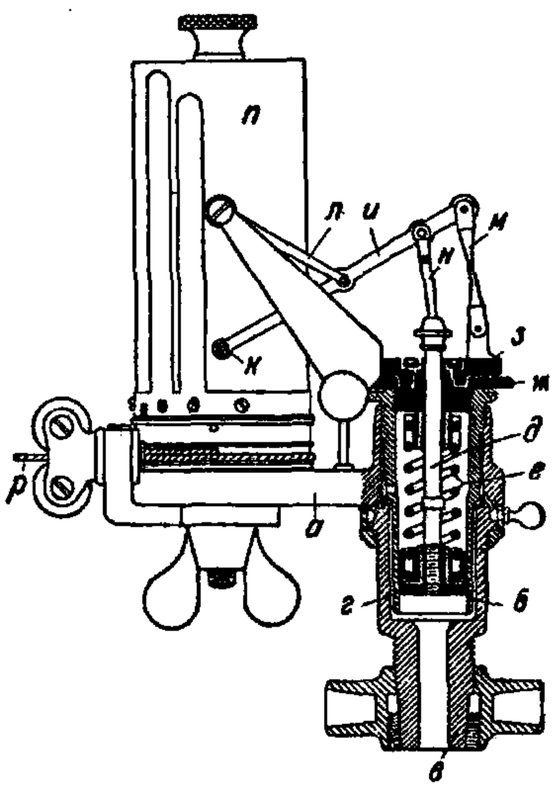
И. к. в. начали приобретать большое значение в текстильной промышленности с начала 20 в., и в числе их имеются весьма прочные и яркие красители. Нек-рые из них переводятся в *индигозоли* (см.), что послужило лишним толчком к более усиленному их производству. Несмотря на это не во всех странах, приступивших к самостоятельному производству красящих веществ, имеется производство И. к. в. кроме индиго, т. к. нек-рые из них потребляются в небольшом количестве, в силу чего самостоятельное производство И. к. в. является невыгодным. Теоретич. интерес И. к. в. весьма велик, и исследования новых И. к. в. продолжаются.

Лит.: Шапошников В. Г., Общая технология волокнистых и красящих веществ, М.—Киев, 1926; Fierz-David H. E., Grundlegende Operationen d. Farbenchemie, 3 Aufl., B., 1924; Fierz-David H. E., Künstliche organische Farbstoffe, B., 1926; Mayer F., Chemie d. organischen Farbstoffe, 2 Aufl., Berlin, 1924; Rowe F., Colour Index, N. Y., 1924; «B», 1928, B. 61, p. 362; Friedlaender P., Fortschritte d. Teerfarbenfabrikation und verwandter Industriezweige, T. 15, B., 1928; Truttwin H., Enzyklopädie d. Küpenfarbstoffe, B., 1920; Cain J. a. Thorpe E., The Synthetic Dyestuffs, London, 1923; Martinet J., Matières colorantes. L'indigo et ses dérivés, Paris, 1926; Карты образцов I. G. Farben и Ciba.

И. Иоффе.

ИНДИКАТОР, аппарат для записи колебаний давления в цилиндрах поршневых машин в зависимости от положения одной из деталей основного механизма, чаще всего поршня, иногда от угла поворота главн. вала и пр. Вычерчиваемая И. кривая, индикаторная диаграмма, характеризует собой работу действующего агента (жидкости или газа) в цилиндре. И. разделяется на часть, воспринимающую давление, и на передающий и регистрирующий механизмы. Первая состоит обычно из поршня, нагруженного пружиной, или из мембраны, а вторые бывают весьма разнообразного устройства, и по способу передачи показаний различают И. механические, оптические, электрические, электро-пневматические.

Теория и типы И. Механический поршневой И. (фиг. 1) сист. Розенкранца представляет собой один из простейших типов. Он состоит из станины *а*, со сменным рабочим цилиндром *б*, к-рый коническим патрубком *в* сообщается с полостью цилиндра индицируемой машины. В цилиндре *б* ходит плотно притертый поршень *г*, соединенный со штангой *д* и с одним концом пружины *е*; второй конец последней прикреплен к крышке *ж*. На крышке находится вращающееся кольцо *з*, на к-ром укреплен передающий аппарат, состоящий из пишущего рычага *и* с карандашом *к*, двух подвесных тяг *л* и *м* и шатуна *н*. Диаграмма вычерчивается карандашом на бумажном листе, натянутом на барабан *п*, к-рый приводится в переменновращательное движение шнурком *р*, намотанным в $1^1/_2$—2 оборота на нижнюю часть барабана. Обратное движение и необходимое натяжение шнурка совершаются спиральной пружиной, укрепленной одним концом в барабане, а другим—на неподвижной оси его. Механич. И. других систем отличаются от описанного лишь б. или м. существенными деталями. Работа И. заключается в следующем: пространство под поршнем сообщается с той полостью, давление к-рой д. б. индицировано. Под действием этого давле-

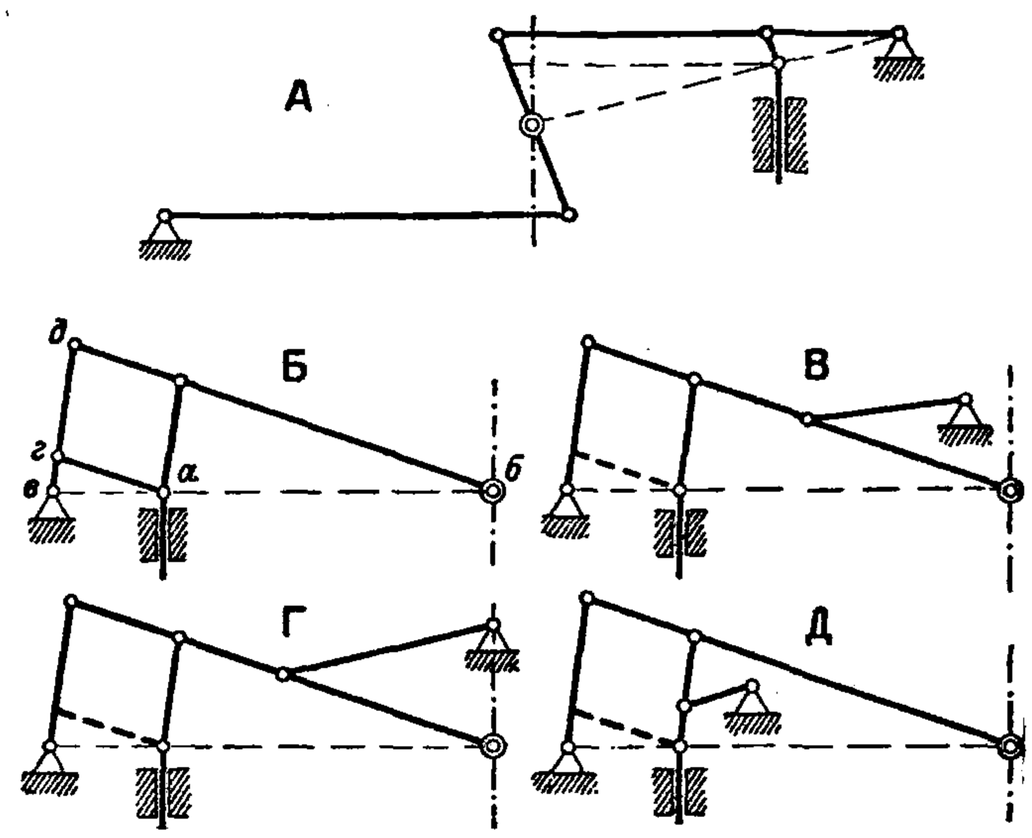


Фиг. 1.

ния поршень *г* сожмет или растянет пружину *е*, и перемещение поршня в увеличенном масштабе будет отмечено карандашом *к*; одновременно барабан *п* шнурком *р* поворачивается на угол, зависящий от перемещения какой-либо части индицируемой машины. Полученная диаграмма имеет ординаты, пропорциональные (в пределах точности передающего механизма) перемещениям поршня И. (а не непосредственно давлениям), а абсциссы—углам вращения барабана (а не перемещениям соответственного органа индицируемой машины). В числе причин, искажающих показания И., т. е. нарушающих пропорциональность между перемещениями поршня и давлениями, углами поворота барабана и перемещениями органа машины, при правильной установке и оперировании И., главную роль играют силы инерции частей И. и передаточного механизма (механизма, передающего движения индицируемой машины барабану И.). Чем выше число оборотов индицируемой машины, тем затруднительнее правильная работа И. Оба главных движения И. должны быть строго пропорциональны давлению и перемещению выбранной детали индицируемой машины. Одним из главнейших условий правильного действия И. является прямолинейность движения карандаша и пропорциональность его пути передвижениям поршня, для чего применяется рычажный механизм, известный в кинематике под названием прямила.

В И. употребляются два основных рода прямил: трехзвенное прямило [*параллелограм Уатта* (см.)] и производные пантографного прямила. Трехзвенное прямило (фиг. 2, А) употребляется в виду его громоздкости сравнительно редко; оно является частным случаем четырехшарнирного механизма, у к-рого средняя точка среднего звена вычерчивает кривую в виде восьмерки—лемнискоиду, часть к-рой достаточно близко напоминает прямую. Пантографное прямило в чистом виде изображено на фиг. 2, Б. Если точка *а* движется по прямой, то точка *б* пишущего рычага, лежащая на одной прямой с *а* и *в*, двигается также по прямой, при чем ее скорость строго пропорциональна скорости точки *а*, но увеличена в отношении $\frac{вб}{ав}$. Пантографное прямило применяется в чистом виде весьма редко, т. к. два близко лежащих шарнира *в* и *г* вследствие неизбежной игры допускают значительные угловые перемещения тяги *ад*, чем практически сводят на-нет достижимую теоретически точность. Обычно это прямило применяется в одной из след. модификаций (пунктиром обозначен отсутствующий в действительности стержень *аг*): укороченное эллиптич. прямило (фиг. 2, В), прямило Эванса (фиг. 2, Г) и прямило Кросби (фиг. 2, Д); все они обладают достаточною для практич. целей точностью; наиболее точным является прямило Эванса, но получающаяся при этом конструкция несколько тяжела и поэтому мало пригодна для И., предназначенных для быстроходных машин. В последних применяют прямило Кросби, как обладающее наименьшей приведенной к штоку поршня массой.

Поршень И. находится в каждое мгновение своего движения под действием следующих сил: а) силы давления pf на поршень, где p — искомое давление, а f — известная площадь поршня; б) силы сжатой индикаторной пружины—cs, где c—постоянная пружины, а s—величина сжатия (растяжения) пружины, даваемая в увеличенном виде ординатой индикаторной диаграммы; в) силы трения поршня и передающего механизма, полагаемой постоянною, равною $\pm W$; г) силы, зависящей от поглощения энергии молекулярным трением в частях И.; т. к.



Фиг. 2.

энергия эта принимается пропорциональной квадрату скорости, то сила пропорциональна скорости движения поршня и равна $\varepsilon \frac{ds}{dt}$, где ε—коэфф., определяемый для данных условий работы И. из опыта, а t—время; д) силы инерции движущихся масс И., связанных с поршнем, пропорциональной ускорению и равной $m\frac{d^2s}{dt^2}$, где m—масса движущихся частей, приведенная к движущемуся концу пружины (или, что то же, к поршню). Т. к. в каждый момент сумма всех сил, действующих на поршень, равна 0, то имеем следующее дифференциальное ур-ие движения поршня:

$$pf - cs \pm W - \varepsilon \frac{ds}{dt} - m \frac{d^2s}{dt^2} = 0 . \qquad (1)$$

В этом ур-ии величины f и c даны конструкцией И., W, ε и m определяются вычислением или опытом, величину s получают, измеряя соответственную ординату индикаторной диаграммы, $\frac{ds}{dt}$ и $\frac{d^2s}{dt^2}$ получают из самой индикаторной диаграммы, и, т. о., теоретически не встречается препятствий для точного определения значения p в каждый данный момент. На практике, однако, к этим вычислениям прибегают лишь в исключительных случаях. Из ур-ия (1) видно, что, за исключением легко учитываемого влияния трения W, два остальных неизвестных члена зависят от скорости и ускорения частей И. Пока для данного И. не превзойдено некоторое число ходов в мин., зависящее от конструкции И. и абсолютной высоты диаграммы, влияние этих членов на диаграмму настолько мало, что ими можно на практике пренебречь. Вторым обстоятельством,

искажающим индикаторную диаграмму, является возникновение колебательных движений упругого звена индикаторного механизма (пружины, мембраны). Особенно сильно заметно влияние этих колебаний при резких изменениях давления у быстроходных двигателей, напр. у автомобильных двигателей внутреннего сгорания. Общее ур-ие частоты колебаний z поршня И. имеет вид:

$$z = \frac{\sqrt{4c \cdot m - \varepsilon}}{4\pi m}; \qquad (2)$$

отбрасывая ε в виду его малости, получаем:

$$z = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{c}{m}}, \text{ или } m = \frac{c}{4\pi^2 z^2}. \qquad (3)$$

Наибольшее отклонение поршня под влиянием сил инерции от положения, соответствующего действительному давлению:

$$\Delta y = \frac{a_{max} m}{c^2},$$

где a_{max}—максимальное ускорение поршня при $c=1$, определяемое опытом. Для удобочитаемости диаграммы важно не абсолютное значение Δy, а его отношение к максимальн. ординате перемещения поршня $y = \frac{p_{max}}{c}$, т. е.

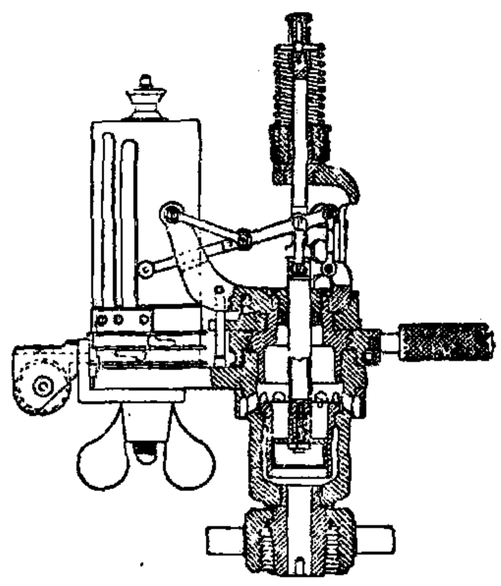
$$\frac{\Delta y}{y} = \frac{a_{max} \cdot m \cdot c}{c^2 \cdot p_{max}}, \qquad (4)$$

где p_{max}—максимальное индицируемое И. давление. Подставляя значение m из ур-ия (3) и замечая, что для данного И. и для данной формы индикаторной диаграммы $a_{max} = k\,n^2$, где k—постоянная, а n—число оборотов индицируемого мотора, имеем:

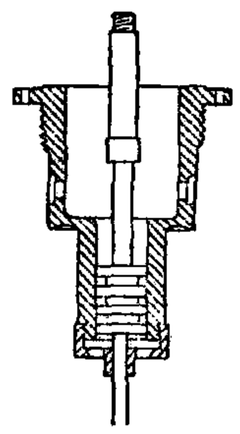
$$\frac{\Delta y}{y} = \frac{k}{4\pi^2 \cdot p_{max}} \cdot \frac{n^2}{z^2} = K \cdot \frac{n^2}{z^2}. \qquad (5)$$

Из ур-ия (5) видно, что наибольшая ошибка прямо пропорциональна квадрату чисел оборотов, обратно пропорциональна частоте собственных колебаний И. и, кроме того, при равных прочих условиях (высоте диаграммы) обратно пропорциональна величине максимального индицируемого давления. Все выведенные выше соотношения справедливы, конечно, для предположенного заданным закона изменения давлений в индицируемом цилиндре, т. е. для данной формы индикаторной диаграммы; от быстроты изменения давлений зависит и величина a_{max}, а следовательно, и K в ур-ии (5). Для правильной работы И. необходимо, чтобы частота собственных колебаний была много больше числа оборотов индицируемого двигателя (для двигателей Дизеля в 12—15 раз, для двигателей, работающих по циклу Отто, в 16—20 раз). Обычно фирмы указывают границы применения И., далеко не соответствующие действительности, и для получения диаграмм, выражающих истинный ход процесса, рекомендуется использовать не более $^1/_3$—$^1/_2$ числа оборотов, указанных в проспектах фирм. Из сказанного понятно также, почему один и тот же И. может дать хорошую нормальную и совершенно непригодную диаграмму со слабой пружиной (увеличение K вследствие уменьшения p_{max}).

И. для тихоходных машин не представляют значительных конструктивных трудностей и изготовляются лишь в двух основных разновидностях—с внутрилежащей, «горячей» (фиг. 1), или с наружной, «холодной» (фиг. 3) пружиной. Последний тип несколько сложнее, но предпочтительнее первого, т. к. нахождение пружины под действием высоких $t°$ ведет к изменению структуры стали и механических качеств пружины. Пружину делают в настоящее время всегда двойной для избежания возникновения изгибающего момента под действием несимметричной нагрузки штока ординарной пружиной. Пружины делают как для работы на сжатие (фиг. 1), так и на растяжение (фиг. 3). В большом употреблении пружины Кросби (фиг. 3) с шариком на соединительной части обеих ветвей, которым она соединяется со штоком; эта конструкция позволяет значительно облегчить шток поршня. Из особых конструкций поршня заслуживает внимания система Розенкранца (фиг. 4); в ней поршень состоит из ряда дисков, соединенных штоком, при чем последний продолжен внизу и служит направляющим; эта система обладает всеми достоинствами лабиринтового сальника и не коробится от разницы $t°$, как обычные поршни **П**- и **Н**-образных сечений. Для того, чтобы один и тот же индикатор мог быть использован для индицирования различных машин, его снабжают несколькими сменными пружинами, при чем, конечно, соответственно меняется вертикальный масштаб диаграммы. Дальнейшее увеличение пределов применимости И. достигается употреблением вставных цилиндров с поршнями других диаметров; обычно площадь вспомогательного поршня берут в простом отношении к площади нормального. Обозначая отношение площадей нормального поршня F к добавочному F_1 через $\varkappa$, мы должны в $\varkappa$ раз увеличить максимальное индицируемое давление и в $\varkappa$ раз уменьшить масштаб каждой пружины.



Фиг. 3.



Фиг. 4.

Существенной частью И. является барабан; он приводится обычно в переменновозвратное вращательное движение от передаточного механизма, связанного обыкновенно с крейцкопфом индицируемой машины; передача совершается при помощи особого шнура. На барабан в каждый момент действуют следующие силы (все—приведенные к средней окружности витка шнура на барабане радиуса r): а) сила натяжения шнура S; б) натяжение пружины, равное $K_0 + K_1 y$, где K_0—первоначальное натяжение ее, K_1—постоянная пружины и y—линейное перемещение средней окружности витка; в) сила инерции барабана, равная $\frac{I}{r}\frac{d^2\alpha}{dt^2}$, где I—момент инерции массы барабана, равный mr^2 (m—масса, отнесенная к средней окружности), а α—угловое перемещение барабана; г) сила трения ϱ. Замечая, что $y = r\alpha$, имеем следующее дифференциальное ур-ие движения барабана:

$$S - K_0 - K_1 y - m\frac{d^2 y}{dt^2} \pm \varrho = 0. \qquad (6)$$

Перемещение y_1 механизма, приводящего

барабан во вращение, связано с перемещением барабана следующим уравнением:

$$y = y_1 - \frac{L}{E} S, \qquad (7)$$

где L—длина шнура, E—модуль упругости его (при малых усилиях индикаторный шнур подчиняется закону Гука); подставляя в ур-ие (7) величину S из ур-ия (6) имеем:

$$y = y_1 - \frac{L}{E}\left(K_0 + K_1 y + m\frac{d^2y}{dt^2} \pm \varrho\right). \qquad (8)$$

В первом приближении можно принять, что $y = y_1$ и крейцкопф совершает гармонич. колебания, т. е. $y_1 = l \sin(\omega_1 t)$, где l—ход барабана и ω_1—угловая скорость индицируемого двигателя; отсюда

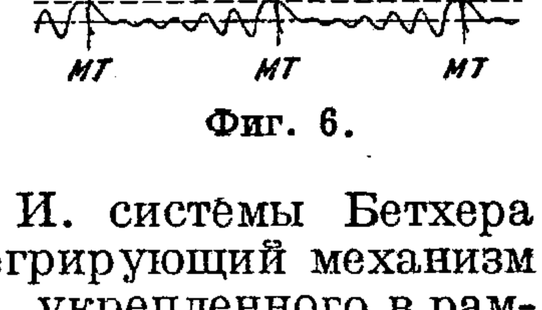
$$\frac{d^2y}{dt^2} = -l\omega_1^2 \sin(\omega_1 t) = -\omega^2 y_1;$$

подставляя это выражение в ур-ие (8), получаем окончательно:

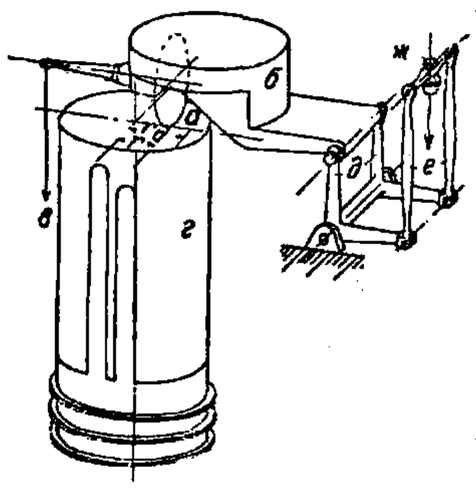
$$y = y_1\left(1 + \frac{Lm}{E}\omega_1^2\right) - \frac{L}{E}(K_0 + K_1 y \pm \varrho). \qquad (9)$$

Из ур-ия (9) видно, что силы инерции барабана при условии гармонич. колебания крейцкопфа не нарушают пропорциональности перемещений барабана и крейцкопфа; первоначальное натяжение пружины несколько смещает всю диаграмму в сторону; переменное натяжение обусловливает то, что масштаб абсцисс меняется по длине диаграммы; наиболее вредным оказывается по причине знакопеременности трение, поэтому его следует по возможности уменьшать.

Описанные системы И. служат для получения замкнутых однократных диаграмм нормального типа. Иногда, в частности для изучения процессов регулировки, является желательным снять целый ряд диаграмм т. о., чтобы они не покрывали друг друга, как это имеет место при нормальных И. Для этого И. снабжают специальным барабаном (фиг. 5); он укрепляется на месте нормального барабана и также приводится шнуром в переменновозвратное вращательное движение. Индикаторная бумага в длинном ролике a помещается внутри барабана; она проходит сначала между двумя роликами *1* и *2*, из к-рых первый укреплен на рычажке *б* и прижимается пружиной *в*, затем бумага огибает снаружи барабан и, пройдя по ролику *3*, наматывается на валик *г*; последний в конце каждого двойного хода храповым механизмом поворачивается на нек-рый угол, так что новая диаграмма начинается каждый раз несколько отступя по горизонтали от предыдущей. Иногда является желательным получить абсциссы пропорциональными не перемещению поршня двигателя, а углу вращения коренного вала. В этом случае вращение коренного вала передается особому барабану, непрерывно продвигающему бумажную ленту под карандашом И. Для определения положения мертвых точек (*МТ*) поршня на И. укрепляют электрич. аппарат, отмечающий моменты прохождения кривошипа через мертвые положения; иногда пишущий рычаг этого приспособления делают колеблющимся, и тогда, зная частоту его колебаний, можно пользоваться этими отметками также и при изучении протекания процессов во времени; диаграмма этого типа дана на фиг. 6. Иногда И. снабжают интегрирующим приспособлением, дающим непосредственно сумму работ, совершенных двигателем за измеренное число циклов. Принцип действия интегрирующего И. системы Бетхера виден из фиг. 7. Интегрирующий механизм состоит из колесика *а*, укрепленного в рамке *б* и прижимаемого пружиной *в* к верхней плоской поверхности индикаторного барабана *г*. Вращение колесика передается счетному механизму; рамка *б* соединена рычажным механизмом *д*, *е* и *ж* со штоком И. так, что при атмосферном давлении колесико прикасается к цилиндру на расстоянии r_0 от центра последнего, а при перемещениях штока И., соответствующих давлениям свыше атмосферного, приближается к центру, причем величина перемещения $r_0 - r$ пропорциональна перемещению поршня И. Отбрасывая погрешности и полагая, что перемещения поршня И. пропорциональны давлениям, а углы вращения барабана—пути поршня индицируемого двигателя, получаем:



Фиг. 6.



Фиг. 7.

$$p = C_1(r_0 - r),$$
$$ds = C_2\, d\alpha, \qquad (10)$$

где p—какое-нибудь давление в цилиндре двигателя, ds—бесконечно малое перемещение поршня двигателя, $d\alpha$—соответствующий (по времени) бесконечно малый поворот барабана И., а C_1, C_2—постоянные для данного И. и способа передачи. Работа dA, совершенная двигателем на пути поршня ds, равна:

$$dA = F \cdot p \cdot ds$$

(F—площадь поршня двигателя); подставляя значения p и ds из ур-ий (10), получаем:

$$dA = FC_1C_2(r_0 - r)\, d\alpha. \qquad (11)$$

Обозначая давления в цилиндре двигателя в течение переднего (рабочего) хода поршня через $p_1 = C_1(r_0 - r_1)$, а при обратном ходе $p_2 = C_1(r_0 - r_2)$, получаем индикаторную работу за один цикл:

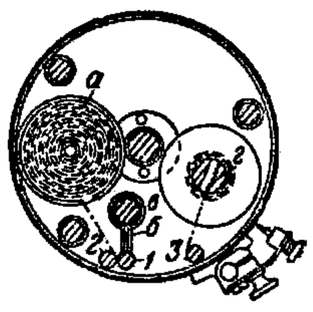
$$A = F\int_0^S p_1\, ds + F\int_S^0 p_2 ds = F\int_0^S p_1\, ds - F\int_0^S p_2\, ds, \qquad (12)$$

где S—ход поршня. Угол поворота β колесика пропорционален углу поворота барабана и расстоянию колесика от центра последнего, т. е.

$$d\beta = C_3 r\, d\alpha.$$

Т. к. при замкнутом цикле колесико проходит каждую абсциссу диаграммы дважды — один раз в прямом и другой раз в обратном направлении, то общий угол поворота колесика за цикл:

$$\beta = C_3\left[\int_0^a r_1\, d\alpha + \int_a^0 r_2\, d\alpha\right] = C_3\left[\int_0^a r_1\, d\alpha - \int_0^a r_2\, d\alpha\right]. \qquad (13)$$



Фиг. 5.

Подставляя в уравнение (12) значения p и ds из уравнений (10), имеем:

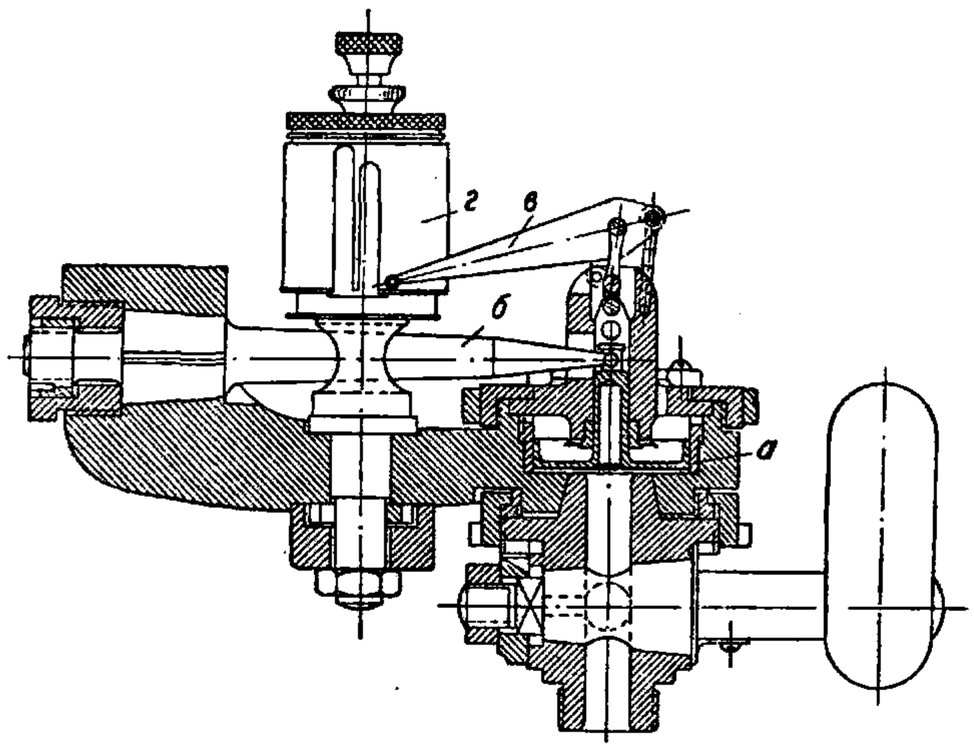
$$A = FC_1C_2\left[\int_0^a (r_0 - r_1)\,da - \int_0^a (r_0 - r_2)\,da\right] =$$

$$= -FC_1C_2\left[\int_0^a r_1\,da - \int_0^a r_2\,da\right];$$

подставляя сюда вместо разности интегралов ее значение из ур-ия (13), равное $\frac{\beta}{C_3}$, имеем окончательно за один полный цикл

$$A = -\frac{FC_1C_2}{C_3}\beta = K\beta\,, \qquad (14)$$

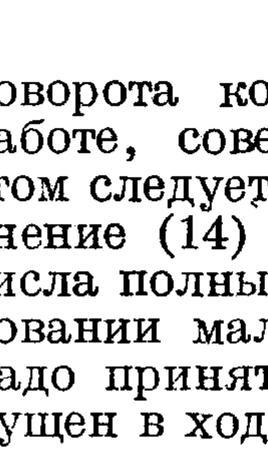
т. е. угол поворота колесика прямо пропорционален работе двигателя за один цикл; ясно, что если индицирование распространено на несколько циклов, то общий угол



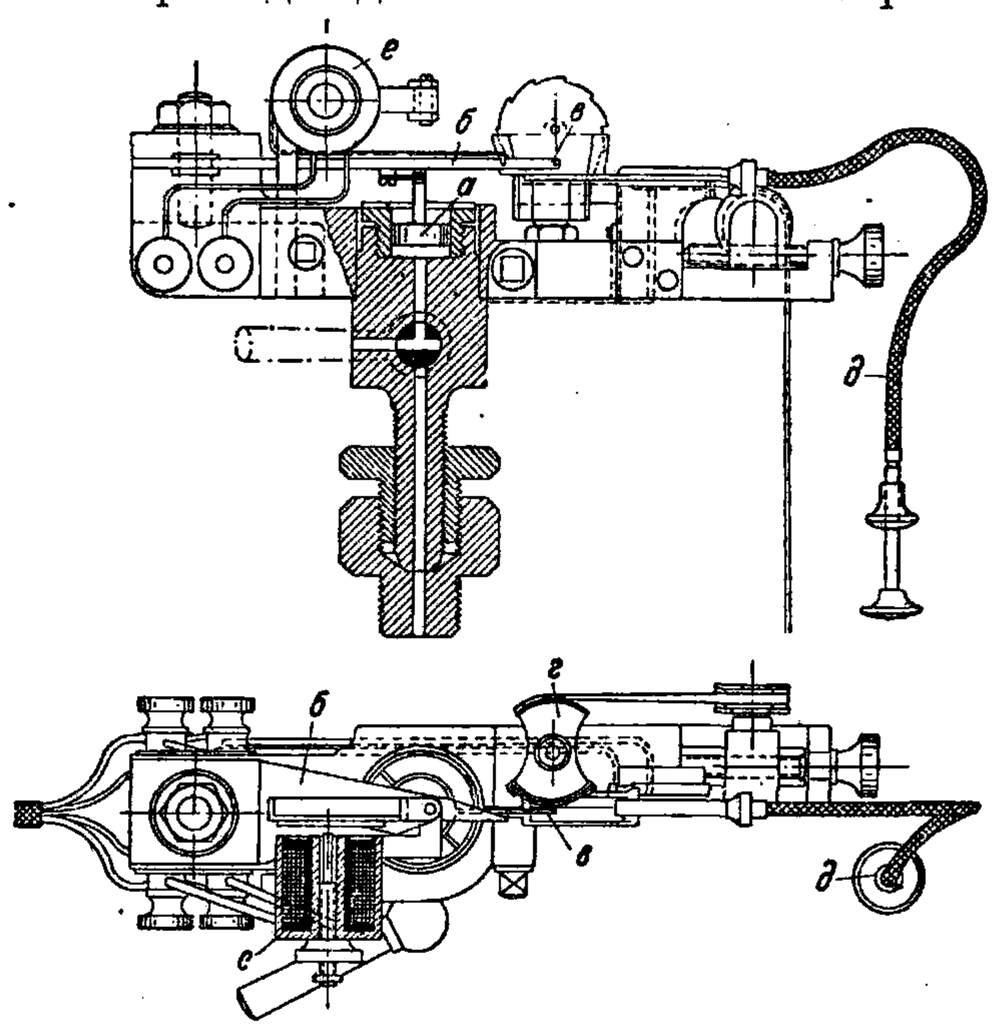
Фиг. 8.

поворота колесика будет пропорционален работе, совершенной за эти циклы. При этом следует, однако, иметь в виду, что уравнение (14) справедливо лишь для целого числа полных циклов; поэтому при индицировании малого числа оборотов двигателя надо принять меры к тому, чтобы И. был пущен в ход и остановлен в одной и той же точке цикла.

Все описанные выше системы И. пригодны лишь для индицирования двигателей с плавной диаграммой и небольшими числами оборотов. Значительное распространение легких двигателей внутреннего сгорания с резко изменяющимися давлениями и большими числами оборотов (в современных моторах гоночных машин до 7 000 об/м. и выше) вынудило создать И. специальных конструкций с преимущественным применением оптических или электрич. систем регистрации. Одним из действительно быстроходных механическ. И. является И. со стержневой пружиной, изображенный на фиг. 8; легкий поршень a опирается на сферич. конец стержневой пружины $б$, укрепленной в станине И.; перемещения поршня передаются пишущим механизмом $в$ (прямило Кросби) на барабан $г$. Собственное число колебаний этого индикатора равно: с пружиной 1 *мм*—1 *atm*: 30 000—40 000 кол/м.; 2 *мм*—1 *atm*: 21 000—28 000 кол/м.; 0,5 *мм*—1 *atm*: 42 000—55 000 кол/м.; т. о., он м. б. применяем с первой пружиной до 2 500 об/м., со второй—до 1 750 об/м. и с третьей—до 3 500 об/м. В микроиндикаторе системы Мадера совершенно отсутствует передаточный увеличивающий механизм (фиг. 9); перемещения поршня a, нагруженного спиральной пружиной $б$, передаются непосредственно рычажку $в$ с карандашом; последний прижимается к штоку слабой пружиной $г$ и совершает под действием особого приводного механизма $е$ поперечное движение, при чем пути его пропорциональны путям крейцкопфа индицируемого двигателя. Укрепленное в головке $д$ рычажка острие чертит диаграмму на закопченной стеклянной или на целлюлоидной пластинке; получающаяся диаграмма весьма мала (не более 2×2,3 *мм*), так что дальнейшая обработка ведется под микроскопом. Последнее обстоятельство, в связи с тем, что число собственных колебаний не очень велико (применение спиральной пружины), сильно ограничивает распространение И. этой системы. Другой микроиндикатор, системы Коллинса, изображен на фиг. 10; здесь давление поршня a передается непосредственно на плоскую стальную пружину $б$, имеющую форму тела равного сопротивления. К концу пружины прикреплен легкий рычажок $в$, снабженный на конце острием, царапающим диаграмму на целлюлоидной пластинке, натянутой на цилиндрический сектор $г$. Максимальный ход поршня равен 0,8 *мм*, соответствующее перемещение острия—3 *мм*. И. пускается в ход боуденовским шнуром $д$ и снабжен электрическим приспособлением $е$, отнимающим острие от диаграммы по истечении одного целого цикла. В виду жесткости и большой частоты колебаний пластинчатой пружины, этот И. пригоден для больших чисел оборотов.



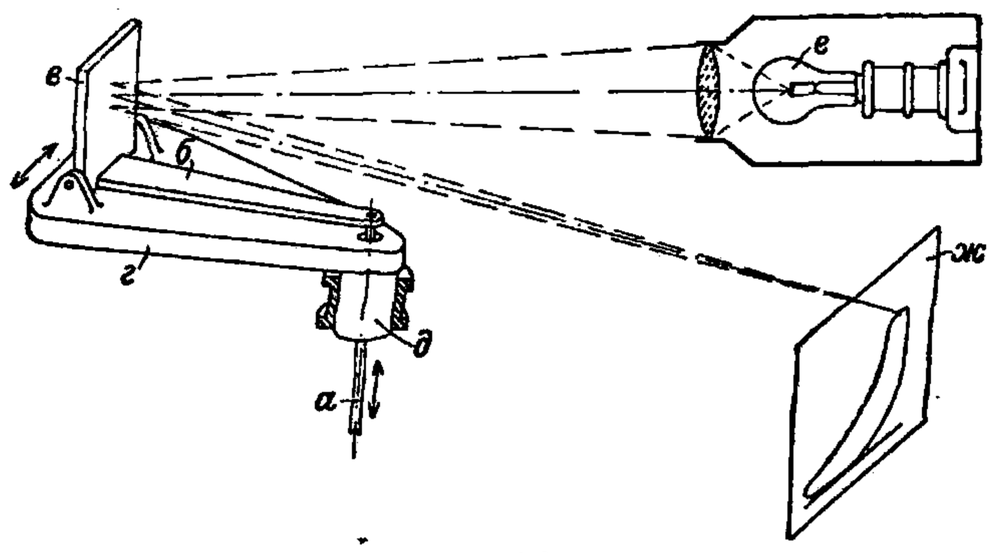
Фиг. 9.



Фиг. 10.

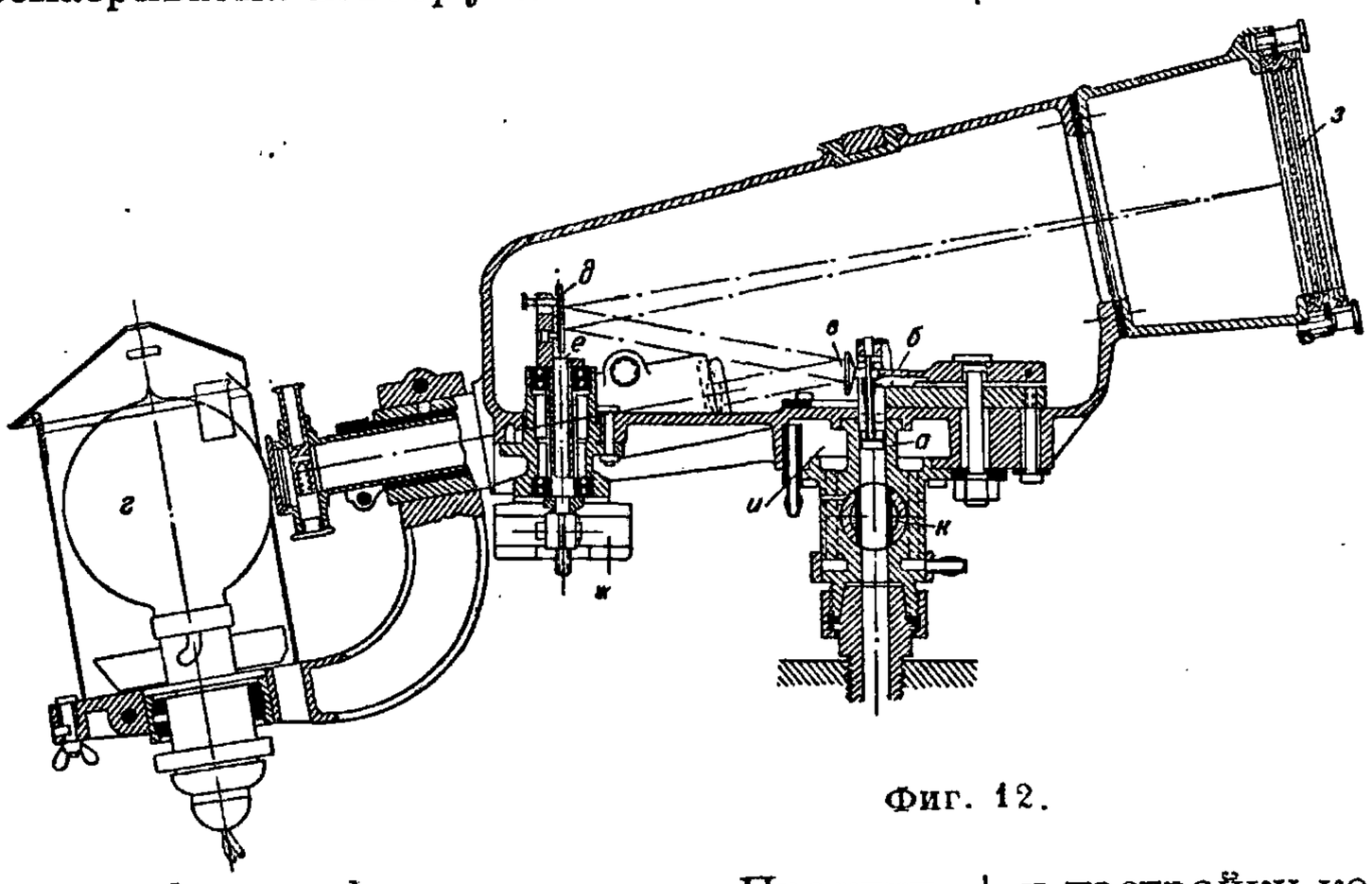
Общая принципиальная схема оптич. И. изображена на фиг. 11: перемещения стержня a, соединенного со штоком поршня (или с мембраной) И., пропорциональные давлениям, через посредство рычага $б$ сообщают зеркалу $в$ отклонения, которые также пропорциональны давлениям в цилиндре И. Вся рамка $г$ с сидящим на ней зеркалом вращается вокруг вертикальной оси $д$, при чем углы

поворота рамки пропорциональны перемещениям поршня индицируемого двигателя. Луч света от лампы *е* отбрасывается зеркалом и проектируется на матовый экран *жс*.

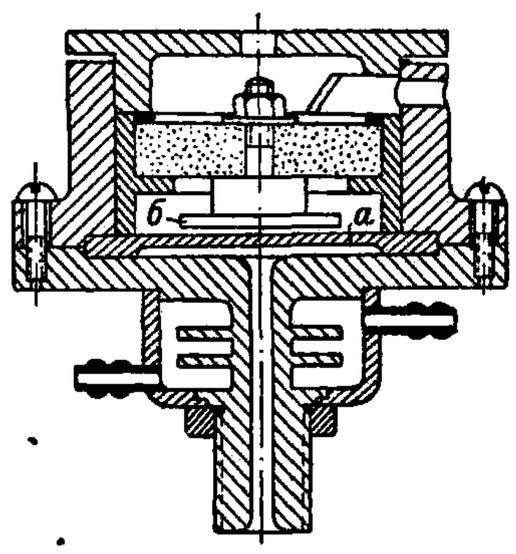


Фиг. 11.

При небольших значениях углов отклонения зеркала перемещения световой точки на экране пропорциональны: по оси абсцисс—перемещениям поршня, а по оси ординат—давлениям, т. е. на экране появляется нормальная индикаторная диаграмма, к-рая м. б. рассматриваема невооруженным глазом или снята на фотографич. пластинку. Практич. выполнение оптического И. системы Берстол (Burstall) дано на фиг. 12. Поршень *а* опирается штоком непосредственно на пластинчатую пружину *б* в виде тела равного сопротивления, несущую на конце зеркальце *в*. Последнее отбрасывает луч света, посылаемый лампой *г* на зеркало *д*, к-рое сообщает лучу требуемое отклонение по оси абсцисс; для этого оно укреплено на оси *е*, вращающейся в шарикоподшипниках и приводимой в переменно-возвратное вращательное движение сектором *жс*. Отраженный вторично луч падает на матовый экран *з*, заменяемый при желании кассетой с фотографическ. пластинкой. Цилиндр *и* и кран И. *к* охлаждаются водой. Хотя И. этого рода и обладают большой чувствительностью и собственная частота колебаний, вследствие использования лишенного массы пучка света в качестве рычага, весьма высока, но недостатком их является громоздкость и значительная восприимчивость к механич. толчкам и колебаниям индицируемого двигателя.

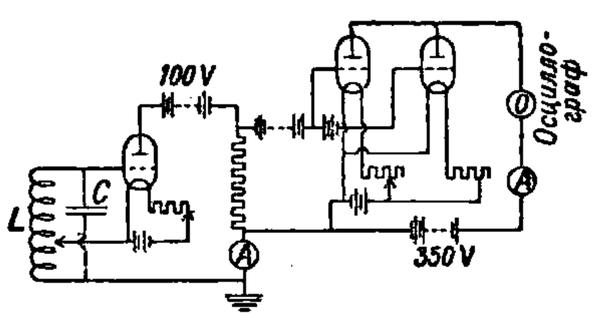


Фиг. 12.



Фиг. 13.

В последнее время учащаются попытки применить для целей передачи в И. переменный ток. На фиг. 13 изображен И. системы Юиши Обата (Токийский ун-т), а на фиг. 14—его включение в цепь осциллографа. Конструкция и принцип действия И. очень просты: рабочей частью является толстая стальная *мембрана а (2—3 мм толщ. и 50 мм ⌀)*, полость под которой сообщается с рабочим цилиндром индицируемого двигателя. Над мембраной на небольшом расстоянии прикреплен диск *б*, изолированный от корпуса И. Нижняя часть И. сделана в виде охлаждающей камеры, в которую пропускается вода. Принцип работы И. заключается в том, что мембрана *а* и диск *б* используются в качестве двух обкладок конденсатора *C*, включенного в колебательный контур *CL* небольшого лампового генератора. Изменение расстояния между обеими пластинками меняет емкость конденсатора, а следовательно, и настройку колебательного контура, вызывая тем самым колебания в анодной цепи генератора, к-рые после усиления в усилителе передаются на самопишущий осциллограф *О*. Т. к. частота собствен. колебаний мембраны была определена в 480 000 кол/м. для *2-мм* диафрагмы и в 720 000 кол/м. для *3-мм*, то при помощи этого индикатора возможно индицирование весьма быстроходных двигателей. Крупным неудобством, однако, является трудность тарирования его, т. е. перевода ординат осциллограммы в давления, так как большое количество промежуточных звеньев сильно влияет на передаточный коэфф. Поэтому И. этой системы пригодны более для качественного, чем количественного, изучения процесса работы двигателя. Равным образом, были попытки применения пьезокварца в качестве модулятора электрических колебаний, воспринимаемых затем после соответственного усиления осциллографом или регистрирующим струнным гальванометром.



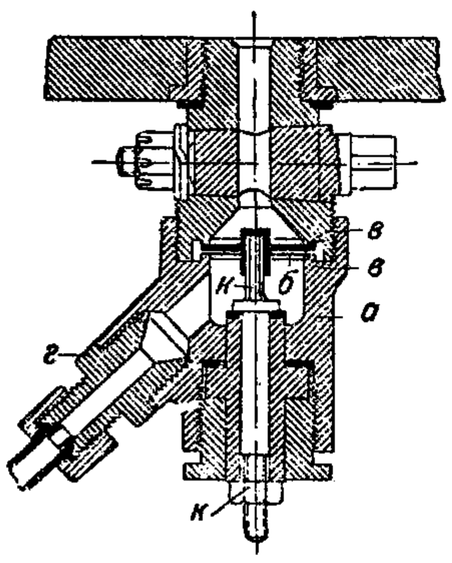
Фиг. 14.

На совершенно ином принципе основан ряд индикаторов для быстроходных двигателей, в которых конструкторы заранее отказываются от вычерчивания индивидуальных диаграмм, а прибегают к вычерчиванию средних диаграмм за целый ряд циклов. К И. этого типа относятся И. систем Юхаца (K. J. Juhasz) и Британского аэродинамич. ин-та (Royal Aircraft Establishment). В И. сист. Юхаца для записи служит обыкновенный механич. И., присоединенный к мотору помощью особого приспособления, к-рое сообщает пространство под поршнем И. лишь на весьма короткое время с полостью индицируемого цилиндра. Между началами двух смежных открываний соединительного канала между мотором и И. (заполненного маслом для более быстрой передачи давления) проходит промежуток времени

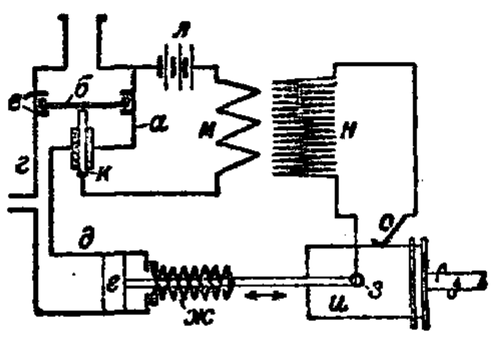
$$T = \left(1 + \frac{1}{n}\right) T_1,$$

где T_1—время одного оборота индицируемого двигателя; барабан И. двигается от того же приспособления с $\frac{1}{n}$ скорости, соответствующей действительному числу оборотов двигателя. Т. о., карандаш И. за один оборот двигателя отмечает лишь давление, существовавшее в нек-рой точке хода поршня; при следующем обороте он отметит уже давление не в этой, а в другой точке, лежащей на $\frac{1}{n}$ оборота впереди; т. к. за это время барабан переместится на угол, соответствующий $\frac{1}{n}$ оборота, то давление опять будет отмечено на должной абсциссе, и через n или $2n$ оборотов (для двух- и четырехтактных двигателей) будет окончена одна полная диаграмма, представляющая собой до известной степени среднюю за истекшие n или $2n$ оборотов. Понятно, что при этом способе правильная диаграмма м. б. получена лишь при вполне установившейся работе двигателя. В виду того, что все движения И. при этом замедлены в n раз, влияние инерционных сил практически равно нулю.

И. Британского аэродинамич. ин-та изображен на фиг. 15, общая схема установки—на фиг. 16.



Фиг. 15.



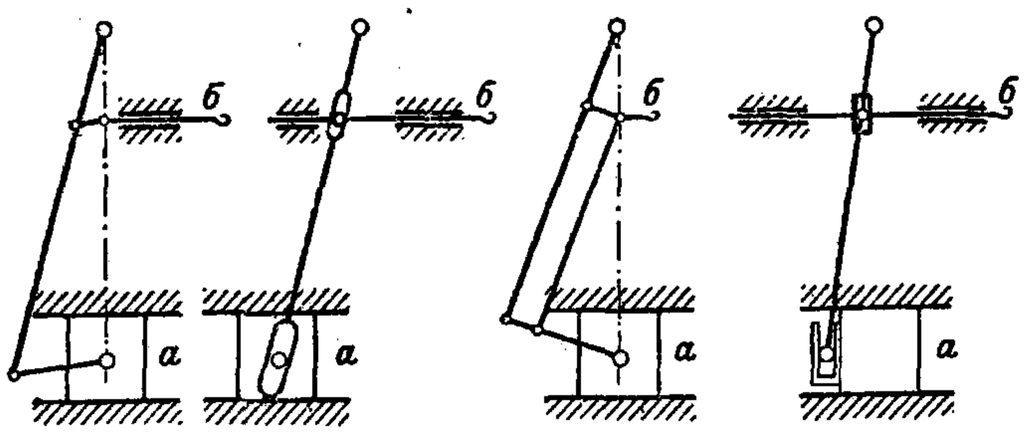
Фиг. 16.

В цилиндре a И. помещается весьма легкий клапан $б$, опирающийся с обеих сторон на клапанные седла $в, в$. Верхняя часть цилиндра сообщается с цилиндром индицируемого двигателя, а нижняя через патрубок $г$—с цилиндром пишущего приспособления $д$ и с резервуаром, в к-ром в течение опыта давление понижается от максимального, достигаемого в цилиндре мотора, до атмосферного или, в случае необходимости, и ниже последнего. В цилиндре ходит поршень $е$, находящийся под действием пружины $ж$ и снабженный штоком, на к-ром укреплено металлич. острие $з$, соединенное с одним концом вторичной обмотки трансформатора $н$. В нижнем положении вентиль прикасается к штифту $к$ и т. о. замыкает цепь батареи $л$ через первичную обмотку трансформатора $м$. Каждый раз как клапан $б$, поднимаясь или опускаясь, размыкает или включает ток в первичной обмотке трансформатора, во вторичной индуктируется толчок тока, ведущий к искровому разряду между острием $з$ и барабаном $и$, включенным в цепь вторичной обмотки посредством контакта $о$. Барабан $и$ с натянутой на нем тонкой бумагой совершает вращательное движение с угловой скоростью коренного вала индицируемого двигателя. Поршень $е$ медленно следует изменению давления в резервуаре с сжатым воздухом, и его положение всегда соответствует величине давления в цилиндре $д$ и нижней части цилиндра $а$ И. Каждый раз как давление в рабочем цилиндре двигателя, возрастая или убывая, уравнивается с давлением в нижней части цилиндра $а$, клапан $б$ замыкает или размыкает ток в первичной обмотке трансформатора, и на соответствующем месте бумажной полосы, натянутой на барабан $и$, пробивается искрой небольшое отверстие. После того как давление в резервуаре упадет ниже наименьшего давления в цилиндре двигателя, на бумажной полосе рядом точек будет вычерчена полная (развернутая) индикаторная диаграмма. Т. к. в И. этой системы единственной деталью, совершающей переменно-возвратные движения, является очень легкая тарелка клапана, путь к-рой к тому же равен всего ~0,8 *мм*, то влияние сил инерции можно практически считать исключенным.

Установка И. Правильность показаний И. в значительной мере зависит от надлежащего присоединения его к индицируемому двигателю и от устройства и установки приводного механизма для передачи движения барабану И. Общими принципами, которыми следует руководствоваться при проектировании индикаторных гнезд, являются следующие: канал, сообщающий внутреннее пространство цилиндра, д. б. по возможности короток, не иметь внезапных изменений направления и сечения; не должен ни при каких положениях частей двигателя закрываться поршнем или какой-либо деталью распределительного механизма; в двигателях внутреннего сгорания д. б. достаточно хорошо проветриваем, чтобы в нем не могли собираться догорающие газы; в насосах не должен допускать возможности образования воздушных мешков, а в паровых машинах должен иметь небольшой уклон для стока конденсационной воды в цилиндр двигателя. В малых двигателях и в поршневых машинах с очень малым вредным пространством (компрессоры) добавочное вредное пространство, получающееся вследствие присоединения к объему цилиндра дополнительного объема И., может совершенно исказить действительные условия работы. В этих случаях при малом числе оборотов (действительном или фиктивном, как в И. системы Юхаца) можно помочь этому, заполняя всю полость соединительного канала и И. жид-

костью. Способ снимания одним И. диаграмм одновременно на обеих сторонах парового цилиндра помощью длинной трубки и трехходового крана, соединяющего И. попеременно с одной и другой стороной цилиндра, ведет к грубым погрешностям вследствие значительного увеличения вредного пространства, инерции масс пара, находящихся в трубке, и мятия пара при прохождении через загибы трубки и трехходовой кран. Хотя правильность работы И. не зависит от положения последнего, но принято за правило в паровых машинах ставить его вертикально вверх для облегчения удаления конденсата из цилиндра И., а при индицировании насосов—наклонно вниз, чтобы воздух, попавший в цилиндр И., выходил из него и не образовывал воздушного мешка.

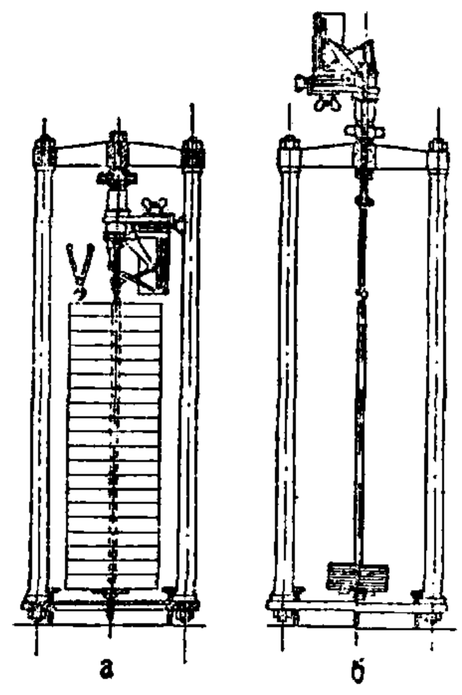
Нормальным способом приведения в движение барабана является применение ходоуменьшителя рычажного или роликового типа, получающего движение от крейцкопфа, штока или поршня машины. Наиболее точным является рычажный ходоуменьшитель, *однако, его конструкция и установка* требуют также известного внимания, чтобы углы поворота барабана, а следовательно, и абсциссы индикаторной диаграммы были



Фиг. 17.

действительно пропорциональны путям, проходимым поршнем. Условием, достаточным для правильного действия передаточного механизма, является соблюдение закона механического *подобия части, воспринимающей* движение, и части, передающей его дальше. На фиг. 17 изображены 4 рычажных ходоуменьшителя, удовлетворяющих этому условию и дающих вполне точную пропорциональность между перемещениями ползуна *а* и крючка *б* для индикаторного шнура; понятно, что шнур должен двигаться по одной прямой с направлением движения крючка *б*, т. к. в противном случае в виду конечной длины шнура угол между шнуром и направлением движения будет изменяться при движении и, т. о., пропорциональность будет нарушена. Коэфф. ходоуменьшения ν равен коэфф-ту механич. подобия, т. е. отношению линейных размеров двух любых подобных частей механизма (в дальнейшем мы считаем всегда меньшей части к большей, т. е. $\nu < 1$). Роликовый ходоуменьшитель, пользующийся значительным распространением, состоит из большого легкого барабана, на который навивается шнур, прикрепленный непосредственно к крейцкопфу; этот барабан сидит на одном валу с малым роликом, на к-рый наматывается шнур, приводящий в движение И. В большом барабане помещается спиральная пружина, служащая для натяжения шнура; маленький ролик делают сменным, различных диаметров, для того чтобы при различных ходах поршня индицируемого двигателя получить оптимальную длину индикаторной диаграммы. Коэфф-т ходоуменьшения равен отношению диаметров ролика и барабана. Роликовые ходоуменьшители, в виду их значительной массы и затруднений при надевании шнура непосредственно на двигающийся с большой быстротой стержень крейцкопфа, обычно не применяются при числах оборотов свыше 500 в мин. При индицировании двигателей внутреннего сгорания, не имеющих штока и крейцкопфа, с механизмом, часто совершенно закрытым в картере, приходится осуществлять привод барабана И. от какой-либо части двигателя, вращающейся со скоростью коренного вала и жестко с ним связанной. При этом, однако, необходимо, чтобы механизм, превращающий вращательное движение в переменновозвратное, был механически подобен кривошипно-шатунному механизму двигателя и, в частности, чтобы отношение длины шатуна к плечу кривошипа было одинаковым как у двигателя, так и у приводного механизма. В настоящее время часто уже при проектировании двигателей предусматривают приводный механизм для индикатора.

Испытание И. Как всякий контрольный прибор, И. должен от времени до времени подвергаться проверке. Проверяют отдельно правильность работы передаточного (регистрирующего) механизма И., т. е. пропорциональность отклонений карандаша и перемещений поршня И., и масштаб индикаторной пружины в горячем или в холодном состоянии; попутно определяют величину трения W, выраженную в единицах давления. Наиболее существенным является определение масштаба пружины И., к-рое производят в специальных аппаратах, подобных изображенным на фиг. 18. Нагрузка совершается грузами, тарированными таким образом, что каждая гиря соответствует давлению 0,5 *atm* или 1,0 *atm* на нормальный поршень (при поршне в 20 *мм*—$\frac{\pi}{2}$ и π *кг*, при поршне 20, 27 *мм*—соответственно 1,613 и 3,226 *кг*). Для испытания пружин на сверхдавление И. ввинчивают в нижнее гнездо перекладины (фиг. 18, а) и последовательно нагружают через 1 или 0,5 *atm*, смотря по масштабу пружины, при чем каждый раз проводят вращением барабана горизонтальную черту на натянутой на нем бумаге; после полной нагрузки совершают таким же порядком разгрузку, отмечая снова положения карандаша. Для определения масштаба пружины при вакууме И. ввинчивают в верхнее гнездо перекладины (фиг. 18, б) и нагружают гирями, соответствующими давлениям 0,1 *atm*. По окончании испытаний снимают бумагу с отметками и определяют средний масштаб одним из



Фиг. 18.

следующих 4 способов. Обозначим давления $p_1, p_2, \ldots, p_n$, соответствующие им ординаты, полученные при нагрузке, через $h'_1, h'_2, \ldots, h'_n$, а при разгрузке—$h''_1, h''_2, \ldots, h''_n$. Средняя величина трения механизма И., выраженная в ординате диаграммы:

$$h_w = \frac{(h''_1 - h'_1) + (h''_2 - h'_2) + \cdots + (h''_n - h_n)}{2n}. \quad (15)$$

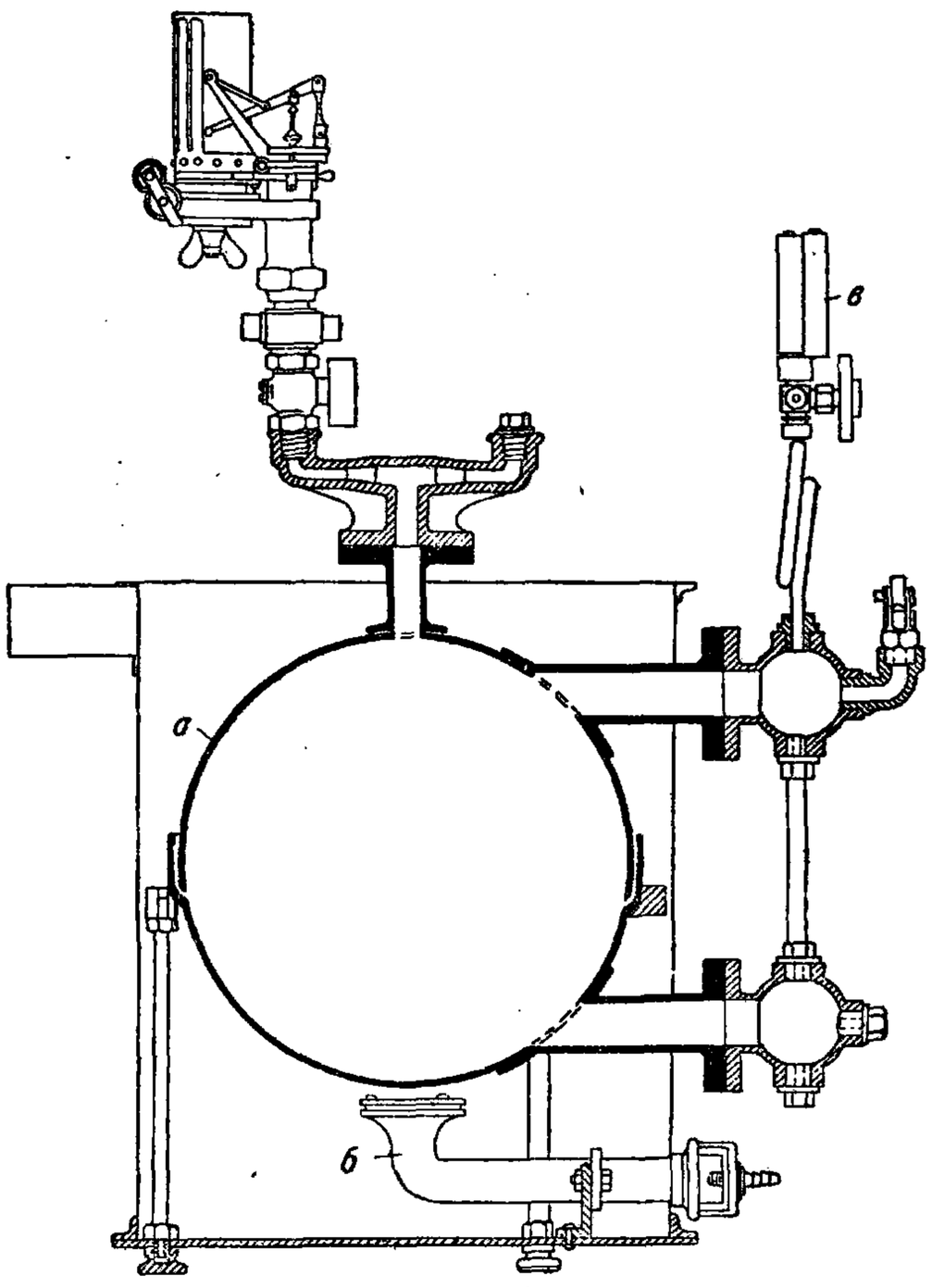
Определяем средние ординаты

$$h_1 = \frac{h'_1 + h''_1}{2}; \; h_2 = \frac{h'_2 + h''_2}{2}; \; \ldots \; h_n = \frac{h'_n + h''_n}{2};$$

тогда средний масштаб ординат μ, т. е. величина ординаты, соответствующая давлению 1 *atm*:

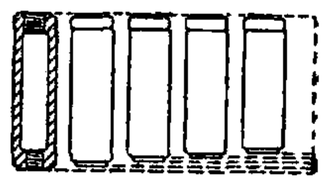
$$\left.\begin{aligned} \mu &= \frac{1}{n}\left(\frac{h_1}{p_1} + \frac{h_2}{p_2} + \cdots + \frac{h_n}{p_n}\right), \\ \text{или} \\ \mu &= \frac{1}{n-1}\left(\frac{h_2 - h_1}{p_2 - p_1} + \frac{h_3 - h_2}{p_3 - p_2} + \cdots + \frac{h_n - h_{n-1}}{p_n - p_{n-1}}\right), \\ \text{или} \\ \mu &= \frac{h_n}{p_n}, \\ \text{или} \\ \mu &= \frac{h_1 + h_2 + \cdots + h_n}{p_1 + p_2 + \cdots + p_n}. \end{aligned}\right\} \quad (16)$$

При правильно работающем И. величины μ, вычисленные по этим четырем методам, различаются между собой весьма мало (0,1—0,3 %); более сильные расхождения указывают на неисправное состояние И. При работе И. с внутренней (горячей) пружиной вследствие изменения $t°$ изменяются диаметр поршня и размеры пружины, а также и модуль упругости; т. о., тарировка этих И., произведенная в холодном состоянии,



Фиг. 19.

может сильно расходиться с действительными показаниями аппарата при высокой $t°$. Для возможности испытания И. в условиях, близких к их нормальной работе, аппараты для испытания снабжают добавочным патрубком, позволяющим производить обогревание И. паром, получаемым из небольшого котла, или же производят нагрузку поршня не грузами, а непосредственно паром, получаемым в особом котле *а* (фиг. 19); котел нагревается газовой горелкой *б* и снабжен обычной арматурой; манометр *в*, служащий для определения величины действительного давления в котле, д. б. особенно точным. Тарировку производят тем же способом, что и выше, путем постепенного нагревания и охлаждения котла. Для измерения $t°$ внутри И. удаляют крышку и заменяют ее термометром особой конструкции. При отсутствии возможности тарировать И. в горячем состоянии можно воспользоваться следующей ф-лой, дающей зависимость между масштабами холодного и горячего (μ и μ_1) И. в зависимости от темп-ры t внутри последнего:

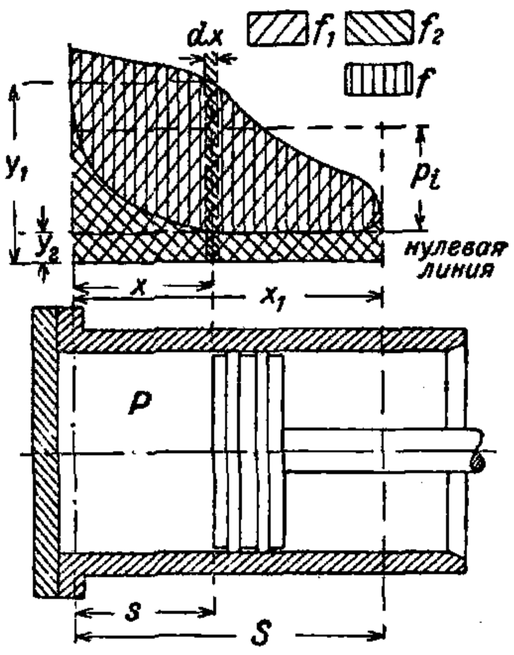


Фиг. 20.

$$\mu_1 = \mu\,[1 + 0{,}0004\,(t - 20)].$$

Считая среднюю $t°$ внутри И. при индицировании паровой машины ок. 120°, имеем $\mu_1 = 1{,}04\,\mu$, т. е. ошибка достигает 4%. Для проверки правильности работы пишущего механизма независимо от пружины служит прибор, состоящий из микрометрич. винта, гайка к-рого ввинчивается в гнездо И., а винтом, после удаления пружины, поднимают поршень И. на определенную величину и отмечают соответственное положение карандаша. Зная фактический ход поршня и измеряя соответств. передвижение карандаша, проверяют степень пропорциональности обоих движений при различных положениях поршня. Для той же цели служит набор втулок различной длины с нарезками на концах, одинаковыми с нарезками гнезд индикаторных пружин (фиг. 20); ввинчивая их последовательно вместо пружины, заставляют поршень принимать различные, строго определенные положения.

Индикаторная диаграмма. Нормальная индикаторная диаграмма (фиг. 21) представляет собой, после учета и исправления всех ошибок, в соответственном масштабе кривую давлений в рабочем цилиндре машины в зависимости от положения крейцкопфа или, что то же, поршня. Работа поршня двигателя простого действия на бесконечно малом участке пути ds, на котором давление p можно считать постоянным, $dA = F \cdot p \cdot ds$ (где F—площадь поршня двигателя), или за один рабочий цикл:



Фиг. 21.

$$A = F\left[\int_0^S p_1 \cdot ds + \int_S^0 p_2 \cdot ds\right] =$$

$$= F\left[\int_0^S p_1 \cdot ds - \int_0^S p_2 \cdot ds\right],$$

а т. к. $p=\frac{y}{\mu}$, а $s=\frac{x}{\nu}$, где ν—коэффициент ходоуменьшения, то

$$A=\frac{F}{\mu\cdot\nu}\left[\int_0^{x_1} y_1\,dx-\int_0^{x_1} y_2\,dx\right]=\frac{F}{\mu\nu}\cdot(f_1-f_2), \quad (17)$$

где f_1—площадь, ограниченная верхней кривой диаграммы и двумя крайними ординатами, а f_2—площадь, ограниченная нижней кривой и теми же ординатами; называя площадь самой диаграммы через f и замечая, что $f=f_1-f_2$, имеем окончательно:

$$A=\frac{F}{\mu\cdot\nu}\cdot f. \quad (18)$$

Из ф-лы (18) видно, что площадь диаграммы выражает собой в известном масштабе работу двигателя за один рабочий цикл. При этом, однако, надо всегда иметь в виду, что площадь эта получена как разность площадей при прямом и обратном ходе поршня; т. о., площади петель a на диаграммах 5, 6, 7, 24 (см. таблицу) д. б. вычтены из площади остальной части диаграммы. Для вычисления мощности двигателя бывает удобнее заменить индикаторную диаграмму фиктивной, представляющей собою прямоугольник с основанием S, равным ходу поршня, и с постоянной высотой, равной p_i—среднему индикаторному давлению; тогда работа поршня за один цикл

$$A=F\cdot S\cdot p_i. \quad (19)$$

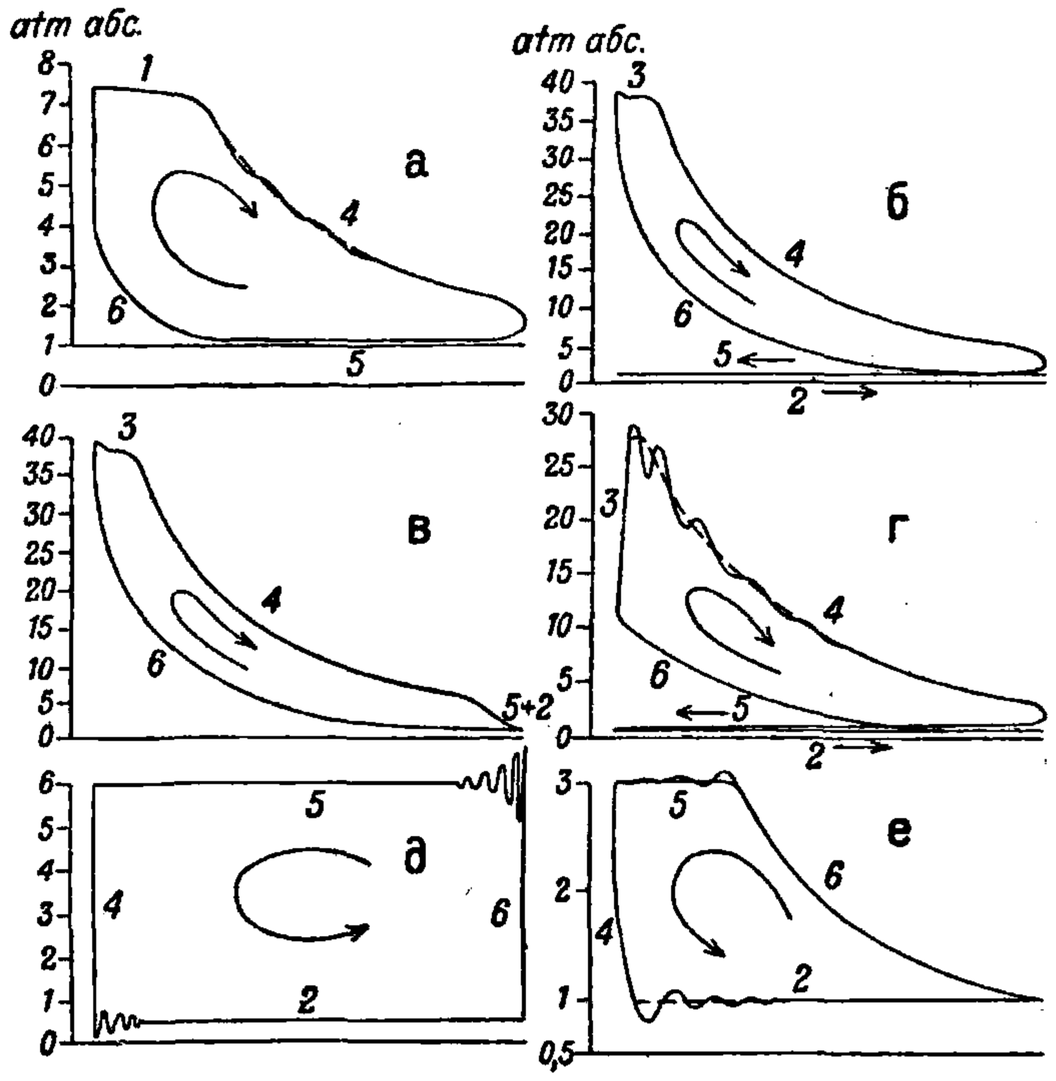
Мощность двигателя L равна работе, совершаемой им в единицу времени, т. е. $L=\frac{A}{T}$, где T—продолжительность одного цикла в секунду, равная $\frac{60\cdot m}{n\cdot 2}$, n—число об/м. машины, а m—общее число ходов поршня за один цикл. Подставляя эти выражения в уравнение (19) и приводя единицы к *кгм/ск*, имеем:

$$L=\frac{n}{30\,m}\cdot F\cdot S\cdot p_i, \quad (20)$$

где S—в *м*, F—в *см²*, p_i—в *кг/см²*, n—об/м. Называя $v=\frac{2S\cdot n}{60}$ средней скоростью поршня, получаем окончательно мощность N_i в HP:

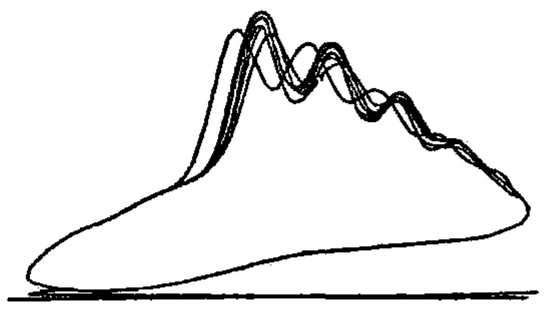
$$N_i=\frac{1}{75}\cdot F\cdot p_i\cdot\frac{v}{m}. \quad (21)$$

Все приведенные ф-лы относятся к двигателям простого действия; двигатели двойного действия, напр. обыкновенная паровая машина, д. б. рассматриваемы как два двигателя простого действия, сидящие на общем штоке; мощность ее получается суммированием мощностей отдельно для передней и задней полостей цилиндра. На фиг. 22 (стрелки внутри диаграмм обозначают направление прохождения цикла) изображены нормальные индикаторные диаграммы паровой машины (а), четырехтактного двигателя Дизеля (б), двухтактного двигателя Дизеля (в), четырехтактного газового двигателя (г), водяного насоса (д) и компрессора (е). Эти диаграммы отражают в себе все происходящие в цилиндре двигателя процессы (отдельные фазы обозначены следующими цифрами: *1*—наполнение, *2*—засасывание, *3*—горение или взрыв, *4*—расширение, *5*—выталкивание и *6*—сжатие). В четырехтактных двигателях внутреннего сгорания часть нормальной диаграммы, относящаяся к периоду выталкивания сгоревших газов и засасывания смеси, настолько сжата по высоте в виду незначительности возникающих при этом давлений, что она не дает никаких указаний относительно работы органов распределения



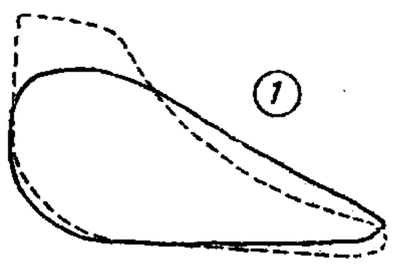
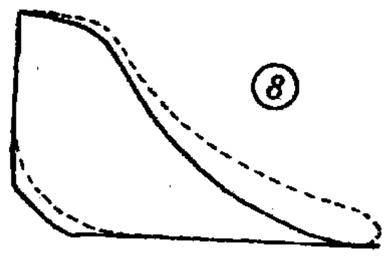
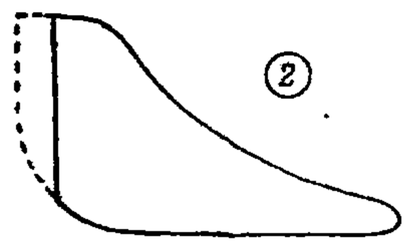
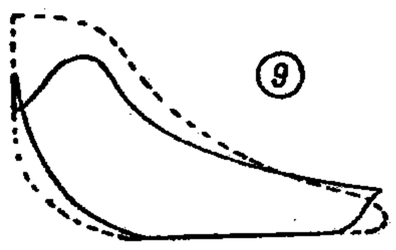
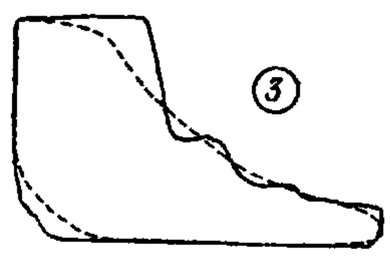
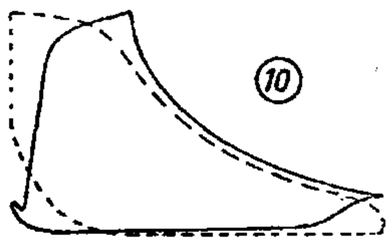
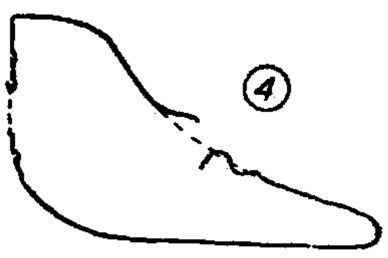
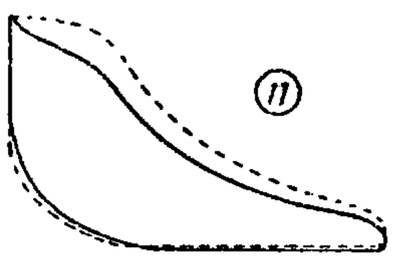
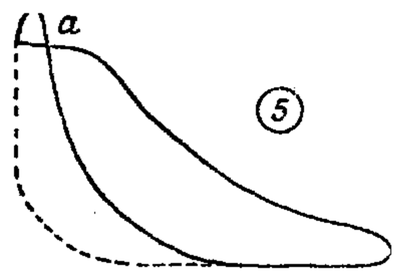
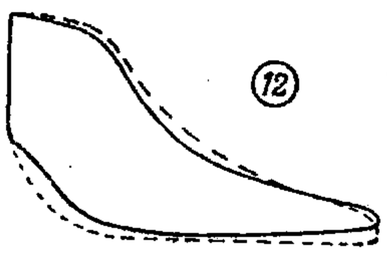
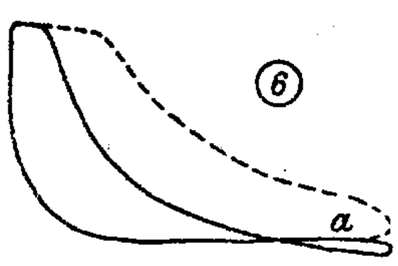
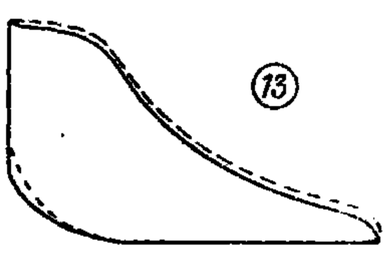
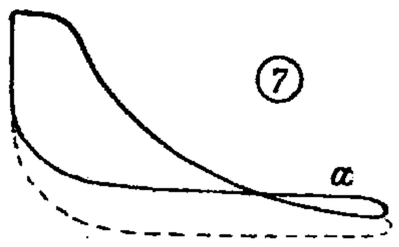
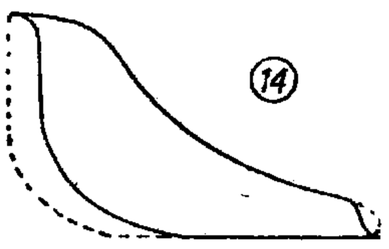
Фиг. 22.

за эти две фазы. Для получения ясной картины хода этих процессов снимают диаграмму со слабой пружиной; при этом верхняя часть не выходит совершенно, так как шток поршня И. упирается своим ободком в ограничитель хода, зато нижняя часть диаграммы выступает очень рельефно и дает возможность проверить продувку цилиндра. Равным образом на нормальных индикаторных диаграммах двигателей внутреннего сгорания нельзя с достаточной степенью точности проследить процессы, протекающие около мертвых точек, в виду малой скорости поршня, а следовательно, и сильной сжатости абсцисс диаграммы по времени. Путем снятия т. н. с м е щ е н н ы х диаграмм (фиг. 23) можно с достаточной точностью исследовать процессы воспламенения и горения, протекающие вблизи мертвого положения поршня. Для получения такой диаграммы необходимо движение барабану И. сообщать не от поршня или связанной с ним детали индицируемого двигателя, а от ползуна, приводимого в движение от коренного вала кривошипно-шатунным механизмом с углом опережения в 90° относительно кривошипа индицируемого цилиндра. В многоцилиндровых двигателях с кривошипами под 90° для этой цели м. б. использован другой цилиндр, иначе неизбежно устройство специального приводного приспособления. Описанные выше роды диаграмм носят название з а м к н у т ы х; из них только нормальная пригодна для вычисления мощности двигателя непосредственно по ее площади.

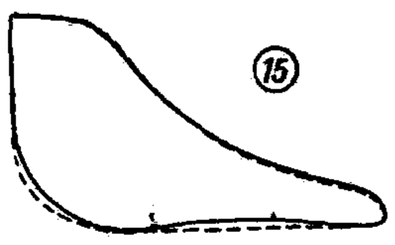
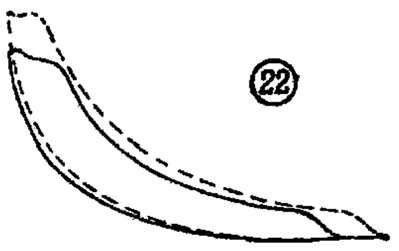
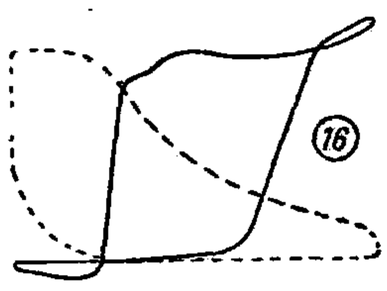
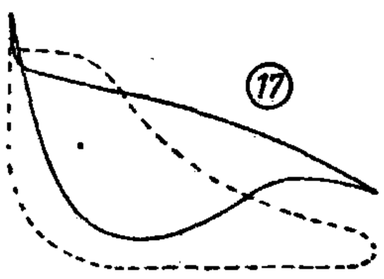
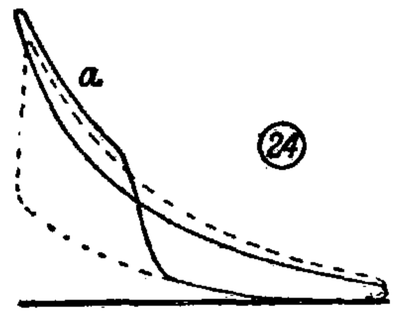
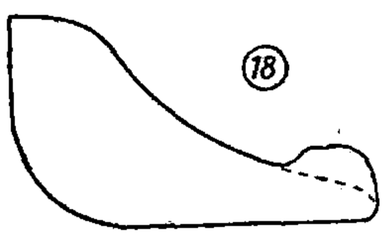
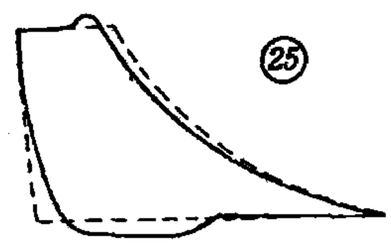
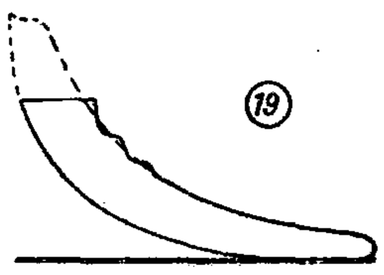
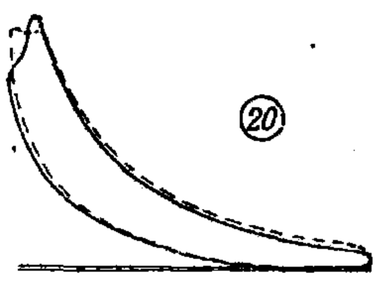
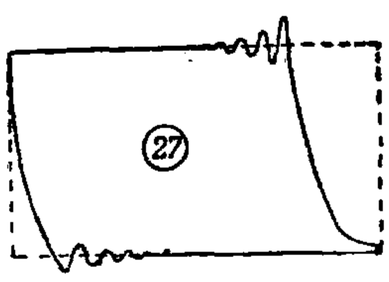
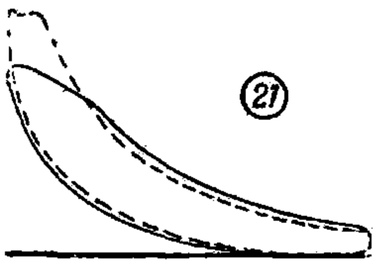
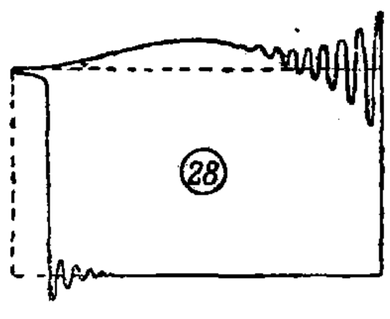


Фиг. 23.

Таблица неправильностей индикаторных диаграмм

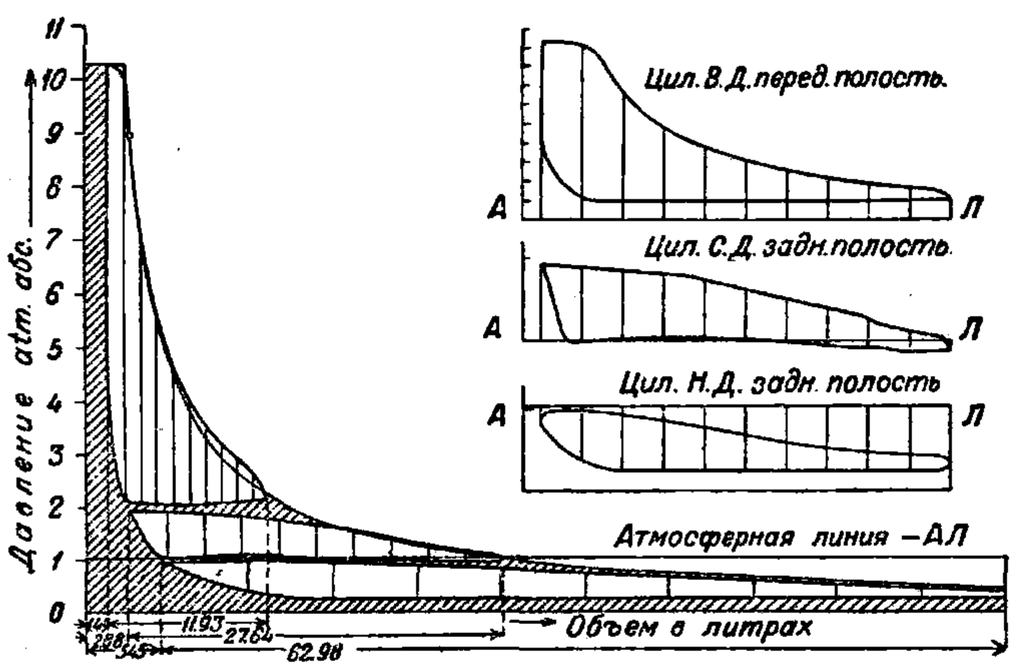
Диаграмма	Отступление от нормы и причина	Диаграмма	Отступление от нормы и причина
	Скругление резких переходов и отставание всех процессов: сильное мятие пара как следствие длинных и узких каналов между И. и цилиндром машины		Линии сжатия и расширения проходят много ниже нормальных, при чем разница постепенно возрастает: утечка пара через весьма неплотный выпускной орган
	Часть диаграммы по длине срезана: индикаторный шнур слишком длинен; барабан упирается в ограничитель хода до того, как успеет совершить полный ход		В конце линии сжатия имеется петля—линия расширения пересекает нормальную: сжатие начинается слишком рано, впуск и выпуск—слишком поздно, паровпускной орган неплотен
	Отсутствие закруглений при переходах линий; колебания поршня не располагаются по обе стороны линии равномерно: сухое трение поршня И. или попавший в цилиндр И. песок		Сильное искажение индикаторной диаграммы вследствие ошибки в установке эксцентрика: все процессы сдвинуты в направлении запаздывания
	Диаграмма прервана в двух местах по высоте: карандаш выступает слишком далеко назад и задевает за рычаги пишущего механизма		Быстрое падение давления в период впуска, линия выпуска лежит частью ниже нормальной: влияние инерции паровых масс во впускной и выпускной трубах
	Диаграмма образует петлю в конце линии сжатия: слишком высокое сжатие, обусловленное ранним закрытием паровыпускного канала		Линия расширения вначале идет ниже теоретической, под конец—выше, линия выпуска выше нормы: неплотный поршень машины, перепускание пара из соседней полости цилиндра
	Диаграмма образует петлю в конце линии расширения: общая степень расширения слишком велика для данной машины, период впуска пара слишком мал		Линии расширения и сжатия лежат по всей длине ниже соответствующих адиабат: небольшая неплотность парораспределительного органа; цилиндр все время сообщается с выпуском
	Диаграмма образует петлю в начале линии выпуска (машина с конденсацией): противодавление выпуска очень велико, значительное мятие при выпуске или плохой вакуум		Линия сжатия проходит выше нормальной, в начале линий впуска и выпуска имеются острые углы: впуск открывается, а выпуск открывается и закрывается слишком рано

с указанием причин отклонений их от нормы.

Диаграмма	Отступление от нормы и причина	Диаграмма	Отступление от нормы и причина
 15	Линия расширения в начале проходит немного ниже, а под конец—выше нормальной, линия выпуска—вогнутая: конденсация пара при впуске и испарение конденсата при расширении; сильное мятие при выпуске	 22	Линии расширения, сжатия и горения лежат ниже, а линия выпуска—левее нормы: неправильный ход процессов вследствие слишком раннего открытия и позднего закрытия выхлопных окон
 16	Полное искажение диаграммы вследствие неправильной установки органов парораспределения: впуск и выпуск сильно запаздывают, полное отсутствие расширения и сжатия пара	23	Линия взрыва идет слишком наклонно, вначале имеется острый угол, значительные колебания И.: зажигание сильно запаздывает, число оборотов для данного И. слишком велико
 17	Полное искажение диаграммы: впуск продолжается слишком долго, выпуск открывается поздно и мало, сжатие слишком высоко вследствие высокого начального давления	 a 24	В конце линии сжатия имеется большая петля: слишком раннее (непроизвольное) зажигание в середине хода сжатия; полезная работа цикла почти равна нулю
 18	Диаграмма в общем нормальная, лишь в конце расширения давление внезапно возрастает: впуск пара—в конце хода, слишком короткий вспомогательный золотник Мейера	 25	Линия сжатия лежит ниже, линия расширения—выше нормальных, давление всасывания вначале ниже нормы: объем вредного пространства очень велик, всасывающий клапан туго открывается
 19	Линия горения ограничена прямой с резкими углами по концам: взята слишком слабая пружина И., так что поршень его останавливается упоркой, не достигнув максимального давления	26	Линии сжатия и расширения идут выше нормальных, конец линии сжатия поднят: нагнетательный клапан неплотно закрывается, сжатый газ непрерывно вытекает в цилиндр
 20	Линия горения резко поднимается, линии расширения и сжатия лежат ниже нормы: слишком бурное сгорание, клапан или поршень неплотны	 27	Линии сжатия и расширения имеют характер гипербол, в начале линии сжатия острый угол: в цилиндре насоса имеется воздух; всасывающий клапан не сразу закрывается
 21	Линия горения сильно понижается, линия расширения постепенно превышает нормальную: медленное впрыскивание топлива и догорание его при расширении, выхлоп закрывается поздно	 28	Линия выпуска выгнута вверх, в конце ее острый угол, в начале—сильные колебания И.: напорный клапан туго открывается и не сразу закрывается, слишком малое сечение выхода

числу оборотов и размерам двигателя. Для специальных исследований бывает иногда желательно по оси абсцисс откладывать не положения поршня, а другие величины, связанные с работой двигателя, например угол поворота коренного вала. В этом случае диаграмма примет вид, изображенный на фиг. 6. Другие разновидности открытых диаграмм м. б. получены, если диаграммной бумаге дать постоянную скорость движения (диаграмма: давление—время), если перемещение бумажной ленты сделать пропорциональным сумме перемещений поршня, откладываемых все время в одном направлении (открытая диаграмма: давление—путь поршня), и т. д.

В паровых машинах с несколькими ступенями расширения (или сжатия—в компрессорах), в к-рых одно количество пара работает последовательно в нескольких цилиндрах, для исследования суммарной работы данного количества пара при прохождении через машину прибегают к так наз. ранкинизированию диаграмм. Для этого перечерчивают индикаторные диаграммы последовательно проходимых паром сторон цилиндров машины (напр. передней стороны цилиндра высшего давления, задней стороны цилиндра среднего давления и передней стороны цилиндра низкого давления), приведя их к одному вертикальному масштабу и изменяя горизонтальный масштаб пропорционально объемам отдельных цилиндров



Фиг. 24.

(фиг. 24). Измененные т. о. диаграммы вычерчивают вместе, на общих осях координат, при чем абсциссы мертвых точек впуска делают равными величинам вредных пространств соответственного цилиндра в принятом для него масштабе объемов. Обыкновенно для сравнения общей работы данного объема пара с т. н. теоретической проводят адиабату, изображаемую равнобочной гиперболой и ограничивающую теоретическую индикаторную диаграмму. Для построения этой линии достаточно, кроме осей координат, являющихся ее асимптотами, знать одну ее точку. Существует несколько способов отыскания ее: 1) если известен расход пара на один цикл, то, вычисляя его объем при начальных условиях впуска в цилиндр высокого давления, откладывают его в соответствующих координатах; 2) берут на-глаз или по диаграмме парораспределения точку конца впуска в цилиндр высокого давления и проводят гиперболу через нее. Отношение суммы площадей ранкинизированных диаграмм к площади, ограниченной давлением впуска, адиабатой, наибольшим объемом занятого паром пространства в цилиндре низкого давления и обеими осями координат, называется коэфф-том полноты диаграмм и служит до известной степени мерилом использования энергии пара в машине. Строго говоря, ранкинизирование применимо лишь для того случая, когда одно количество пара, не увеличиваясь и не уменьшаясь, протекает через несколько цилиндров; т. о., для машин с большими ресиверами ранкинизирование является приближенным способом. Как видно из вышесказанного, индикаторная диаграмма является действительным средством для выяснения ошибок и неисправностей функционирования двигателей. В приводимой таблице дан ряд примерных индикаторных диаграмм, взятых из практики, с указанием их отступлений от нормальных и причин, вызвавших эти неправильности.

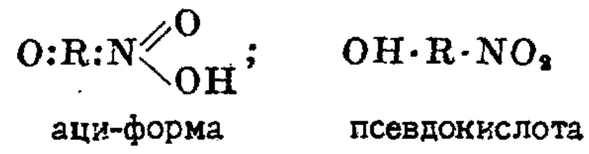
Лит.: Грамберг А., Технич. измерения и испытания машин, т. 1, вып. 5—Индикатор, пер. с нем., М., 1926; Берштадский Л. Я., Руководство при практич. пользовании индикатором, счетчиком мощности и регистратором нагрузки, М., 1926; Хедер Г., Индикатор, пер. с нем., М., 1903; Brand J. u. Seufert F., Technische Untersuchungsmethoden z. Betriebsüberwachung, 5 Aufl., B., 1926; Staus A., Der Indikator u. seine Hilfseinrichtungen, B., 1911; Haeder H., Der Indikator u. die Kraftanlage, 3 Aufl., B., 1928; Wilke W., Der Indikator u. das Indikatordiagramm, Lpz., 1916 (им. лит. до 1915 г.); Low F. R., Steam Engine Indicator, N. Y., 1910; «Z. d. VDI», 1921, B. 65, p. 973; ibid., 1922, B. 66, p. 298, 326, 740; ibid., 1923, B. 67, p. 814; ibid., 1924, B. 68, p. 477, 811; «Ztschr. f. Instrumentenkunde», B., 1928, B. 48, p. 14; «Mechanical Engineering», N. Y., 1927, v. 49, p. 543, 1312; «Engineering», L., 1927, v. 124, p. 253; ibid., 1922, v. 113, p. 716; ibid., 1923, v. 115, p. 31, 210; «Automotive Industries», Philadelphia, 1921, v. 45, p. 471; ibid., 1928, v. 59, p. 78; «Automobile Engineer», L., 1923, v. 13, p. 150, 250; «Auto-Technik», B., 1923, Jg. 12, p. 19, 23; ibid., 1927, Jg. 16, *16*, *19*, *20*, *22*; «Mechanical World», Manchester, 1928, v. 83, p. 400, 436; «Motorwagen», B., 1923, Jg. 26, p. 88; ibid., 1928, Jg. 31, p. 10; «Autocar», L., 1924, v. 53, p. 1023; «Motorship», L., 1924, v. 5, p. 256; «Forschungshefte der Auto-Technik», B., 1925, H. 2; «Technical Report of the Aeronautical Research Committee for the Year 1926/27», London, 1928, p. 137; «Oil Engine Power», Washington, 1928, v. 6, p. 815.

Л. Павлушков.

ИНДИКАТОРЫ в химии, вещества, прибавляемые в весьма незначительном количестве к раствору одного из участвующих в реакции веществ для того, чтобы при помощи цветной реакции установить конец (или в нек-рых случаях начало) процесса, протекающего между этим веществом и другим, прибавляемым к нему при титровании (см. *Анализ химический*). Особенно важное значение имеют применяемые в ацидиметрии и алкалиметрии кислотно-щелочные И. В качестве последних находят применение многие естественные и синтетич. красящие вещества (см. *Спр. ТЭ*, т. I, стр. 445), отличающиеся способностью изменять свою окраску при перемене активной кислотности среды, в которой они растворены. Последнее обстоятельство обусловливает широкое применение таких И. для измерения концентрации водородных ионов по индикаторному способу.

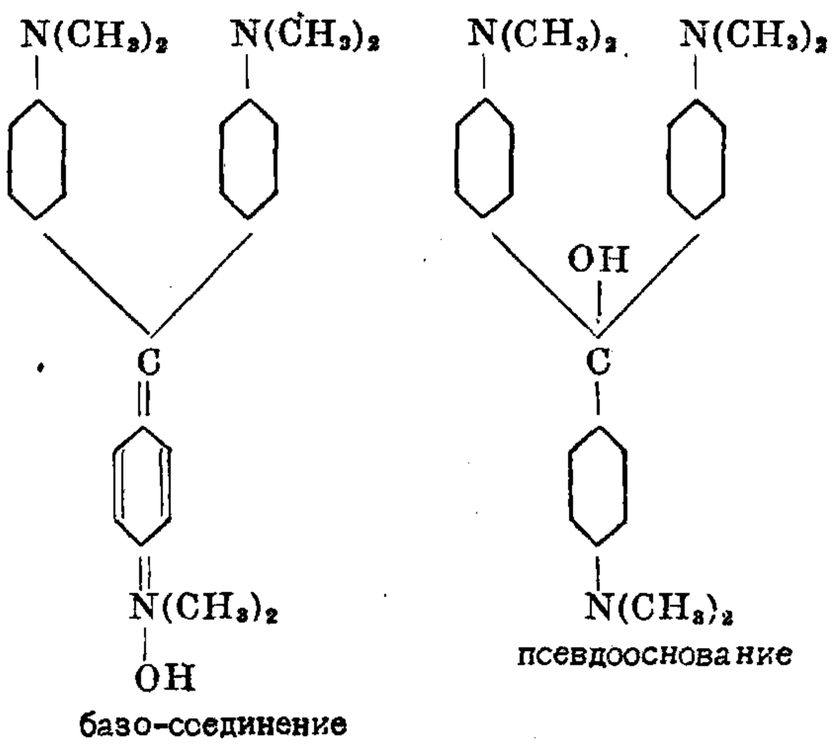
Вильгельм Оствальд разработал теорию кислотно-щелочных И. Они являются слабыми электролитами (кислотами или основаниями), при чем ионы их имеют окраску, отличную от окраски недиссоциированных молекул. Прибавление к-т или соответствен-

но щелочей к раствору, в к-ром присутствует И., оказывает существенное влияние на ионизацию последнего, а следовательно, на его окраску, которая, по Вильгельму Оствальду, зависит от заряда иона И., подобно тому как заряд иона манганата обусловливает его окраску, отличную от окраски перманганата, имеющего неодинаковый с ионом манганата заряд. Однако, в виду того, что нек-рые индикаторные реакции протекают в течение измеримого промежутка времени (тогда как ионные реакции должны были бы протекать мгновенно), а также в силу нек-рых других возражений, выставленных против теории Оствальда,—этой теории была противопоставлена химич., т. н. **хромофорная теория**, предложенная Ганчем (Hantzsch). Последний на примере некоторых нитросоединений и нитрофенолов, также служащих И., равно как и на других примерах, показал, что И. в зависимости от условий могут принимать форму двух неодинаково окрашенных изомеров. Такой изомеризацией и объясняется, по мнению Ганча, перемена окраски И. Так, нитросоединения могут иметь две изомерные формы: аци-форму (или, соответственно, базо-форму) и форму псевдокислоты (соответственно—псевдооснования); напр., для *p*-нитрофенолов:



аци-форма псевдокислота

Аналогичная изомеризация наблюдается и у основного красителя, каким является кристаллвиолет:



базо-соединение псевдооснование

Параллельно с протекающей во времени изомеризацией, сопровождаемой переменой окраски, изменяется и электропроводность раствора, содержащего смесь обеих форм И. С точки зрения Кольтгоффа хромофорная теория не дает объяснения перехода окраски, но указывает лишь на явление, которое протекает одновременно с изменением окраски. Вместе с изменением окраски изменяется также и строение; однако, это само по себе не может служить причиной изменения окраски. Такой причиной является равновесие между ионогенной аци-формой и нормальной псевдоформой данного соединения, применяемого в качестве И.; установление же этого равновесия является процессом уже не ионного характера, в отличие от ионного процесса диссоциации одной из обеих форм И. (именно, ионной формы). Поэтому константа диссоциации (см. *Диссоциация электролитическая*) И. является **кажущейся** константой (см. *Концентрация водородных ионов*), слагающейся из истинной константы диссоциации ионогенной формы И. и константы равновесия между обеими изомерными формами И. (аци-формой и псевдоформой). Такая точка зрения согласует между собой обе теории И.: ионную—Оствальда и хромофорную—Ганча.

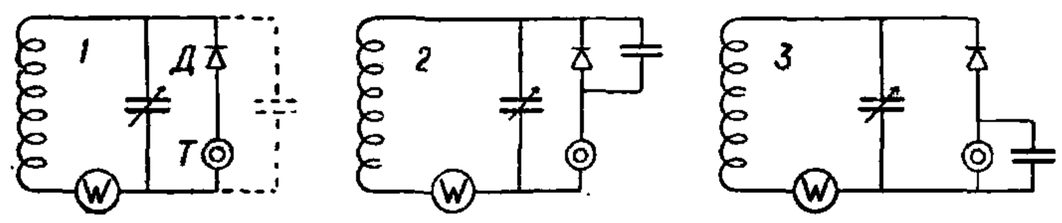
Кроме поименованных двух теорий И. Вольфгангом Оствальдом была еще предложена коллоидная теория, сводящая изменение окраски И. к изменению степени дисперсности его коллоидальных частиц. Однако, эта последняя теория, недостаточно подтвержденная фактами, не может объяснить многообразия явлений, связанных с изменениями окраски И. под влиянием ионов водорода и гидроксила. Во всяком случае, каждому красителю, могущему иметь применение в качестве кислотно-щелочного И., свойственна определенная область изменения окраски, выраженная в единицах $P_н$ (см. *Водородные ионы*). В зависимости от положения этой области на всей шкале значений $P_н$, а также в зависимости от раздвинутости пределов этой области, И. может иметь большее или меньшее применение для целей титрования. Однако, именно эта специфичность положения области перемены окраски для различных И. позволяет применять различные И. с целью определения концентрации водородных ионов различных растворов, встречающихся в биологических и технологич. объектах исследования, и служит поэтому основанием для индикаторного метода определения концентрации водородных ионов. Подробный перечень применяемых в качестве И. химич. соединений и природных красителей, равно как и подробности о их применении,—см. *Спр. ТЭ.*, т. I, стр. 445. О методике измерения $P_н$ индикаторным методом — см. *Концентрация водородных ионов*.

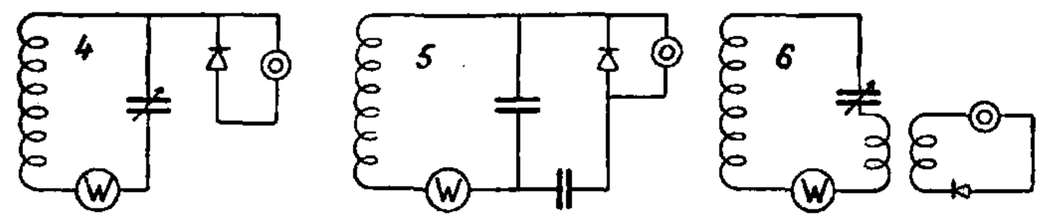
Лит.: **Кольтгофф** И. М., Применение цветных индикаторов к нейтрализационному анализу и к колориметрич. определению концентрации водородных ионов, пер. с нем., 3 изд., Л., 1929; **Леманн** Г., Измерение концентрации водородных ионов, пер. с нем., М.—Л., 1929; **Мисловицер** Е., Определение концентрации водородных ионов в жидкостях, перевод с нем., Ленинград (печатается); Clark W. M., The Determination of the Hydrogen Ions, Baltimore, 1925.

Б. Беркенгейм.

ИНДИКАТОРЫ резонанса, приборы, измеряющие, хотя бы и относительно, силу тока, т. к. при резонансе сопротивление контура минимальное (равное его активному сопротивлению) и ток достигает в этот момент наибольшего значения. Главнейшие из этих приборов следующие. 1) **Тепловой амперметр** (миллиамперметр), который включается или последовательно в контур *волномера* (см.) или параллельно нескольким виткам катушки самоиндукции волномера. Т. к. показания теплового амперметра пропорциональны квадрату силы тока, проходящего через него, или, что то же, потерям на джоулев эффект в самом приборе, то шкала амперметров волномера градуируется обыкновенно на квадрат силы тока, и самый прибор называется в этом случае *ваттметром* (см.). Момент резонанса соответствует наибольшему показанию прибора. 2) **Кри-**

сталлический детектор с телефоном. Схемы приключения его к волномеру указаны на фиг.; относительная слышимость их такова: схема № 1—55, № 2—85, № 3—45, № 4—10, № 5—40, № 6—15. Схема № 6 применяется при больших токах в контуре, при чем детектор с телефоном можно заменить тепловым амперметром.





Схемы № 6 и 4 удобны тем, что сопротивление детекторного контура не влияет на колебательный контур. Из других схем наибольшее затухание в контур волномера вносит схема № 3, а наименьшее—схема № 5. Схема № 1 обладает тем недостатком, что емкость соединительных (к телефону и детектору) проводов, а также и емкость самого телефона, включается параллельно емкости волномера и вносит тем самым искажения в его показания. Этот недостаток полностью исключается в схеме № 4. Во всех схемах момент резонанса отмечается наиболее сильным звуком в телефоне. 3) Кристаллический детектор с гальванометром постоянного тока. Приключение к волномеру происходит или по схеме № 1 или по схеме № 6, где телефон заменяется гальванометром. Показания гальванометра пропорциональны постоянной составляющей тока детекторной цепи, и оно наибольшее в момент резонанса. 4) Термогальванометр (термоамперметр), к-рый представляет собой термопару в соединении с чувствительным гальванометром постоянного тока. Включается термогальванометр (термоамперметр) в контур вместо ваттметра или непосредственно (при слабых колебаниях) или через трансформатор тока (при сильных колебаниях). Момент резонанса отмечается наибольшим показанием гальванометра. 5) Гелиева трубка, к-рая приключается параллельно зажимам конденсатора волномера. В момент резонанса, если напряжение на конденсаторе будет надлежащей величины, трубка вспыхивает розовым светом. Применения И. резонанса и литературу о них см. *Измерения в радиотехнике*. **Д. Конашинский.**

ИНДОЛ, бензопиррол, C_8H_7N, соединение, содержащее в молекуле бензольное кольцо, конденсированное с пиррольным. Индол образует бесцветные листочки с $t°_{пл.}$ 52,5° и $t°_{кип.}$ 257°; легко растворяется в воде, летуч с водяными парами; отличается характерным фекальным запахом, но после тщательной очистки и при достаточном разведении приобретает довольно приятный запах; при действии кислот осмоляется и полимеризуется; со щелочными металлами дает металлич. производные. Подобно пирролу, И. дает цветные реакции; так, сосновую лучинку, смоченную крепкой HCl, И. окрашивает в ярковишневый цвет. И. легко окисляется и переходит через ряд промежуточных соединений в *индиго* (см.).

Небольшие количества И. находятся в человеческих экскрементах, а также образуются при гниении белковых веществ вместе со скатолом (β-метилиндолом); наряду с этим следует отметить присутствие И. в некоторых эфирных маслах (жасминном, неролиевом); более значительные количества И. находятся в тяжелых маслах (фракции, кипящие при 220—260°) каменноугольного дегтя, откуда его и добывают: тяжелые масла освобождают от фенолов и сильных оснований, после чего их нагревают с натрием или с амидом натрия до 250°; образующийся при этом натрий-индол отделяют механически и разлагают водой.

И. находит ограниченное применение в парфюмерии, в приготовлении синтетических душистых веществ.

ИНДОФЕНОЛЫ, продукты умеренного окисления производных диоксидифениламина.

I. $OH-C_6H_4-N=C_6H_4=O$

II. $NH_2-C_6H_4-N=C_6H_4=O$

III. $NH_2-C_6H_4-N=C_6H_4=NH$

Простейший И. имеет строение (I), с возможной осцилляцией двойной связи. Вместе с инданилинами (II) и индаминами (III), продуктами окисления производных аминооксидифениламина и диаминодифениламина, И. являются производными хинонмоно- и хинондиамина (см. *Хиноны*). В последнее время термин инданилин заменили И., придав, т. о., последнему более широкое значение. Все эти продукты—интенсивно окрашенные тела, дающие соли в случае индаминов с к-тами и в случае И. со щелочами; они весьма нестойки в кислой среде и разлагаются на производные хинонов и аминов. Первый простейший индамин был получен в 1877 г. Нецким (Nietzki) [1] при действии на молекулярную смесь *n*-фенилендиамина и анилина строго теоретич. количеством окислителя. Процесс необходимо вести при сильном перемешивании смеси и при возможно низкой $t°$. При замене амина фенолом в продукте реакции получается И. Для получения И. более употребителен метод конденсации нитрозопродуктов с амином или фенолами, при чем конденсирующим агентом является крепкая серная к-та, и конденсация ведется при наружном охлаждении до −20° [2]. И.—важные промежуточные продукты для синтеза красящих веществ, преимущественно азиновых, оксазиновых, тиазиновых и сернистых. Самостоятельное же значение имеет лишь И. строения

$$O=C_6H_4=N-C_6H_4-N(CH_3)_2,$$

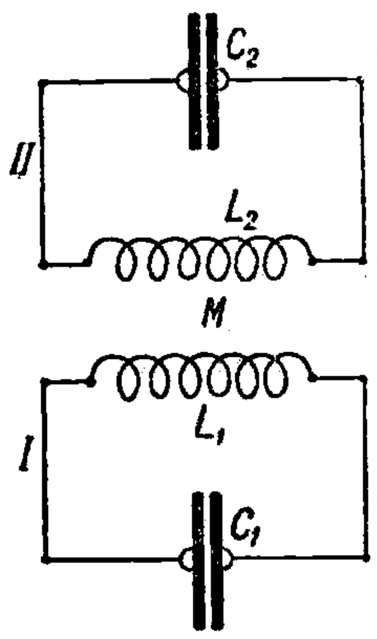
к-рый является дешевым сурвогатом индиго [3], т. к., подобно последнему, дает растворимый куб, но не обладает выдающейся прочностью индиго. Механизм получения И. еще не вполне ясен, и для его выяснения предложено несколько теорий [4—6].

Лит.: 1) «B», B. 10, p. 1157; 2) Lange O., Schwefelfarbstoffe, ihre Herstellung u. Verwendung, 2 Aufl., Lpz., 1925; 3) Г. П. 15917; Friedlaender P., Fortschritte d. Teerfabrikation und verwandter Industriezweige, T. 1, p. 283, B., 1920; 4) Bucherer H. Th., Lehrbuch d. Farbenchemie, 2 Aufl., Lpz., 1921;

[6]) Fierz-David H. E., Künstliche organische Farbstoffe, B., 1926; [6]) Ворожцов Н. Н., Основы синтеза красителей, М.—Л., 1925; [7]) его же, Ступени в синтезе красителей, Л., 1926. **И. Иоффе.**

ИНДУКТАНЦ, индуктивное сопротивление цепи, произведение из индуктивности цепи на круговую частоту синусоидального тока, проходящего в цепи; обозначается: $x=L\omega$. Индуктанц—частное обозначение реактивного сопротивления для того случая, когда влияние индуктивности цепи преобладает над влиянием емкости, т. е. для того случая, когда ток отстает от напряжения. Если преобладает влияние емкости, то реактивное сопротивление называется емкостным, или капацитанцем.

ИНДУКТИВНАЯ СВЯЗЬ, взаимодействие двух контуров при помощи самоиндукции или взаимоиндукции, общей или взаимной для обоих контуров; частным случаем И. с. (при помощи самоиндукции) является *автотрансформаторная связь* (см.). И. с. часто называется также трансформаторной, магнитной; это—наиболее часто встречающийся в электротехнике и радиотехнике вид *связи* (см.); о применениях И. с. в электротехнике (почти всегда связанных с ферромагнитными механизмами) см. *Трансформатор*. Коэффициент связи для И. с.



Фиг. 1.

$$k=\frac{M}{\sqrt{L_1L_2}},$$

при обозначениях согласно фиг. 1.

И. с. при возбуждении незатухающими вынужденными колебаниями (фиг. 2). Вследствие обратного воздействия вторичной цепи на первичную результирующее сопротивление R_1' первичной цепи (кажущееся сопротивление) увеличивается:

$$R_1'=R_1+\left(\frac{\omega M}{Z_2}\right)^2\cdot R_2,$$

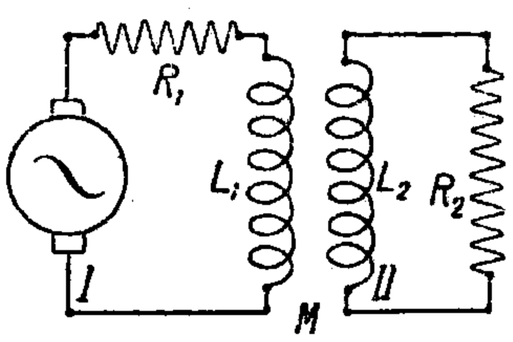
где

$$Z_2=\sqrt{R_2^2+\omega^2L_2^2}.$$

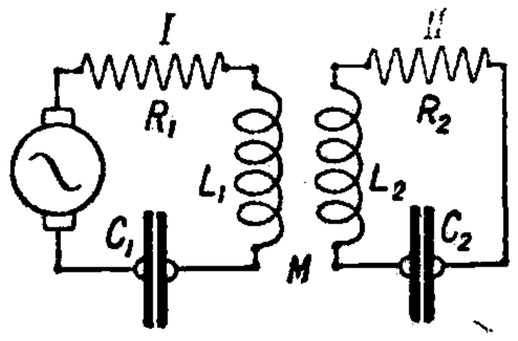
По тем же причинам коэффициент самоиндукции первичного контура уменьшается; его величина

$$L_1'=L_1-\left(\frac{\omega M}{Z_2}\right)^2\cdot L_2.$$

В том случае, если И. с. имеет место между двумя контурами, включающими, кроме R и L, также и C (емкость), то величина кажущегося сопротивления (фиг. 3) остается той же, как и выше, но



Фиг. 2.



Фиг. 3.

$$Z_2=\sqrt{R_2^2+\left(\omega L_2-\frac{1}{\omega C_2}\right)^2},$$

самоиндукция же выражается ф-лой:

$$L_1'=\left(L_1-\frac{1}{\omega^2C_1}\right)-\left(\frac{\omega M}{Z_2}\right)^2\left(L_2-\frac{1}{\omega^2C_2}\right).$$

В этом случае получаются зависимости между токами i_1 и i_2 в виде

$$i_1=\frac{E}{\sqrt{A^2+\omega^2\left[\left(L_1-\frac{1}{\omega^2C_1}\right)-\left(\frac{\omega M}{Z_2}\right)^2\left(L_2-\frac{1}{\omega^2C_2}\right)\right]^2}}$$

и

$$i_2=\frac{E}{Z_2\cdot\sqrt{A+\omega^2\left[\left(L_1-\frac{1}{\omega^2C_1}\right)-\left(\frac{\omega M}{Z_2}\right)^2\left(L_2-\frac{1}{\omega^2C_2}\right)\right]^2}},$$

где $A=R_1^2+\left(\frac{\omega M}{Z_2}\right)^2$. Токи i_1 и i_2 получают максимальное значение, когда множитель в квадратных скобках у второго слагаемого (в знаменателе выражений i_1 и i_2) превращается в нуль. В том случае, когда R_2 можно пренебречь по сравнению с $\omega L_2-\frac{1}{\omega C_2}$, условие максимума осуществляется при двух резонансных частотах

$$\omega'=\sqrt{\frac{\omega_1^2+\omega_2^2-\sqrt{(\omega_1^2-\omega_2^2)^2+4k^2\omega_1^2\omega_2^2}}{2(1-k^2)}},$$

$$\omega''=\sqrt{\frac{\omega_1^2+\omega_2^2+\sqrt{(\omega_1^2-\omega_2^2)^2+4k^2\omega_1^2\omega_2^2}}{2(1-k^2)}},$$

которые существуют одновременно в обоих контурах. Частные случаи: 1) $k\cong 1$; $\omega'\cong\sqrt{\frac{\omega_1^2\cdot\omega_2^2}{\omega_1^2+\omega_2^2}}$; $\omega''\cong\sqrt{\frac{\omega_1^2+\omega_2^2}{1-k^2}}$; 2) $k\ll 1$; $\omega'\cong\frac{\omega_2}{\sqrt{1+k^2}}$; $\omega''\cong\frac{\omega_1}{\sqrt{1-k^2}}$; 3) $\omega_1=\omega_2=\omega$ (случай резонанса между I и II контурами); $\omega'\cong\frac{\omega}{\sqrt{1+k}}$; $\omega''\cong\frac{\omega}{\sqrt{1-k}}$. Наилучшая связь, характеризующаяся максимальным значением i_2, получается из равенства $\frac{di_2}{dM}=0$ в виде $M=\frac{\sqrt{R_1\cdot R_2}}{\omega}$.

И. с. двух колебательных контуров. При схеме по фиг. 4 в каждом из контуров (с частотами: I—ω_1, II—ω_2) существуют одновременно два колебания с частотами

$$\omega'=\sqrt{\frac{\omega_1^2+\omega_2^2+\sqrt{(\omega_1^2+\omega_2^2)^2-4\omega_1^2\omega_2^2(1-k^2)}}{2(1-k^2)}},$$

$$\omega''=\sqrt{\frac{\omega_1^2+\omega_2^2-\sqrt{(\omega_1^2+\omega_2^2)^2-4\omega_1^2\omega_2^2(1-k^2)}}{2(1-k^2)}},$$

при чем часто $\omega'<\omega_1$; $\omega''>\omega_2$.

Коэфф. связи k определяется выражением:

$$k^2=\frac{\lambda_2^2-\lambda_1^2}{\lambda_1^2+\lambda_2^2}=\frac{\lambda_2^2-\lambda_1^2}{2\lambda^2}\cong\frac{\lambda_2-\lambda_1}{\lambda}.$$

Логарифмическ. декремент затухания частот связи в ф-ии от первоначальных первичного и вторичного контуров выражается так:

$$\delta'=\frac{\delta_1+\delta_2}{2}\cdot\frac{1}{\sqrt{1-k}},\quad \delta''=\frac{\delta_1+\delta_2}{2}\cdot\frac{1}{\sqrt{1+k}}.$$

При очень слабой связи $i_2'=i_2''=i_2$ и

$$i_{2res}^2=C\cdot 4\pi^2\frac{1}{\delta_1\delta_2(\delta_1+\delta_2)},$$

где C—постоянная, а i_{2res}—сила тока при резонансе; отсюда

$$\delta_1+\delta_2=2\pi\left(1-\frac{f_2}{f_1}\right)\sqrt{\frac{i_2^2}{i_{2res}^2-i_2^2}},$$

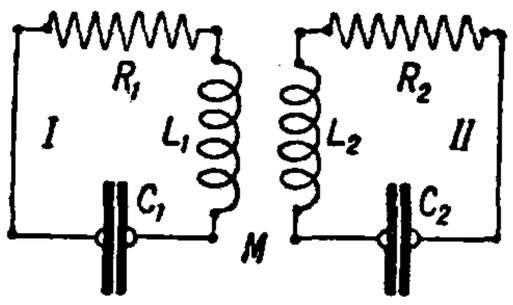
выражение, играющее большую роль при измерениях в радиотехнике.

Измерение коэффициента И. с. При обозначениях по фиг. 5, коэфф. связи

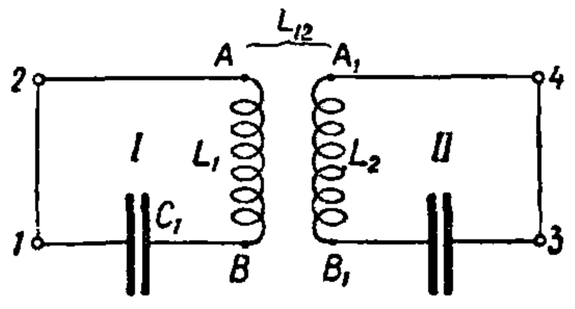
может быть определен измерением напряжений в различных точках схемы по формуле:

$$k = \sqrt{\frac{V_{12}}{V_1} \cdot \frac{V_{21}}{V_2}},$$

где $V_{12} = \omega i L_{12} I_1$—напряжение между точками A и B; ω—угловая частота; $V_1 = i\omega L_1 I_1$; отсюда $\frac{L_{12}}{L_1} = \frac{V_{12}}{V_1}$ (при этом контур II разомкнут и возбуждается лишь контур I).



Фиг. 4.



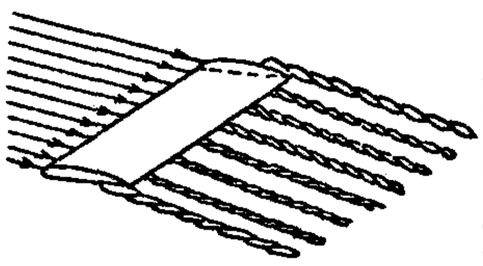
Фиг. 5.

Затем процесс измерения повторяется при разомкнутом контуре I и возбуждении контура II; в этом случае получается $\frac{L_{21}}{L_2} = \frac{V_{21}}{V_2}$. Подробности см. *Связь*.

Лит.: см. *Связь*. **В. Баженов.**

ИНДУКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ, сопротивление, к-рое получается у движущегося в жидкости тела при наличии циркуляции, обусловливающей по теореме Жуковского нек-рую подъемную силу от определенной системы вихрей, образовавшихся в жидкости при движении данного тела (см. *Вихревая теория*). Эти вихри образуются следующим образом.

Предположим, что нек-рое крылообразное тело движется в воздухе; у него сила сопротивления получается как за счет трения, так и за счет придания некоторой массе воздуха определенных скоростей. При наличии у этого крыла подъемной силы, т. е. силы, перпендикулярной к направлению движения потока, струя над крылом сужается, а под крылом расширяется, за счет чего соответственно получаются бо́льшие и меньшие скорости разных направлений; от этого по всему размаху крыла образуются вихри, составляющие общую вихревую пелену (фиг. 1), к-рая, сходя с крыла, практически, вследствие вязкости воздуха, понемногу размывается.

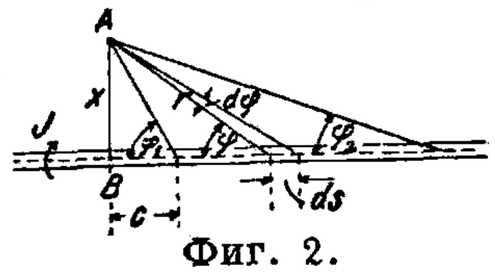


Фиг. 1.

В теории И. с. пользуются методом, часто применяемым в гидродинамике: предполагается, что крыло создало определенную систему вихрей и эти вихри вызывают определенное поле скоростей. Чтобы охватить математич. анализом действие вихрей на окружающую их жидкость, предполагается, что с задней кромки крыла сбегает множество элементарных вихрей с циркуляцией J, при чем, т. к., с точки зрения гидродинамики, всякий вихрь не может кончиться внезапно, то, в согласии с теорией подъемной силы крыла аэроплана, предполагается, что сбегающие с крыла вихри идут внутри крыла в виде нек-рых фиктивных, т. н. присоединенных вихрей с циркуляцией в каком-либо сечении крыла плоскостью, перпендикулярной размаху, равной сумме циркуляций элементарных вихрей, проходящих по одну сторону этой плоскости.

Согласно вихревой теории, вихри вызывают в потоке некоторую добавочную скорость; последняя, слагаясь с относительной скоростью движения крыла, дает ту истинную скорость, с к-рой воздух подходит и отходит от крыла. В общем случае эта вызванная скорость не постоянна по размаху крыла, а будет зависеть от интенсивности расположения элементарных вихрей, составляющих сходящую с крыла вихревую пелену. В частном случае система вихрей будет состоять из концевых и присоединенных прямолинейных вихрей—это т. н. П-образные вихри. В некоторых случаях практики для упрощения расчетов м. б. принята приближенно эта схема распределения вихрей.

Зная вызванные определенной системой вихрей скорости и составляя уравнение связи крыла с потоком, т. е. связь между гидродинамич. величинами, характеризующими поток, и величинами, характеризующими крыло данной формы, можно найти и необходимые характеристики каких угодно крыльев. Теория И. с. играет чрезвычайно большую роль в практике аэродинамич. расчета самолетов (см. *Аэродинамика*, р а с ч е т с а м о л е т а), т. к. она позволяет по продувкам индивидуальных крыльев находить характеристики любых сложных крыльев. Так, по характеристике монопланных крыльев различных профилей можно найти характеристики сложных крыльев, скомбинированных из этих профилей и как угодно расположенных в крыле; такими крыльями будут конические крылья, крылья с различными установками профилей, т. н. скрученные крылья, бипланы, тендемы и т. д.



Фиг. 2.

Рассмотрим влияние прямолинейного бесконечного шнура с циркуляцией J (фиг. 2) на какую-либо точку жидкости A и определим вызванную этим шнуром скорость в этой точке. Согласно сказанному в статье «Вихревая теория» (ТЭ, т. 3, ст. 776), бесконечно малый элемент шнура ds вызовет в точке A элементарную скорость

$$dv = \frac{J}{4\pi r^2} \cdot \sin\varphi \, ds. \qquad (1)$$

Так как $r = \frac{x}{\sin\varphi}$ и $ds = \frac{r\,d\varphi}{\sin\varphi} = \frac{x}{\sin^2\varphi}\,d\varphi$, то вызванная элементарная скорость

$$dv = \frac{J}{4\pi x} \cdot \sin\varphi \, d\varphi.$$

Интегрируя в пределах углов от φ_2 до φ_1, получим полную скорость точки A от действия части вихря, заключенного между этими углами:

$$v = \frac{J}{4\pi x} \int_{\varphi_2}^{\varphi_1} \sin\varphi \, d\varphi = \frac{J}{4\pi x} (\cos\varphi_2 - \cos\varphi_1). \qquad (2)$$

В случае бесконечного шнура $\varphi_2 = 0$, $\varphi_1 = \pi$, и скорость

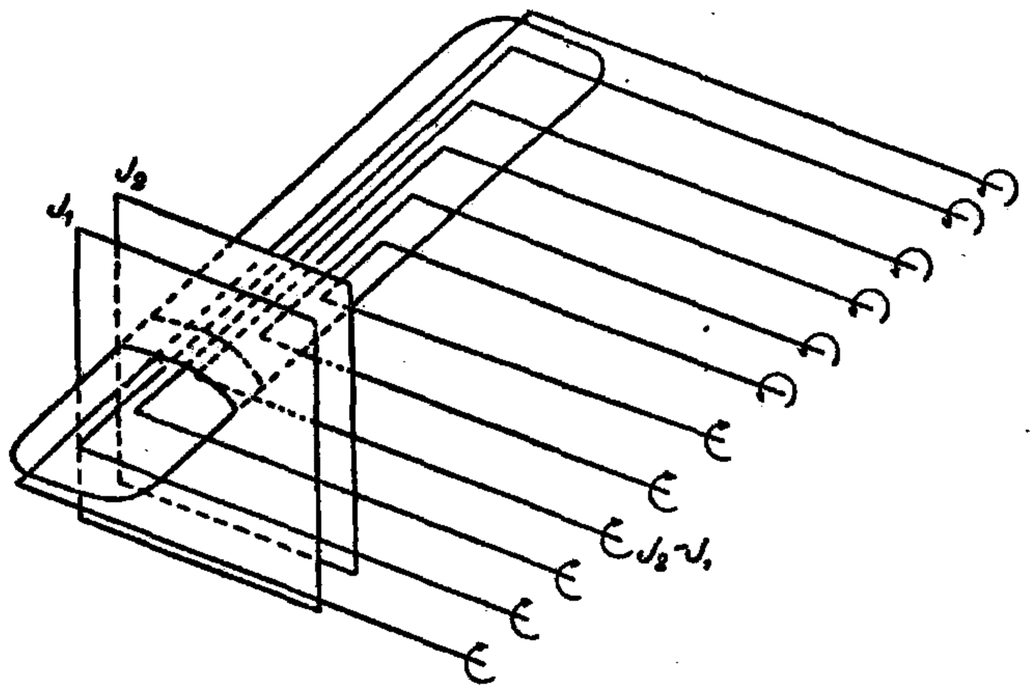
$$v = \frac{J}{2\pi x}. \qquad (3)$$

В случае полушнура, т. е. шнура, только одним концом простирающегося в бесконеч-

ность, а другим лежащего на перпендикуляре AB, $\varphi_2 = 0$, $\varphi_1 = \frac{\pi}{2}$ и скорость

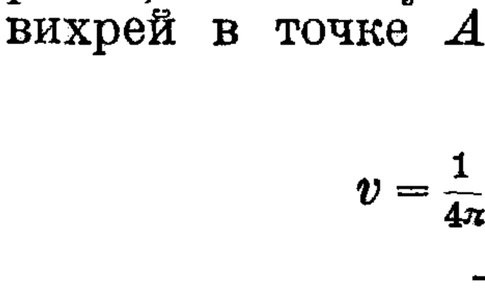
$$v = \frac{J}{4\pi x}. \qquad (4)$$

Рассмотрим скорость, вызванную вокруг крыла вихревой пеленой. Для этого будем полагать, что эта вихревая пелена аналогична бесконечному ряду П-образных вихрей (фиг. 3). Возьмем какое-либо сечение крыла плоскостью, перпендикулярной к раз-



Фиг. 3.

маху и направленной по потоку, а также второе сечение, бесконечно близкое к первому. Обозначим циркуляции по контуру, охватывающему крыло и находящемуся в проведенной плоскости, соответственно через J_1 и J_2. Выберем прямоугольную систему координат т. о., чтобы ось X шла по размаху крыла, ось Y—по направлению движения крыла и ось Z—перпендикулярно первым двум. Пусть на фиг. 4 кривая BCX представляет собою закон распределения циркуляции по размаху. Обозначим абсциссы положения вихрей через x, а абсциссы точек крыла—через ξ. По ф-ле (4), скорость, вызванная элементом вихря с абсциссой x в точке A с абсциссой ξ, будет:



Фиг. 4.

$$dv = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{dJ}{dx} \cdot \frac{dx}{x - \xi}.$$

Интегрируя это выражение по всему крылу, т. е. в пределах от $-\frac{l}{2}$ до $+\frac{l}{2}$, получим скорость, вызванную рассмотренной системой вихрей в точке A:

$$v = \frac{1}{4\pi} \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} \frac{dJ}{dx} \cdot \frac{dx}{x - \xi}. \qquad (5)$$

Рассмотрим теперь действие на поток вокруг крыла одного П-образн. вихря (фиг. 5). По ф-ле (4) можно найти скорость, вызванную одним полушнуром:

$$v = \frac{J}{4\pi x}.$$

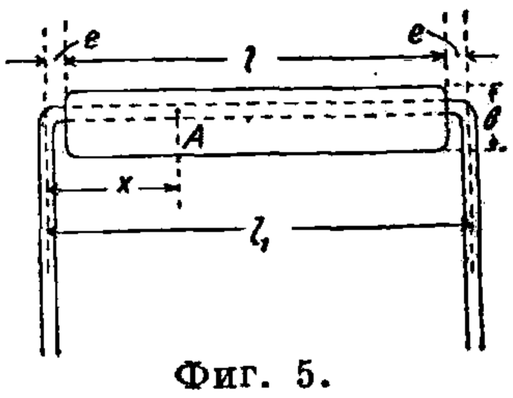
Эта скорость по размаху будет меняться по гиперболич. закону. Найдем среднюю по размаху величину этой вызванной скорости и назовем ее $v_{ср.}$ Т. к. концевые вихри, как показывает опыт, идут на нек-ром расстоянии от конца крыла, то обозначим размах крыла через l, расстояние между центрами вихрей—через l_1 и расстояние от центра вихря до конца крыла — через e; тогда

$$e = \frac{l_1 - l}{2}.$$

Величина средней скорости

$$v_{ср.} = \frac{1}{l} \int_e^{l+e} v\, dx = \frac{J}{4\pi l} \int_e^{l+e} \frac{dx}{x} = \frac{J}{4\pi l} \cdot \ln \frac{l+e}{e}.$$

Так как в нашей системе имеются два вихря, то вызванная каждым вихрем средняя скорость удваивается, и средняя скорость, вызванная двумя концевыми вихрями в точке A, лежащей на присоединенном вихре, выразится так:



Фиг. 5.

$$v_{ср.} = \frac{J}{2\pi l} \cdot \ln \frac{l+e}{e}.$$

Приближенно, на основании опыта, можно принять, что $l_1 = l \cdot 1{,}05$; тогда

$$\ln \frac{l_1 + l}{l_1 - l} \cong 4,$$

и, следовательно, средняя скорость

$$v_{ср.} = \frac{2J}{\pi l}. \qquad (6)$$

Чтобы найти ур-ие связи крыла с потоком, воспользуемся теоремой Н. Е. Жуковского (см. *Аэродинамика*, т. 1, ст. 835), по к-рой подъемная сила через циркуляцию выражается след. обр.:

$$P = \varrho \cdot J \cdot V \cdot l. \qquad (7)$$

С другой стороны, эту подъемную силу можно выразить также следующей ф-лой (см. *Аэродинамика*, т. 1, ст. 841, ф-ла 6):

$$P = \varrho \cdot C_y \cdot S \cdot V^2. \qquad (8)$$

Сравнивая эти две ф-лы, получаем:

$$J = \frac{C_y \cdot S \cdot V}{l} = C_y \cdot b \cdot V;$$

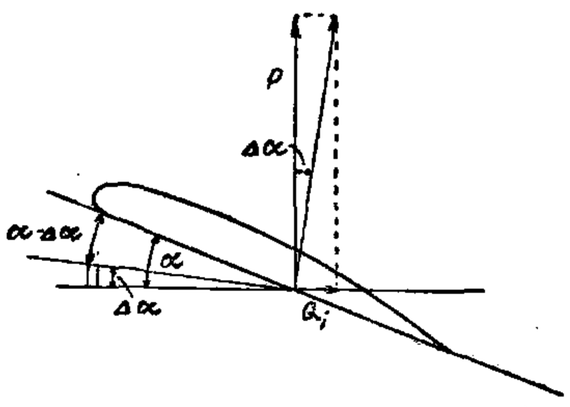
подставляя же это выражение для J в ф-лу (6) и вводя обозначение $\lambda = \frac{l}{b}$, к-рое называется относительным размахом или удлинением крыла, найдем:

$$v_{ср.} = \frac{2}{\pi l} \cdot C_y \cdot b \cdot V = \frac{2}{\pi\lambda} \cdot C_y \cdot V. \qquad (9)$$

Наличие этой скорости, вызванной вихрями, обусловливает собой отклонение относительной скорости потока у крыла на определенный угол $\Delta\alpha = \frac{v_{ср.}}{V}$. Этот угол называется скосом потока. Вследствие наличия скоса потока крыло в действительности встречает поток не под углом атаки α, а под углом $\alpha - \Delta\alpha$ (фиг. 6).

Подъемная сила крыла, движущегося со скоростью V, перпендикулярна скорости движения крыла. Это—та подъемная сила, с к-рой обыкновенно оперируют и к-рую находят при аэродинамич. испытаниях крыльев. Вследствие того, что направление потока скошено на угол $\Delta\alpha$, подъемная сила также откинута назад на угол $\Delta\alpha$. Если спроектировать ее на направление движения крыла, то получится некоторая сила Q_i, направленная по скорости движения, т. е. некоторая сила лобового сопротивления, вызванная строением самого потока около

крыла и называемая индуктивным сопротивлением. Но при движении крыла от трения поверхности крыла о воздух и от различных побочных вихреобразований создается еще сила лобового сопротивления, зависящая исключительно от индивидуальных особенностей профиля крыла. Это сопротивление называется профильным сопротивлением; обозначим его через Q_p. Индуктивное и профильное сопротивления создают то лобовое сопротивление, которое и наблюдается при испытаниях крыла. Т. о., полное лобовое сопротивление



Фиг. 6.

$$Q = Q_i + Q_p .$$

Т. к. скос потока является величиной сравнительно небольшой и проекция подъемной силы на новое направление изменит ее очень мало, то приближенно принимают, что подъемная сила за счет скоса потока изменяется незначительно; большое же изменение ее происходит за счет изменения угла атаки.

Согласно фиг. 6, И. с. выражается следующим образом:

$$Q_i = P \cdot \Delta\alpha ,$$

а полное лобовое сопротивление

$$Q = P \cdot \Delta\alpha + Q_p .$$

Подставив в эту ф-лу выражения сопротивлений через коэфф-ты сопротивлений, будем иметь:

$$C_x \cdot \varrho \cdot S \cdot V^2 = C_y \cdot \varrho \cdot S \cdot V^2 \cdot \Delta\alpha + C_p \cdot \varrho \cdot S \cdot V^2,$$

где C_p можно назвать коэфф-том профильного сопротивления. Деля все выражение на $\varrho \cdot S \cdot V^2$, получим:

$$C_x = C_y \cdot \Delta\alpha + C_p , \qquad (10)$$

или $C_x = C_i + C_p$, где C_i — коэфф-т индуктивного сопротивления, выражающийся следующим образом:

$$C_i = C_y \cdot \Delta\alpha. \qquad (11)$$

Коэфф. профильного сопротивления, как зависящий от индивидуальных особенностей профиля, не м. б. найден теоретич. путем; коэфф-т же И. с. зависит от угла скоса:

$$\Delta\alpha = \frac{v_{ср.}}{V} .$$

Подставляя сюда найденное значение для средней вызванной скорости, получим:

$$\Delta\alpha = \frac{2}{\pi\lambda} \cdot C_y , \qquad (12)$$

или, выражая угол скоса в градусах,

$$\Delta\alpha^\circ = 57{,}3 \frac{2}{\pi\lambda} \cdot C_y .$$

Т. о., коэфф. И. с. может быть представлен следующей ф-лой:

$$C_i = \frac{2}{\pi\lambda} \cdot C_y^2 . \qquad (13)$$

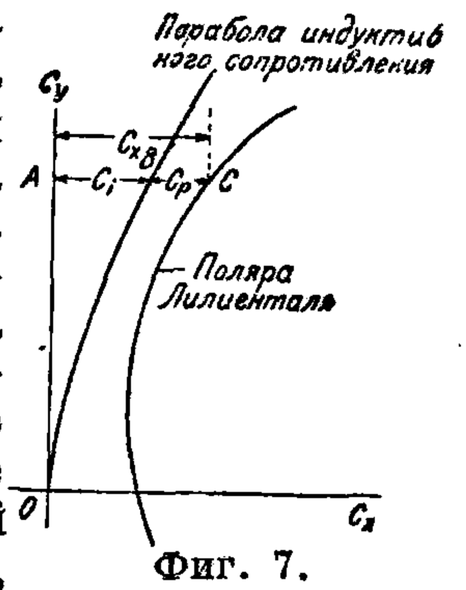
Это — ур-ие параболы, ось к-рой проходит через ось C_i. Эта парабола называется параболой индуктивного сопротивления. Обозначим $\frac{2}{\pi\lambda}$ через A; тогда

$$C_i = A \cdot C_y^2 . \qquad (14)$$

A является, следовательно, параметром параболы И. с. и зависит только от относительного размаха λ. При увеличении λ ветви параболы будут приближаться к оси ординат — парабола будет делаться более раскрытой; при $\lambda = \infty$, $A = 0$ — парабола обращается в ось ординат.

Так. обр., И. с. зависит от подъемной силы и от относительного размаха: при одной и той же подъемной силе, чем больше относительный размах, тем меньше И. с.; при бесконечном размахе И. с. равно нулю и, следовательно, все лобовое сопротивление крыла сводится только к профильному сопротивлению. С другой стороны, при одном и том же относительном размахе И. с. меняется в зависимости от подъемной силы, и при нуле подъемной силы все лобовое сопротивление сводится только к профильному сопротивлению, т. к. в этом случае И. с. равно нулю.

Поляра Лилиенталя дает характеристику данного крыла (см. *Аэродинамика*). На каком-либо угле атаки α отрезок AC, параллельный оси абсцисс, будет представлять собою лобовое сопротивление данного крыла (фиг. 7). Для имеющегося у этого крыла относительного размаха λ можно по ф-ле (13) построить параболу И. с.; тогда отрезок AB будет представлять собою И. с. этого крыла, соответствующее определенной подъемной силе. Отрезок BC будет, следовательно, равен C_p, т. е. профильному сопротивлению. Т. о., при помощи приведенных ф-л можно решать основные задачи теории И. с., которые находят большое применение на практике.



Фиг. 7.

Одной из главных задач является нахождение характеристики крыла одного относительного размаха по характеристике крыла другого относительного размаха, или нахождение характеристики биплана или вообще полиплана какого угодно размаха по характеристике моноплана. Т. к. аэродинамич. лаборатории обычно дают характеристику монопланного крыла для относительного размаха, равного 5 или 6, то при аэродинамическом расчете самолета приходится находить характеристику крыла для того относительного размаха, который имеется на рассчитываемом самолете.

Исходя из теории П-образных вихрей в случае биплана или вообще полиплана, можно также найти все поле скоростей. Метод, данный для этого Бетцем, состоит в том, что путем последовательных приближений находят влияние одного крыла на другое при каком угодно расположении и величине крыльев; однако, он требует длительных вычислений, и поэтому мы приведем здесь лишь приближенную ф-лу для полипланов, данную проф. Прандтлем. Под коэфф-тами сопротивления полиплана мы будем подразумевать коэфф-ты суммарного действия планов, получающиеся по правилу смешения, т. е. коэфф-ты подъемной силы и лобового сопротивления полиплана будут:

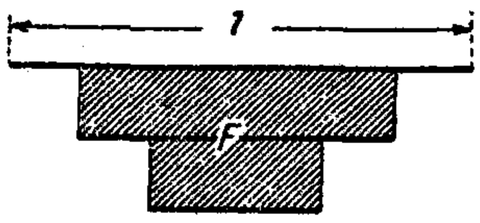
$$C_y = \frac{C_{y_1} \cdot S_1 + C_{y_2} \cdot S_2 + \ldots + C_{y_n} \cdot S_n}{S_1 + S_2 + \ldots + S_n}$$

и

$$C_x = \frac{C_{x_1} \cdot S_1 + C_{x_2} \cdot S_2 + \ldots + C_{x_n} \cdot S_n}{S_1 + S_2 + \ldots + S_n},$$

где $C_{y_1}, C_{y_2}, C_{y_3}, \ldots, C_{y_n}$—коэфф-ты подъемной силы каждого из планов полиплана; C_{x_1}, $C_{x_2}, \ldots, C_{x_n}$—соответственно коэфф-ты лобового сопротивления планов, а S_1, S_2, ..., S_n—площади каждого плана.

И. с. полиплана, имеющего одинаковой ширины крылья, будет выражаться ф-лой, аналогичной ф-ле (14) монопланa; однако, коэффициент A будет зависеть не только от относительного размаха плана, но также и от числа планов и их взаимного расположения. Для полипланов приближенное выражение для коэфф. A будет:



Фиг. 8.

$$A = \frac{2S}{\pi l^2 + 4F}, \qquad (15)$$

где l—наибольший размах полиплана, S—несущая площадь всех планов, а F—заштрихованная площадь, показанная на фиг. 8. Если взять частный случай, когда все планы имеют одинаковый размах l, одинаковую ширину крыльев b, а расстояние между планами равно ширине, то общая площадь

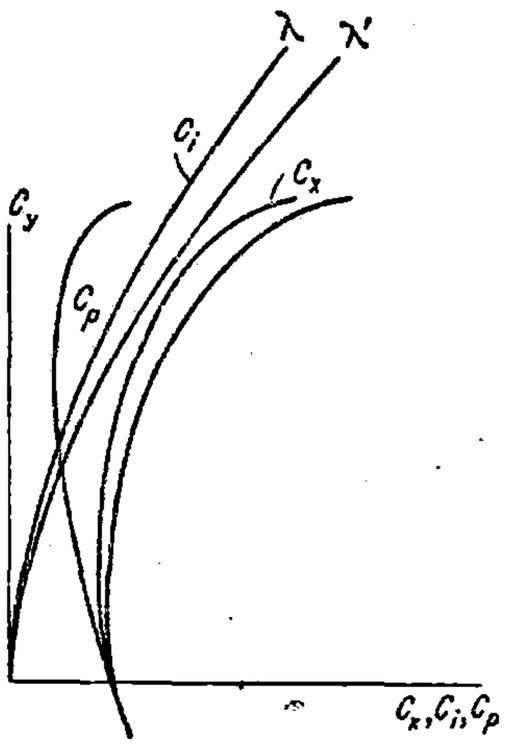
$$S = n \cdot b \cdot l,$$

где n—число планов. В этом случае площадь F можно выразить след. обр.: $F = (n-1)b \cdot l$, и ф-ла (15) получает такой вид:

$$A = \frac{2n}{\pi\lambda + 4(n-1)}.$$

В частном случае, при $n=1$, она переходит в ф-лу для монопланa, выведенную выше.

Наиболее часто применяемой на практике задачей является переход от крыла с одним относительным размахом к другому. Если мы имеем для данного размаха λ поляру Лилиенталя, то можно определить для каждого угла атаки профильное сопротивление, т. е. найти характеристику этого крыла для бесконечного размаха, вычитая из абсцисс кривой Лилиенталя абсциссы параболы И. с., построенной для значения λ. Находя параболу И. с. для другого относительного размаха λ' и прикладывая к нему профильное сопротивление, найдем новую поляру для относительного размаха λ'. Однако, от относительного размаха зависит также и скос потока; поэтому при определенных значениях подъемной силы как при бесконечном размахе, так и при новом конечном λ' углы атаки изменятся за счет различных скосов потока. Вычисление характеристики крыла при переходе от одного размаха к другому можно делать графич. или аналитич. путем. На фиг. 9 показан графич. метод такого вычисления при нахождении самой поляры. Остается определить те углы атаки, соответствующие определенному C_y,



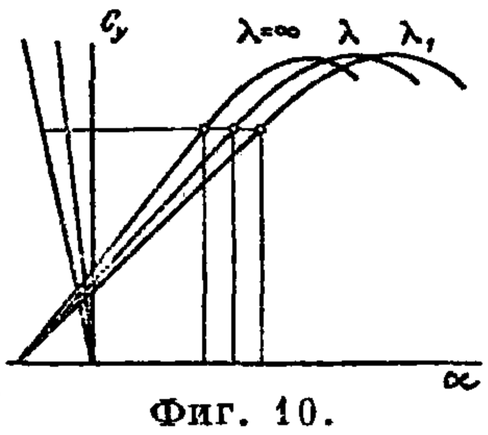
Фиг. 9.

к-рые получатся при переходе от относительного размаха λ к относительному размаху λ'.

Угол скоса потока выражается ф-лой:

$$\Delta\alpha = A\, C_y. \qquad (16)$$

Если вычислить A для значения λ, соответствующего относительному размаху первоначальной характеристики, то можно найти скосы потока, получающиеся при этом крыле. Истинный угол атаки $\alpha - \Delta\alpha$ равен кажущемуся углу атаки для крыла бесконечного размаха. Если мы имеем значения C_y, выражаемые кривой по углу атаки α, то, проведя налево от оси ординат прямую (фиг. 10), выражаемую ур-ием (16), получим, что для каждого C_y скос потока будет выражаться соответствующей абсциссой этой прямой. Если отнести кривую C_y к вышеупомянутой прямой, то получим кривую C_y по истинным углам атаки. Если же отнести эту кривую C_y к прямой, выражаемой ур-ием $\Delta\alpha = A' C_y$, где A' соответствует λ', то получим выражение C_y по углам атаки, соответствующим относительному размаху λ'. По найденной характеристике C_y по α для нового относительного размаха λ' можно на поляре Лилиенталя нанести и соответствующие каждому значению C_y углы атаки.



Фиг. 10.

Вместо только что описанных графических операций можно применить также и вычисление. Имея характеристику монопланного крыла определенного размаха λ, будем, следовательно, иметь соответствующие друг другу величины α, C_y и $C_{x\lambda}$. Вписываем их в первые три столбца таблицы.

Таблица для вычисления характеристики крыла при переходе от одного размаха к другому.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
α	C_y	$C_{x\lambda}$	$C_{i\lambda} = A_\lambda \cdot C_y^2$	$C_p = C_{x\lambda} - C_{i\lambda}$	$\Delta\alpha_\lambda = A_\lambda \cdot C_y$	$\alpha_\lambda = \alpha - \Delta\alpha_\lambda$	$C_{i\lambda'} = A'_{\lambda'} \cdot C_y$	$C_{x\lambda'} = C_{i\lambda'} + C_p$	$\Delta\alpha_{\lambda'} = A'_{\lambda'} \cdot C_y$	$\alpha_{\lambda'} = \alpha_\lambda + \Delta\alpha_{\lambda'}$

Так как лобовое сопротивление является суммой сопротивлений индуктивного C_i и профильного C_p, при чем C_i зависит как от относительного размаха λ, так и от соответствующей комбинации крыльев (моноплан, биплан и т. д.), а C_p—от индивидуальных свойств профиля, то переход от одного относительного размаха к другому или от одной комбинации крыльев к другой будет заключаться в соответствующем изменении И. с. C_i, а также и угла атаки α для каждого C_y. Т. о., в 4-й столбец вписываются значения C_i для того относительного размаха или для той комбинации крыльев, для к-рой имеется характеристика. $C_{i\lambda}$ определяется по ф-ле $C_{i\lambda} = A_\lambda \cdot C_\lambda^2$. Вычитая из общего сопротивления C_x И. с. $C_{i\lambda}$, получим профильное сопротивление C_p (5-й столбец). Углы атаки,

соответствующие определенным C_y и $C_{x\lambda}$, будут уже отличны от значений, данных в 1-м столбце, вследствие скоса потока. Этот скос потока, соответствующий бесконечному размаху, определяется по формуле $\Delta\alpha_\lambda = A_\lambda C_y$ (6-й столбец). Углы атаки, соответствующие бесконечному размаху данного крыла, найдутся, если вычесть из соответствующего значения 1-го столбца значение 6-го столбца (7-й столбец). Таким образом, 2-й, 5-й и 7-й столбцы дают характеристику крыла бесконечного размаха.

Для нахождения характеристики крыла другого относительного размаха λ' находим И. с. для относительного размаха λ', к-рое определяется по ф-ле: $C_{i\lambda'} = A'_{\lambda'} \cdot C_y$ (столбец 8-й). Прикладывая к соответствующим значениям $C_{i\lambda'}$ найденное уже профильное сопротивление C_p (5-й столбец), найдем значения лобового сопротивления $C_{x\lambda'}$, соответствующие крылу с относительным размахом λ' (9-й столбец). Скосы потока для λ' определяем по формуле $\Delta\alpha_{\lambda'} = A'_{\lambda'} C_y$ (10-й столбец). В столбец 11-й заносим углы атаки нового крыла с удлинением λ', которые получаются сложением значений столбцов 7-го и 10-го. Т. о., новую характеристику крыла с относительным размахом λ' будем иметь в столбцах 2-м, 9-м и 11-м. Подобные вычисления проделываются для различных α, C_y и $C_{x\lambda}$ в диапазоне имеющейся характеристики (обычно через каждые 2°).

Соответствующий анализ показывает, что постоянная по всему размаху скорость скоса, вызванная вихрями, получается в случае распределения циркуляции по размаху по закону полуэллипса. В этом случае И. с. и скос потока выражаются совершенно так же, как и в случае П-образных вихрей, а именно:

$$C_i = \frac{2}{\pi\lambda} \cdot C_y \text{ и } \Delta\alpha = \frac{2}{\pi\lambda} \cdot C_y .$$

Т. о., средняя вызванная скорость П-образных вихрей одинакова с постоянной скоростью при эллиптическом распределении. Такое распределение циркуляции получается при эллиптической в плане форме крыльев одинакового профиля и одинаковых углов установки.

Рассмотренная выше схема П-образных вихрей является схемой искусственной; при рассмотрении сложных крыльев приходится прибегать к более точному методу, ибо эта упрощенная схема дает в таких случаях слишком неточные результаты. Кроме того, если бывает нужно построить распределение давления по крылу, то приходится уже рассматривать влияние каждого вихря на данную точку жидкости.

Ф-ла (5) дает значение вызванной выхрями скорости для любого распределения циркуляции. С другой стороны, в каждом сечении крыла д. б. удовлетворено равенство

$$C_y b = \frac{J}{V} .$$

Зная в каждом сечении крыла его профиль C_y, ширину крыла b и, следовательно, кажущийся угол атаки α, можно найти в каждом сечении скос потока, а также и истинный угол атаки $\alpha_0 = \alpha - \Delta\alpha$. Так как в общем случае уравнение (5) не интегрируется в простых функциях, то для нахождения характеристики сложного крыла приходится пользоваться следующим приближенным методом. Задаются распределением циркуляции вдоль размаха крыла и определяют в каждом его сечении скос потока $\Delta\alpha$; зная же $\Delta\alpha$ и угол атаки α, можно найти и $\alpha - \Delta\alpha$. Затем определяют новую кривую распределения циркуляции по формуле $J = C_{y_0} bV$, где C_{y_0}—коэфф. подъемной силы профиля данного сечения для бесконечного размаха, соответствующий углу атаки $\alpha - \Delta\alpha$. Если новая вычисленная кривая не совпадает с той, которою задавались вначале, то следует вновь повторить те же вычисления, задавшись другой кривой распределения циркуляции, промежуточной между вычисленной и ранее заданной. Все эти вычисления чрезвычайно кропотливы и требуют много времени; значительное сокращение дает графический метод, описанный в «Трудах ЦАГИ», 1929 г., вып. 42.

Можно пользоваться также и другим аналитическим методом—Трефца, представляющим то удобство, что он сразу дает выражение для распределения циркуляции, при чем устраняется надобность в последовательных приближениях. Сущность этого метода заключается в том, что линия разрыва скоростей, являющаяся также границей вихревой области на крыле, преобразуется соответствующими подстановками в круг, а функция потенциала скоростей разлагается в тригонометрич. ряд и д. б. удовлетворена в нескольких точках крыла по его размаху,—это приводит к решению совместных ур-ий для определения коэффициента этого ряда. Коэфф-ты подъемной силы и И. с. будут, согласно этой теории, выражаться след. образом:

$$\left.\begin{aligned} C_y &= \frac{\pi l}{2SV} \cdot A_1 \\ C_i &= N \cdot \frac{2}{\pi\lambda} \cdot C_y^2 \end{aligned}\right\} \qquad (17)$$

Здесь $N = \frac{A_1^2 + 3A_3^2 + 5A_5^2 + 7A_7^2 + \dots}{A_1^2}$; $A_1, A_2, A_3 \dots$ коэфф-ты тригонометрич. ряда разложения потенциальной ф-ии:

$$\varphi = \frac{A_1 \sin\theta}{r} + \frac{A_3 \sin 3\theta}{r^3} + \frac{A_5 \sin 5\theta}{r^5} + \frac{A_7 \sin 7\theta}{r^7} + \dots$$

Это ур-ие после соответствующих подстановок и преобразований можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} I_0 \sin\theta = {} & A_1 \sin\theta(\mu + \sin\theta) + \\ & + A_3 \sin 3\theta(3\mu + \sin\theta) + \\ & + A_5 \sin 5\theta(5\mu + \sin\theta) + \\ & + A_7 \sin 7\theta(7\mu + \sin\theta) + \dots \end{aligned} \qquad (18)$$

Здесь $I_0 = {}^1/_2\ C_{y_0} bV$, т. е. половине циркуляции, к-рая получилась бы, если бы каждый элемент рассматриваемого крыла работал так же, как он работал бы при этом же угле установки в плоскопараллельном потоке (т. е. при бесконечном размахе). C_{y_0}—коэфф. подъемной силы профиля с бесконечным размахом, θ—угол между радиусом и осью абсцисс, определяющий положение какого-либо сечения крыла (фиг. 11), $\mu = \frac{\operatorname{tg}\beta_0 \cdot b}{2l}$, где β_0—угол наклона кривой

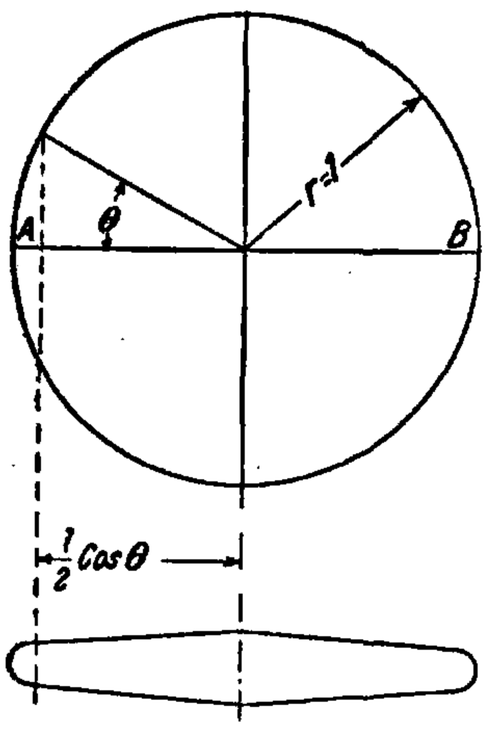
C_{y_0} к оси углов атаки для крыла бесконечного размаха.

Мы уже видели, что И. с. эллиптического крыла выражается след. обр.:

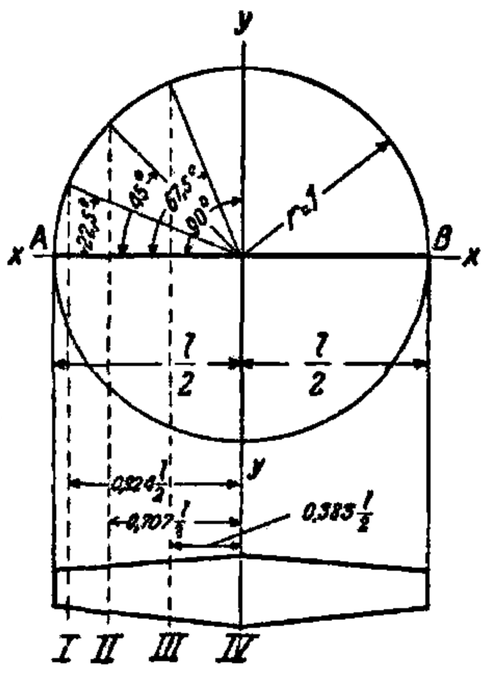
$$C_i = \frac{2}{\pi\lambda} \cdot C_y^2,$$

следовательно, коэфф. N представляет собою увеличение И. с. над значением его, получающимся при эллиптическом распределении циркуляции.

Оказывается, что для целей практики совершенно достаточно бывает брать для определения коэффициентов A_1, A_3, A_5 только четыре члена тригонометрического ряда и удовлетворять этому ряду только в четырех точках; тогда мы будем иметь четыре ур-ия с четырьмя неизвестными. Для удобства вычислений можно брать сечения полукрыла, соответствующие значениям θ,



Фиг. 11.



Фиг. 12.

равным 22,5°, 45°, 67,5° и 90°, отстоящим от середины крыла на расстоянии соответственно $0{,}924\frac{l}{2}$; $0{,}707\frac{l}{2}$; $0{,}383\frac{l}{2}$ и 0 (фиг. 12). В этом случае система уравнений будет иметь следующий вид:

I. $0{,}383(\mu_1+0{,}383)A_1+0{,}924(3\mu_1+0{,}383)A_3+$
$+0{,}924(5\mu_1+0{,}383)A_5+0{,}383(7\mu_1+0{,}383)A_7=$
$=0{,}383(J_0)_1$;

II. $0{,}707(\mu_2+0{,}707)A_1+0{,}707(3\mu_2+0{,}707)A_3-$
$-0{,}707(5\mu_2+0{,}707)A_5-0{,}707(7\mu_2+0{,}707)A_7=$
$=0{,}707(J_0)_2$;

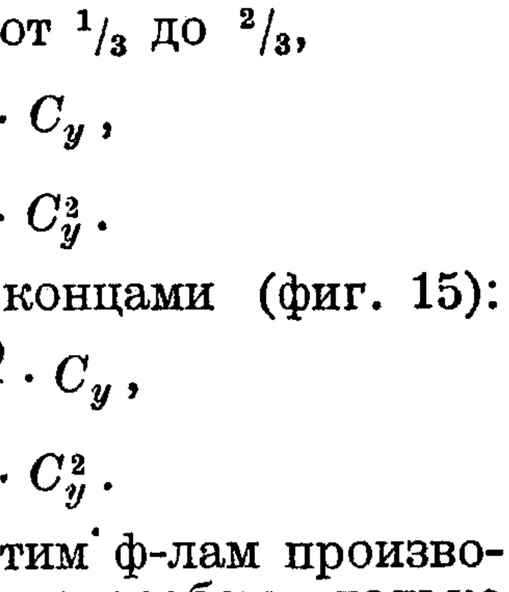
III. $0{,}924(\mu_3+0{,}924)A_1-0{,}383(3\mu_3+0{,}924)A_3-$
$-0{,}383(5\mu_3+0{,}924)A_5+0{,}924(7\mu_3+0{,}924)A_7=$
$=0{,}924(J_0)_3$;

IV. $(\mu_4+1)A_1-(3\mu_4+1)A_3+(5\mu_4+1)A_5-$
$-(7\mu_4+1)A_7=(J_0)_4$.

Т. о., для определения И. с. какого угодно крыла необходимо иметь характеристику профилей в рассматриваемых сечениях при бесконечном размахе. Характеристики для конечного размаха определяются опытным путем. Выше был уже изложен приближенный метод пересчета с конечного размаха на бесконечный. Этот метод, однако, являющийся точным для эллиптич. крыла, не дает возможности более точно подсчитать характеристику бесконечного размаха для крыльев других форм. В аэродинамич. лабораториях обычно испытывают крылья прямоугольные, поэтому в первую очередь необходимо уметь пересчитывать на бесконечный размах характеристики этих крыльев. Подставляя в формулу (17) значение площади крыльев $S=lb$, а также принимая во внимание уравнение (18), получим:

$$C_y = \frac{\pi A_1}{2bV};\quad \frac{C_y}{C_{y_0}} = \frac{\pi}{4}\cdot\frac{A_1}{J_0}. \qquad (19)$$

Кроме того, коэфф. N зависит от величины μ, так как в ур-иях I, II, III и IV коэфф-ты A_1, A_3, A_5 и A_7 определяются через μ. На фиг. 13 даны величины $\frac{C_y}{C_{y_0}}$ и N в зависимости от $\frac{\lambda}{\operatorname{tg}\beta_0}$. По этим графикам, если известна характеристика профиля для бесконечного размаха, можно найти также характеристику прямоугольного крыла. Для решения обратной задачи на тех же графиках нанесен другой масштаб — для $\frac{\lambda}{\operatorname{tg}\beta}$, где β—угол наклона к оси абсцисс характеристики данного профиля прямоугольного крыла. Таким же образом можно вывести поправочные коэффициенты для каких угодно крыльев. Однако, приближенно можно для нек-рых форм крыльев пользоваться следующими формулами.



Фиг. 13.

Трапецоидальное крыло (фиг. 14): для отношений $\frac{b}{b_0}$, равных от $^1/_3$ до $^2/_3$,

$$\Delta\alpha = \frac{2}{\pi\lambda}\cdot C_y,$$

$$C_i = \frac{2}{\pi\lambda}\cdot C_y^2.$$

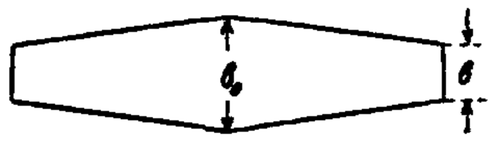
Крыло с закруглен. концами (фиг. 15):

$$\Delta\alpha = \frac{0{,}730}{\lambda}\cdot C_y,$$

$$C_i = \frac{2}{\pi\lambda}\cdot C_y^2.$$

Все вычисления по этим ф-лам производятся указанным выше способом, только при нахождении И. с. и скоса потока следует подставить вместо величины A ее новое соответствующее значение.

Как уже было указано, по теории Треффца распределение циркуляции по размаху



Фиг. 14.

Фиг. 15.

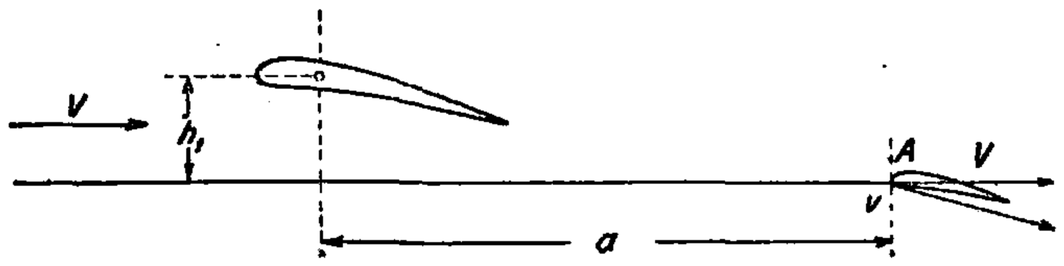
можно представить в виде определенной кривой. Эта кривая выражается следующим уравнением:

$$J = 2(A_1\sin\theta + A_3\sin 3\theta + A_5\sin 5\theta + A_7\sin 7\theta). \qquad (20)$$

Когда коэфф-ты A_1, A_3, A_5 и A_7 определены для соответствующих θ вышеуказанным способом, то можно построить и эту кривую.

При наличии подъемной силы крыло отклоняет набегающий на него поток на некоторый угол, а следовательно, и сзади крыла поток будет также скошен на определенный угол (фиг. 16). Этот с к о с п о т о к а з а к р ы л о м вызывается как вихревой пеленой, так и присоединенными вихрями. Так как стабилизатор обычно располагается

сзади крыла, то он будет работать в потоке, уже возмущенном крылом, и угол атаки стабилизатора нельзя уже будет определять как угол между хордой стабилизатора и направлением движения всего самолета. В расчете устойчивости, когда приходится определять восстанавливающие моменты стабилизатора и, следовательно, находить подъемную силу стабилизатора, необходимо учитывать скос потока от крыльев.



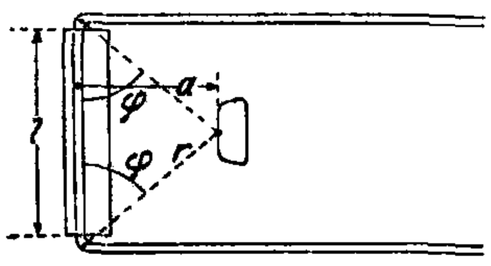
Фиг. 16.

Теория И. с. дает возможность найти этот скос. Кроме того, в самолетах типа тендем влияние переднего крыла на заднее выразится в изменении подъемной силы и лобового сопротивления за счет изменения углов атаки от скоса потока.

При П-образной схеме вихрей формула для скоса потока может быть выведена на основании выражения (2). Если предположить, что один конец шнура уходит в бесконечность и, следовательно, $\cos\varphi_2 = 1$, а другой лежит на расстоянии c от точки B (фиг. 2), то в нашем случае выражение для вертикальной вызванной скорости примет вид:

$$v = \frac{J}{4\pi x}\left(1 - \frac{c}{\sqrt{x^2 + c^2}}\right). \qquad (21)$$

Вертикальная скорость за крылом будет вызвана двумя концевыми вихрями и присоединенным вихрем (фиг. 17). На основании принципа независимости можно принять, что общая вызванная скорость слагается из скорости, вызванной присоединенным вихрем, и удвоенной скорости, вызванной одним концевым вихрем. На основании ф-лы (21), скорость, вызванная двумя концевыми вихрями:



Фиг. 17.

$$2v_2 = 2\frac{J}{4\pi\sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + h_1^2}}\left[1 + \frac{a}{\sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + h_1^2 + a^2}}\right],$$

а на основании ф-лы (2), скорость, вызванная присоединенным вихрем:

$$v_1 = \frac{J}{2\pi}\cdot\frac{\frac{l}{2}}{\sqrt{h_1^2 + a^2}\cdot\sqrt{h_1^2 + a^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2}};$$

следовательно, общая вертикальная скорость за крылом

$$v = \frac{J}{2\pi}\left[\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + h_1^2}} + \frac{a}{\sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + h_1^2}\cdot\sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + h_1^2 + a^2}} + \frac{\frac{l}{2}}{\sqrt{h_1^2 + a^2}\cdot\sqrt{h_1^2 + a^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2}}\right]. \qquad (22)$$

Эту ф-лу можно упростить, принимая, что возвышение крыла над стабилизатором равно нулю ($h_1 = 0$), что обычно и осуществляется на практике. В таком случае будем иметь:

$$v = \frac{J}{\pi l}\left[1 + \sqrt{1 + \left(\frac{l}{2a}\right)^2}\right] \qquad (23)$$

или, для скоса потока, выраженного в градусах:

$$\Delta\alpha^\circ = 57{,}3\,\frac{C_y}{\pi\lambda}\left[1 + \sqrt{1 + \left(\frac{l}{2a}\right)^2}\right]. \qquad (24)$$

При эллиптич. распределении циркуляции по размаху, ф-ла для скоса потока за крылом будет иметь следующий вид:

$$\Delta\alpha^\circ = 57{,}3\,\frac{4}{\pi\lambda}\cdot C_y\left[1 + \left(\frac{l}{4a}\right)^2\right]. \qquad (25)$$

Обе приведенные ф-лы дают довольно значительно разнящиеся между собой результаты и не вполне согласуются с опытными данными для наиболее ходовых типов крыльев. Поэтому имеются попытки составления полуэмпирических, согласующихся с опытом формул. Одна из таких формул имеет следующий вид:

$$\Delta\alpha^\circ = 57{,}3\,\frac{2{,}9}{\pi\lambda}\cdot C_y\cdot\left[1 + \left(\frac{l}{4a}\right)^2\right] \qquad (26)$$

и в пределах практич. применений хорошо согласуется с данными опытов, произведенных с моделями монопланных крыльев.

Для биплана можно принять ту же ф-лу (26); только в этом случае λ будет удлинением эквивалентного моноплана, к-рое можно подсчитывать по приближенной ф-ле (15):

$$\lambda = \frac{\pi l^2 + 4F}{\pi S}.$$

Все приведенные ф-лы не учитывают влияния струи винта, которая может произвести также некоторый скос потока. Этот скос потока от винта с достаточной степенью точности можно определять по формуле:

$$\delta = \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2B}{0{,}6}}}\right)(\alpha - \beta) + \frac{\Delta\alpha}{\sqrt{1 + 2B}}, \qquad (27)$$

где α—угол атаки крыльев, $\Delta\alpha$—скос потока от крыльев, β—угол наклона оси винта к хорде крыла и B—коэффициент нагрузки на ометаемую винтом площадь (см. *Воздушный винт*).

Лит.: Юрьев Б. Н., Индуктивное сопротивление крыльев аэроплана, «Труды ЦАГИ», 1926, вып. 20; его же, Определение аэродинамических свойств крыльев произвольного очертания в плане, «ВВФ», 1923, *2*; Саткевич А., Аэродинамика как теоретическая основа авиации, П., 1923; Чесалов А. В., О построении поляры Лилиенталя монопланного крыла произвольной формы, «Техника возд. флота», М., 1927, *6*; «Материалы по аэродинамическому расчету самолетов», Сборн. статей под ред. В. Александрова, «Труды ЦАГИ», 1929, вып. 42; Козлов С. Г., Аэродинамич. расчет бипланной коробки, «Техника воздушного флота», М., 1927, *3*; Prandtl L., Application of Modern Hydrodynamics to Aeronautics, «Reports of the Nat. Advis. Comm. for Aeronautics», Wsh., 1921, *116*; Prandtl L. u. Betz A., Vier Abhandlungen z. Hydrodynamik u. Aerodynamik (Tragflügeltheorie, 1. u. 2. Mitteilungen), Göttingen, 1927; Bader H. G., Flugzeugbaukunde, B., 1924; Bader H. G., Grundlagen d. Flugtechnik, B., 1920; Glauert H., A Method of Calculating the Characteristics of a Tapered Wing, «Aeron. Research Committee, Reports a. Memoranda», L., 1922, *824*; Florine N., Trainée induite des ailes d'avion, «Bulletin du Laboratoire aérotechnique de Belgique», Bruxelles, 1922; Fuchs H. und Hopf L., Aerodynamik, B., 1922; Munk M., General Biplan Theory, «Reports of the Nat. Advis. Comm. for Aeronautics», Wsh., 1922, *151*; Simmons L., Note on the Applications of the Vortex Theory of Aerofoil to the Prediction of Downwash, «Aeron. Research Committee, Reports a. Memoranda», L., 1924, *914*; Simmons L. a. Owner E., An Investigation of Downwash in the Slipstream, ibid., London, 1924, *882*.

В. Александров.

ИНДУКТИВНОСТЬ, физич. величина, являющаяся мерой электромагнитной инерции данной системы. Рассмотрим два контура 1 и 2, по которым проходят соответственно токи силою I_1 и I_2. Тогда энергия магнитного поля W_m, создаваемого этими контурами,

$$W_m = \frac{1}{2} L_1 I_1^2 + M I_1 I_2 + \frac{1}{2} L_2 I_2^2 .$$

Коэфф-ты L_1, L_2 называются индуктивностями, или коэффициентами самоиндукции, контуров 1 и 2. Коэфф. M называется взаимной индуктивностью этих двух контуров, или их коэффициентом взаимной индукции. Отсюда энергетическое определение И. контура 1: И. L_1 равняется удвоенной магнитной энергии, создаваемой контуром 1 при прохождении через него тока силою в 1 А. При отсутствии железа ($\mu = \text{Const}$) энергетич. определению И. тождественны два других. 1) Динамическое определение: И. контура равняется электрич. напряжению $e_{c.}$, индуктируемому в контуре (эдс самоиндукции), деленному на скорость уменьшения силы тока в контуре:

$$L_{д.} = -\frac{e_{c.}}{\frac{di}{dt}} .$$

2) Статическое определение: индуктивность контура равняется магнитному потоку Φ, окружающему этот контур, деленному на силу тока i в контуре:

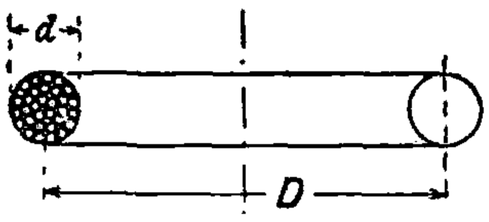
$$L_{ст.} = \frac{\Phi}{i} .$$

Аналогичные определения можно дать и для взаимной И. При наличии железа μ не остается постоянным, и различные определения И. не являются эквивалентными.

Знание индуктивности чрезвычайно важно для расчета линий передачи, электромагнитов, колебательных контуров, сложных антенн и т. д. Существует весьма большое число ф-л и таблиц, дающих возможность определять И. системы. Общей основой для расчета индуктивности может служить формула, дающая магнитную энергию контура

$$W_m = \frac{\mu}{2} \int_\tau d\tau' \int_\tau \frac{d\tau}{R} \, ii' . \qquad (1)$$

Здесь τ — объем, занимаемый данным контуром, $d\tau$, $d\tau'$—элементы объема в этом контуре, R—расстояние между ними, i, i'—значения векторов плотности тока соответственно



в местах, занимаемых элементами объема $d\tau$ и $d\tau'$, и μ — проницаемость. Интеграция производится дважды по всему объему τ. Если плотность тока распределена равномерно по контуру, то формула упрощается и принимает следующий вид:

$$W_m = i^2 \frac{\mu}{2} \int_\tau d\tau' \int \frac{d\tau \cos(i,i')}{R} . \qquad (1a)$$

Приведем данные для индуктивности L некоторых контуров.

1) Тонкая катушка, имеющая N витков, высоту l, диаметр D, толщину $s \ll l$ ($\mu = 1$).

Длинные катушки			Короткие катушки		
$\frac{D}{l}$	$\frac{L}{DN^2}$	$\frac{L}{lN^2}$	$\frac{l}{D}$	$\frac{L}{DN^2}$	$\frac{L}{lN^2}$
0,0	0,000	0,0000	1,0	6,795	6,795
0,1	0,946	0,0946	0,9	7,293	8,103
0,2	1,816	0,3633	0,8	7,872	9,840
0,3	2,617	0,7851	0,7	8,554	12,220
0,4	3,355	1,3421	0,6	9,371	15,618
0,5	4,038	2,0188	0,5	10,373	20,746
0,6	4,670	2,8018	0,4	11,643	29,107
0,7	5,257	3,680	0,3	13,333	44,44
0,8	5,804	4,643	0,2	15,783	78,91
0,9	6,315	5,684	0,1	20,067	200,67
1,0	6,795	6,795	0,0	∞	∞

2) Плоская катушка, имеющая N витков, внешний диаметр D, внутренний—d, высоту $h \ll \frac{1}{2}(D+d)$.

$\frac{d}{D}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\frac{L}{DN^2}$	3,485	4,278	5,256	6,429	7,823	9,487
$\frac{d}{D}$	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
$\frac{L}{DN^2}$	11,507	14,044	17,458	22,871	∞	

3) Круглое кольцо. Число витков N (фиг.).

$$L = N^2 2\pi D \left\{ \ln \frac{8D}{d} \left[1 + 0{,}11 \left(\frac{d}{D}\right)^2 \right] - 1{,}75 - 0{,}0095 \left(\frac{d}{D}\right)^2 \right\} .$$

4) Петля из прямого и обратного цилиндрических проводов на расстоянии d друг от друга. Диаметр проводов r.

$$L = 0{,}921 \lg \left(\frac{d}{r}\right) + 0{,}1 \ \frac{mH}{km} .$$

5) Две параллельные полосы прямоугольного сечения $b \times h$, расстояние между внутренними поверхностями к-рых равно d ($d \| b$).

$$L = l \left[2 \left(2 + \frac{d}{b}\right)^2 \ln(h+2b+d) - 4 \left(1 + \frac{d}{b}\right)^2 \cdot \ln(h+b+d) + 2 \left(\frac{d}{b}\right)^2 \ln(h+d) - 4 \ln(h+b) \right] .$$

Если $d \cong 0$, то

$$L = 8l \cdot \ln \left(1 + \frac{b}{h+b}\right) .$$

Если, кроме того, $b \ll h$, то

$$L \cong \frac{8lb}{h+b} .$$

В случае линейного контура, образуемого проводом, поперечные размеры которого незначительны по сравнению с длиной, формула (1a) упрощается и принимает вид:

$$L = \int_K \int_K \frac{dr \cdot dr'}{R} = \int_K \int_K \frac{\cos\varepsilon \cdot ds \cdot ds'}{R} ,$$

где dr, dr'—элементы данного контура K, R—их расстояние, ε—угол между dr и dr'. Интеграция выполняется дважды по всему контуру K.

6) Для окружности радиуса a при цилиндрическом проводе с диаметром $2r$

$$L = 4\pi a \left[\left(1 + \frac{r^2}{8a^2}\right) \ln \frac{8a}{r} + \frac{r^2}{24a^2} - 1{,}75 \right] \cdot 10^{-9} \text{ H}.$$

7) Для квадрата, сторона которого a

$$L = 8a \left(\ln \frac{a}{r} + \frac{r}{a} - 0{,}774 + \mu\delta \right) \cdot 10^{-9} \text{ H},$$

где $\delta = 0{,}25$ при постоянном токе.

8) Для треугольника со сторонами a, b, c

$$L = 2\{ a \ln\frac{2a}{r} + b \ln\frac{2b}{r} + c \ln\frac{2c}{r} - (a+b+c) - (b+c)\,\mathrm{Ar\,sh}\,S_a - (c+a)\,\mathrm{Ar\,sh}\,S_b - (a+b)\,\mathrm{Ar\,sh}\,S_c\} \cdot 10^{-9}\ \mathrm{H},$$

где

$$S_a = \frac{c^2+b^2-a^2}{V},\quad S_b = \frac{a^2+c^2-b^2}{V},\quad S_c = \frac{b^2+a^2-c^2}{V},$$

$$V^2 = 2(a^2c^2 + a^2b^2 + b^2c^2) - a^4 - b^4 - c^4.$$

Для более сложных многоугольных контуров можно пользоваться упрощенным методом Баженова, сводящим И. мн-ков, обладающих тем же периметром l и той же площадью S, к простому выражению:

$$L = 2l\left(\ln\frac{2S}{rl} + \mu\delta - \varphi\right)\cdot 10^{-9}\ \mathrm{H},$$

где при постоян. токе $\delta = {}^1/_4$, а φ определяется как ф-ия $\frac{l}{\sqrt{S}}$ (см. *Замкнутая антенна*).

При переменном токе приведенные формулы несколько изменяются, потому что плотность тока не распределяется больше равномерно по сечению провода, а вытесняется к его поверхности (см. *Скинэффект*). Магнитная энергия, связанная с контуром, м. б. в этом случае разбита на две части: магнитная энергия внутри провода и магнитная энергия вне провода, при чем перераспределение плотности тока внутри провода не влияет на внешнюю магнитную энергию. Т. о., можно и И. разбить на внешнюю И., не зависящую от частоты, и внутреннюю И., убывающую с увеличением частоты, проницаемости и сечения провода и возрастающую при увеличении удельного сопротивления провода. Внутренняя И. провода, имеющего длину l *см*, м. б. выражена ф-лой:

$$L_i = 2\mu l\delta \cdot 10^{-9}\ \mathrm{H},$$

где $\delta = 0{,}25$ при постоянном токе, а при переменном—определяется уже по специальным таблицам. Обычно внутренняя И. провода незначительна по сравнению с И. контура, однако, для железных проводов, благодаря большому значению проницаемости, приходится считаться с этой И. (см. *Провода железные*).

Взаимная И. двух линейных контуров K и K' определяется по ф-ле:

$$M = \mu \int_K ds \int_{K'} \frac{\cos\varepsilon \cdot ds'}{R} \cdot 10^{-9}\ \mathrm{H},$$

где ds, ds'—элементы длины контуров, ε—угол между ними, R—их расстояние. Так, два параллельных провода на расстоянии d друг от друга и при длине l имеют взаимную индуктивность

$$M = 2l\left[\ln\frac{l+\sqrt{l^2+d^2}}{d} - \frac{\sqrt{l^2+d^2}}{l} + \frac{d}{l}\right]\cdot 10^{-9}\ \mathrm{H}.$$

При $l \gg d$ эта ф-ла упрощается:

$$M = 2l\left[\ln\frac{2l}{d} - 1 + \frac{d}{l}\right]\cdot 10^{-9}\ \mathrm{H}.$$

Взаимная И. двух параллельных, конаксиальных колец с круглым сечением, расположенных на расстоянии x друг от друга, определяется по ф-ле:

$$M = 4\pi y\sqrt{Aa}\cdot 10^{-9}\ \mathrm{H},$$

где A и a—радиусы колец, $y = \left(k - \frac{2}{k}\right)K + \frac{2}{k}E$,

$$k^2 = \frac{4Aa}{(A+a)^2 - x^2},\qquad K = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\varphi}{\sqrt{1-k^2\sin^2\varphi}},$$

$$E = \int_0^{\frac{\pi}{2}} d\varphi\sqrt{1-k^2\sin^2\varphi}.$$

Значения эллиптич. интегралов K, E определяются по особым таблицам.

Лит.: Баженов В. И., «ТиТбП», 1927, стр. 347; «Elektr. Nachrichtentechnik», B., 1929, p. 22; Abraham M., Theorie d. Elektrizität, B. 1, 7 Aufl., B.—Lpz., 1923; Emde F., «Die Elektrische Maschine», Pötzn, 1912, p. 221; Esau A., «Jahrbuch d. drahtl. Telegr. u. Teleph.», B., 1911, B. 4, p. 212; Spielrein J., «Archiv für Elektrotechnik», B., 1915, B. 6, p. 187; Breisig F., Theoret. Telegraphie, Telegraphen- u. Fernsprechtechnik in Einzeldarstellung, hrsg. v. Th. Karrass, B. 7, 2 Aufl., Brschw., 1924; Orlich E., Kapazität u. Induktivität, ihre Begriffsbestimmung, Berechnung u. Messung, Brschw., 1909; «Scient. Papers of the Bureau of Standards», Wsh., *468*; Cohen L., Formulae a. Tables for the Calculation of Alternating Current Problems, N. Y., 1913; Noltage W. H., The Calculation a. Measurement of Inductance a. Capacity, L., 1916; Rosa E. B. a. Grover T. W., Formulae a. Tables for the Calculation of Mutual a. Self-Induction, «Bureau of Standards, Bull.», Wsh., 1912.

Я. Шпильрейн.

ИНДУКТОР, генератор переменного тока, применяемый в телефонии для посылки вызова. Общий вид пятимагнитного индуктора представлен на фиг. 1; схема устройства И. показана на фиг. 2. Магнитное поле создается несколькими постоянными магнитами подковообразной формы. Якорь имеет двутавровое сечение и ось его укреплена на обыкновенных подшипниках. Полюсные наконечники выгнуты по форме якоря и обеспечивают зазор ок. 0,2 *мм*. Обмотка якоря обычно имеет большое число витков; один конец ее соединяется с корпусом, а другой—с контактной пружиной. Для получения необходимой скорости вращения якоря при-

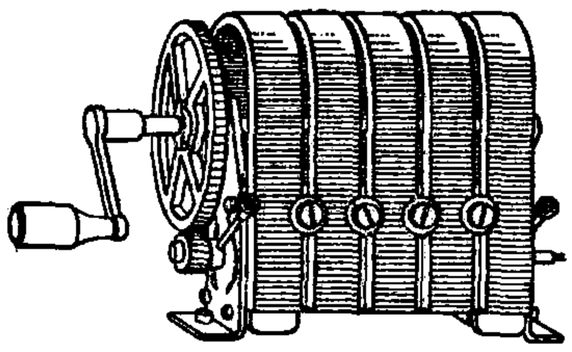
Характеристика наиболее распространенных типов индуктора.

Магниты	Число	2	2	4	5
	Высота в *мм*	80	140	140	144
Якорь	Длина в *мм*	48	51	88	100
	Диам. в *мм*	38	46	44	47,5
	Число витков	5 600	3 680	3 300	2 100
	Диам. проволоки .	0,17	0,10	0,22	0,27
	Сопротивл. обмотки .	365	570	200	110
Зубчатая передача		1 : 6,2	1 : 4,8	1 : 7	1 : 5,5
Сила тока в *m*A при 3 об/ск. ручки и при нагрузке:	500 Ω	56	62	110	90
	1 000 Ω	47	48	88	62
	1 500 Ω	40	39	72	45
Напряжение в V		50	50	75	50
При нагрузке в Ω		1 500	1 000	1 300	300
Вес в *кг*		1,2	2,0	3,87	5,2

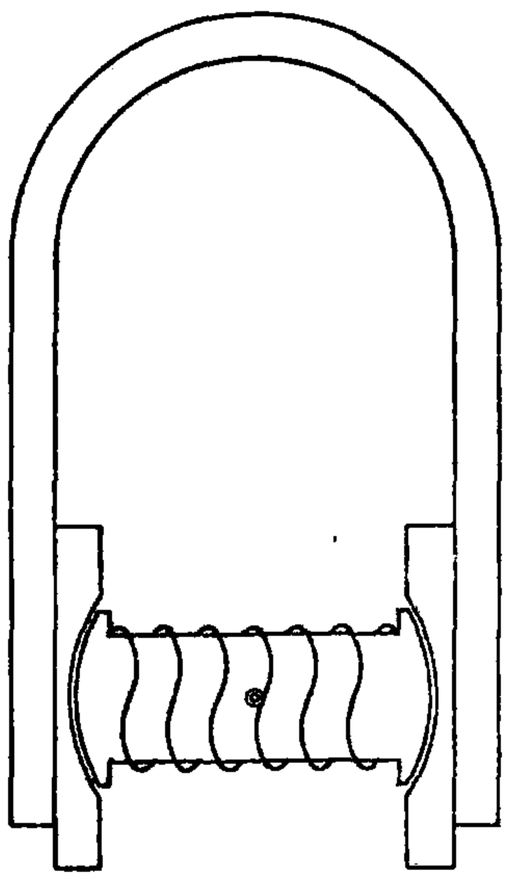
Примечание. Напряжение холостого хода И. около 120—150 V.

меняется зубчатая передача, при чем маленькая шестерня насажена на ось, большая укреплена на стойке. В таблице даны величины, характеризующие наиболее распространенные типы индуктора.

Указанные выше И. ручного типа применяются в аппаратах местной батареи и в коммутаторах станций небольших емкостей.



Фиг. 1.



Фиг. 2.

На станциях с большой нагрузкой применяются машинные И., т. е. приводимые в движение электромотором. Форма кривой тока индуктора не чисто синусоидальная. **М. Касимов.**

ИНДУКЦИИ ЗАКОН, открытый Фарадеем (1832 г.), обычно формулируется след. обр.: «при изменении потока магнитной индукции, проходящего через замкнутый электрический контур, в этом контуре возникает индуктированная электродвижущая сила, пропорциональная числу магнитных силовых линий, перерезывающих за единицу времени данный контур». Число N силовых линий, или, вернее, «силовых трубок», определяют т. о., чтобы их плотность, т. е. количество трубок, приходящееся на единицу площади поперечного сечения, численно равнялось магнитной индукции B, выражаемой в гауссах. При таких условиях И. з. выражается математической ф-лой:

$$\Sigma Ri = -\frac{dN}{dt}, \qquad (1)$$

где ΣRi—сумма падений напряжения во всех частях замкнутого контура. По закону Кирхгофа, эта сумма при отсутствии эдс должна равняться нулю; поэтому выражение $-\frac{dN}{dt}$ называют эдс индукции. Эта эдс направлена всегда т. о., чтобы противодействовать причине, создающей индуктированный ток (закон Ленца). Картина силовых трубок, перерезывающих проводник, помогает быстро ориентироваться в распределении индуктированных токов, однако, в сложных случаях эта картина может вместо облегчения способствовать затемнению вопроса. И, действительно, большое число изобретателей под влиянием этого представления тратят много времени для создания невозможных усовершенствований, гл. обр. в области униполярных машин (см. *Динамомашина*). В настоящее время более целесообразно иначе подходить к истолкованию явлений индукции. Мы будем различать два случая: 1) когда все тела неподвижны относительно наблюдателя и 2) когда они перемещаются.

Неподвижные тела. Закон Кирхгофа применим только в случае стационарного поля, когда отсутствуют вихри вектора напряженности электрич. поля. В этом случае все электрич. силовые линии, к-рые можно нарисовать в поле, имеют начало и конец. Электрич. поле создается зарядами или эдс аккумуляторов, термоэлементов и т. п. Закон Кирхгофа оказывается неприменимым при нестационарном поле. Если магнитный поток изменяется по времени, то это явление всегда связано с наличием вихревого электрического поля. Электрич. силовые линии, изображающие это поле, не имеют ни начала ни конца. Т. о., линейный интеграл вектора напряженности электрич. поля, или, что то же самое, электрич. напряжение вдоль замкнутой линии, охватывающей пульсирующий поток, не равно нулю. Скорость уменьшения магнитного потока называется магнитным спадом, $-\frac{d\Phi}{dt}$ (поток считается положительным в направлении, связанном по правилу штопора с положительным направлением, выбранным вдоль замкнутой линии, охватывающей поток). Поэтому И. з. в неподвижных относительно наблюдателя телах можно формулировать след. обр.: электрическое напряжение U по замкнутому контуру, охватывающему магнитный поток, равняется магнитному спаду. В знаках:

$$U = -\frac{d\Phi}{dt} \qquad (2)$$

или

$$\oint_L \boldsymbol{E}\, d\boldsymbol{r} = -\frac{d}{dt}\int_S \boldsymbol{B}\, d\boldsymbol{S}. \qquad (3)$$

Так как, по теореме Стокса,

$$\oint_L \boldsymbol{E}\, d\boldsymbol{r} = \int_S \operatorname{rot} \boldsymbol{E}\, d\boldsymbol{S},$$

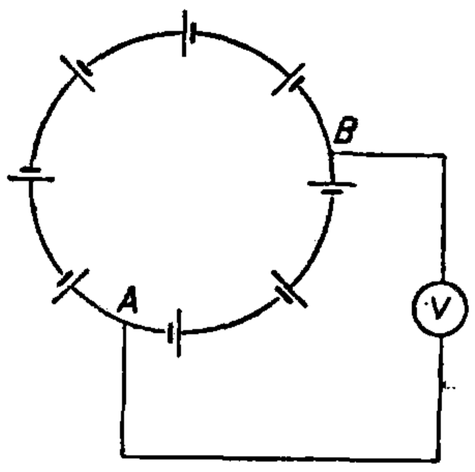
то ф-лу (3) можно выразить в дифференциальной форме в виде ур-ия

$$\operatorname{rot} \boldsymbol{E} = -\frac{d\boldsymbol{B}}{dt}. \qquad (4)$$

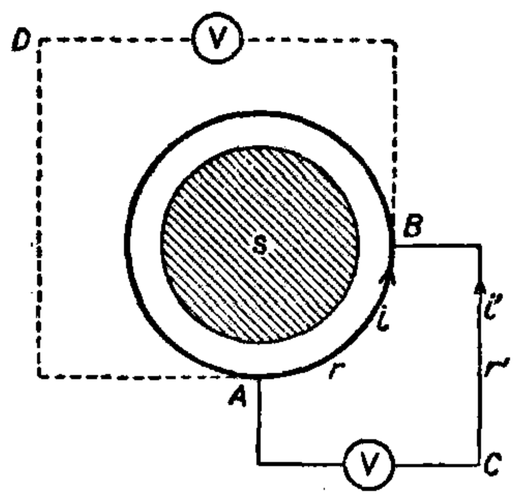
Это—одно из ур-ий Максвелла. Электрич. поле связано с пульсирующим магнитным потоком независимо от наличия проводников в поле. Если насадить на стержень трансформатора кольцевую вакуумную трубку, то движение электронов, находящихся в этой трубке, будет ускоряться в вихревом электрич. поле, окружающем трансформатор. Если заменить вакуумную трубку обыкновенным медным витком, то этот медный виток будет играть роль зонда, позволяющего обнаружить наличие электрич. поля, существовавшего вокруг трансформатора и до помещения витка. Напряжение обхода в этом витке отлично от нуля не потому, что в нем возникает эдс, а потому, что поле переменного тока, существующее в трансформаторе, нестатическое, в нем нет потенциала, и напряжение обхода по замкнутому витку равно магнитному спаду. Формально магнитный спад играет роль эдс. Когда говорят об индуктированной эдс, то этим хотят для удобства нестатическое электрическое поле формально рассматривать как статическое. Правильнее говорить об индуктированном напряжении,

а не об эдс, ибо на самом деле в цепях переменного тока обыкновенно не бывает эдс. За последнее время, в особенности в германской литературе, часто встречается выражение «индуктированное напряжение» вместо «индуктированная эдс».

Это утверждение можно пояснить следующим примером. Если замкнуть на себя ряд последовательно включенных гальваническ. элементов через равномерно распределенные сопротивления, то напряжение между двумя любыми точками образованной т. о. цепи не превышает напряжения одного элемента.



Фиг. 1.



Фиг. 2.

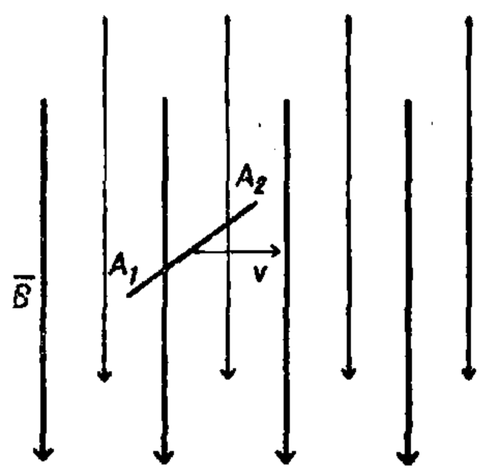
Чтобы в этом убедиться, достаточно присоединить вольтметр к двум точкам A и B рассматриваемой цепи (фиг. 1). Электрич. поле, окружающее элементы, определяется силовыми линиями, идущими от положительных полюсов к соседним отрицательным. Во многих учебниках такое расположение в последовательно включенных элементах приводится для объяснения явления индукции. Если, напр., вокруг стержня трансформатора поместить замкнутый виток, то в этом витке появляется электрич. ток. Этот виток охватывает магнитный поток, пульсирующий через сечение S стержня трансформатора. Эдс, возникающую в витке, представляют себе равномерно распределенной по всему витку. Получается как бы последовательное соединение бесконечно большого числа бесконечно малых эдс. Эдс, возникающая в отрезке AB витка, в точности компенсируется падением напряжения в этом отрезке. Т. о., «разность потенциалов» между любыми точками A, B нашего витка должна равняться нулю. На самом деле, однако, вольтметр, присоединенный к точкам A, B, п о к а ж е т н а п р я ж е н и е, при чем это напряжение будет различным в зависимости от того, как присоединить провода к вольтметру. Вольтметр, включенный в контур ACB (фиг. 2), покажет другое напряжение, чем вольтметр, включенный в контур ADB. Рассмотрим контур $ABCA$. Предположим, что ток i достаточно мал и что мы поэтому можем пренебрегать потоком рассеяния, проходящим через поверхность, окаймленную контуром $ABCA$. Тогда, по закону Кирхгофа,

$$ir - i'r' = 0, \quad \text{или} \quad i'r' = ir\,.$$

Если бы в отрезке AB имелась эдс $E_{AB} = ir$, то мы имели бы $i = 0$, т. е. вольтметр не показывал бы напряжения.

Следует упомянуть, что В. Ф. Миткевич придерживается другой точки зрения, сильно распространенной среди ленинградских инженеров-электриков, и считает, что явления индукции создаются реально существующими магнитными кольцами (см. лит.).

Д в и ж у щ и е с я т е л а. Движение тел в постоянном магнитном поле следует рассматривать не так, что тела эти «перерезают» магнитные силовые линии или трубки. Нетрудно доказать, что самое существование таких трубок противоречит ур-иям Максвелла. Т. к. каждое магнитное поле создается электрич. токами (движением электронов или токами смещения), то всегда можно определить движение данного тела относительно этих токов. Рассмотрим движение электрона со скоростью $\boldsymbol{v}$ в поле магнитной индукции $\boldsymbol{B}$. Обозначим через $-e$ заряд электрона. Тогда во время движения на него будет действовать сила, равная векторному произведению $-e[\boldsymbol{vB}]$. Если в постоянном магнитном поле движется материальное тело, напр. медный стержень A_1A_2, то на каждый его электрон или протон будет действовать соответствующая сила, зависящая от скорости движения данной частицы. Эта скорость является суммой двух скоростей: скорости $\boldsymbol{v}$ переносного движения стержня, общей для всех его точек, и скорости $\boldsymbol{v}_1$, различной для каждой частицы. При статистическом (макроскопическом) рассмотрении явления скорость $\boldsymbol{v}_1$ может быть оставлена без внимания, потому что в сумме для всех частиц, беспорядочно движущихся в стержне, скорости $\boldsymbol{v}_1$ не дают видимого изменения тела. Поэтому можно рассматривать явление т. о., как если бы благодаря движению стержня на все его электроны и протоны действовало электрическое поле с напряженностью $[\boldsymbol{vB}]$ (сила, действующая на единицу положительного заряда). На фиг. 3 скорость $\boldsymbol{v} \perp \boldsymbol{B}$; поэтому электрич. поле будет иметь напряженность $\boldsymbol{vB}$ и будет толкать протоны по направлению $[\boldsymbol{vB}]$, а электроны—в противоположном направлении, т. е. к точке A_1. Протоны будут оставаться на месте, а электроны будут накопляться в A_1 и уходить из A_2. Т. о., в A_1 будет возникать отрицательный заряд, а в A_2—положительный заряд. Эти заряды создают электрич. поле $\boldsymbol{E}$, направленное от A_2 к A_1, т. е. противодействующее полю $[\boldsymbol{vB}]$. Равновесие наступит тогда, когда в каждой точке $\boldsymbol{E}$ будет в точности компенсировать $[\boldsymbol{vB}]$, т. е. когда будет



Фиг. 3.

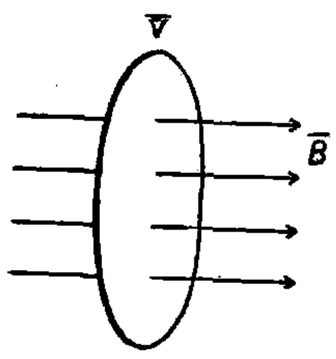
$$\boldsymbol{E} = -[\boldsymbol{vB}]\,,$$

откуда

$$E = vB\,.$$

Если стержень имеет длину l, то, т. о., между концами его благодаря зарядам возникает электрич. напряжение U, равное линейному интегралу вектора $\boldsymbol{E}$, т. е. $U = Bvl$. Если во время движения соединить концы стержня при помощи скользящих контактов с зажимами вольтметра, то вольтметр покажет напряжение U. То же напряжение возникает и в стержнях динамомашины и называется обычно «эдс вращения». Рассмотрим теперь медную шайбу (фиг. 4), вращающуюся в постоянном магнитном поле с угловой скоростью ω. В этом случае опять на каждую ча-

стицу будет действовать в среднем электрическом поле $[\boldsymbol{vB}]$. Это поле направлено радиально и притом, при выбранном направлении скорости $\boldsymbol{v}$, от центра к периферии; следовательно, электроны будут накопляться вблизи центра до тех пор, пока возникшее радиальное поле $\boldsymbol{E}$, направленное от периферии к центру, будет компенсировать поле $[\boldsymbol{vB}]$. Тогда в любой точке на расстоянии r от оси вращения будет $E=B\omega r$.



Фиг. 4.

Следует отметить, что в этом случае

$$\operatorname{div}\boldsymbol{E}=\operatorname{div}B\,\omega\boldsymbol{r}=2B\omega.$$

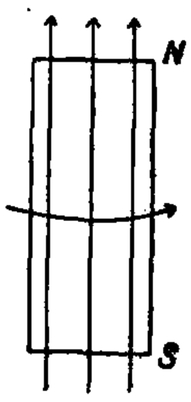
Т. о., внутри вращающегося цилиндра будет равномерно распределен электрич. заряд. Однако, плотность этого заряда ничтожна и равна $2\cdot 0{,}884\,B\omega\cdot 10^{-21}$ $C/см^3$.

Это поле создает электрич. напряжение вдоль любого радиуса от периферии к центру:

$$U=\int_0^a B\omega r\,dr=B\omega\frac{a^2}{2},$$

где a—радиус шайбы. Если установить в центре шайбы и на периферии два скользящих контакта, то по проводам, соединяющим эти контакты, пройдет электрич. ток. Аналогичное рассуждение позволяет определить электрич. напряжение, возникающее между осью и боковой поверхностью цилиндрического магнита, вращающегося вокруг своей оси (фиг. 5).

В перечисленных случаях форма тела давала возможность установиться в данном магнитном поле определенному равновесию. Нетрудно убедиться, что в общем случае такого равновесия не бывает и при движении тел в магнитном поле возникают электрические токи. Когда тело вращается с угловой скоростью ω вокруг оси, параллельной единичному вектору $\boldsymbol{k}$ в магнитном поле $\boldsymbol{B}$, то в этом случае создается внутри тела вихревое электрическое поле, при чем



Фиг. 5.

$$\operatorname{rot}\boldsymbol{E}=[\boldsymbol{B}\bar{\omega}],$$

где $\bar{\omega}=\boldsymbol{k}\omega$. В предыдущих примерах было $[\boldsymbol{B}\bar{\omega}]=0$. Если же $\boldsymbol{B}$ направлено под углом к $\bar{\omega}$, то в теле возникают вихревые токи, точное вычисление которых в общем случае весьма затруднительно. Если тело движется в магнитном поле, изменяющемся по времени, то при вычислении индуктированных токов надо учитывать изменение потока, происходящее по двум причинам: изменение во времени индукции $\boldsymbol{B}$ и изменение положения тела. Создаваемые т. о. вихревые поля просто накладываются друг на друга, и $\operatorname{rot}\boldsymbol{E}$ получает в любой точке движущегося тела выражение

$$\operatorname{rot}\boldsymbol{E}=-\frac{\partial\boldsymbol{B}}{\partial t}+\operatorname{rot}[\boldsymbol{vB}],$$

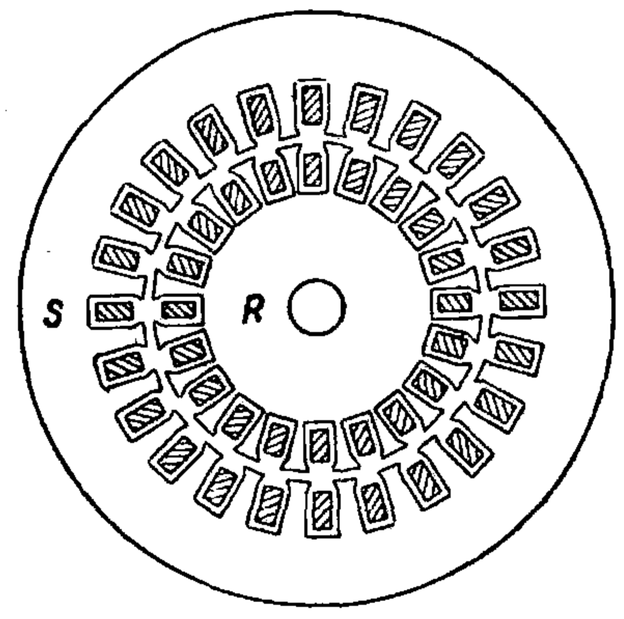
где $\boldsymbol{v}$—линейная скорость движения рассматриваемой точки. Интегрирование этого ур-ия представляет весьма большие трудности, но в практических задачах электротехники приходится большей частью встречаться с такими формами, где это интегрирование чрезвычайно упрощается.

Лит.: Поль Р., Введение в учение об электричестве, М.—Л., 1929; Тамм И. Е., Основы теории электричества, т. 1, М.—Л., 1929; Миткевич В. Ф., Физич. основы электротехники, ч. 1, М.—Л., 1928; Эйхенвальд А. А., Теоретич. физика, ч. 1—Теория поля, М.—Л., 1928; Cohn E., Das Elektromagnetische Feld, B., 1927; Abraham M., Theorie d. Elektrizität, B. 1, 7 Aufl., B.—Lpz., 1923; Disselhorst, Elektrodynamik, Handbuch d. Elektrizität u. d. Magnetismus, hrsg. v. L. Graetz, Leipzig, 1918—23; Spielrein J., Lehrbuch der Vektorrechnung, Stg., 1926; Spielrein J., Über ungeschlossenen Wirbellinien, «Archiv für Elektrotechnik», Berlin, 1926, B. 17; Gans R., Einführung in d. Vektoranalysis, 5 Aufl., B.—Lpz., 1923; Frenkel J., Lehrbuch der Elektrodynamik, B. 1—2, B., 1926—28. **Я. Шпильрейн.**

ИНДУКЦИОННЫЕ МАШИНЫ, электрич. машины переменного тока, возбуждаемые со стороны первичной цепи переменным током, имеющие электрически независимые первичную и вторичную обмотки и вращающиеся с изменяющейся от нагрузки скоростью. Они разделяются на бесколлекторные (асинхронные) и *коллекторные машины* (см.). Существует и промежуточный тип двигателей, вторичная обмотка к-рых связана с первичной электрически и индуктивно (напр. сериесный коллекторный двигатель). У бесколлекторных машин первичная часть соединена с источником переменного тока, а вторичная часть связана с первой трансформаторным путем и замкнута накоротко. Асинхронные бесколлекторные машины имеют наибольшее распространение в качестве двигателей. В отдельных случаях они применяются как генераторы, трансформаторы фазы и напряжения, преобразователи частоты и индукционные катушки.

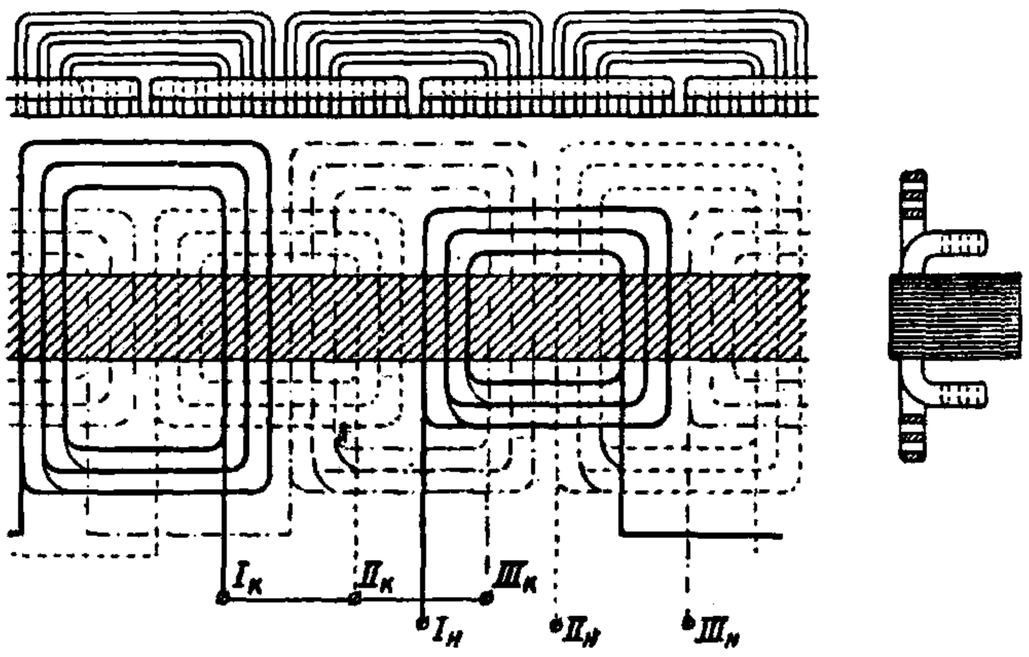
Асинхронные бесколлекторные машины применяются как для однофазного, так и для многофазного тока. В последнем случае подавляющее распространение имеет трехфазный ток.

1. Основные элементы машины. Первичная часть машины обычно находится на неподвижной части, называемой статором, а вторичная—на вращающейся, носящей название ротора; но возможно и обратное распределение этих частей. Статор S и ротор R асинхронной машины (фиг. 1) выполняются из листового железа, толщ. обыкновенно 0,5 *мм*, проклеенного с одной стороны бумагой, толщиной 0,05 *мм*, для уменьшения потерь от токов Фуко. В этих листах проштамповываются пазы, в которые укладывается обмотка. В маленьких машинах пазы изготовляются с непараллельными стенками таким образом, чтобы зубцы имели стенки параллельные, в более крупных машинах пазы имеют параллельные стенки. Для уменьшения сопротивления намагничивающей цепи пазы асинхронных машин обычно изготовляют полузакрытого типа. В высоковольтных машинах с напряжением в 3 000 V и выше в последнее время стали применять открытые пазы, к-рые дают возможность употреблять шаблонную обмотку, пропитанную компаундной массой.



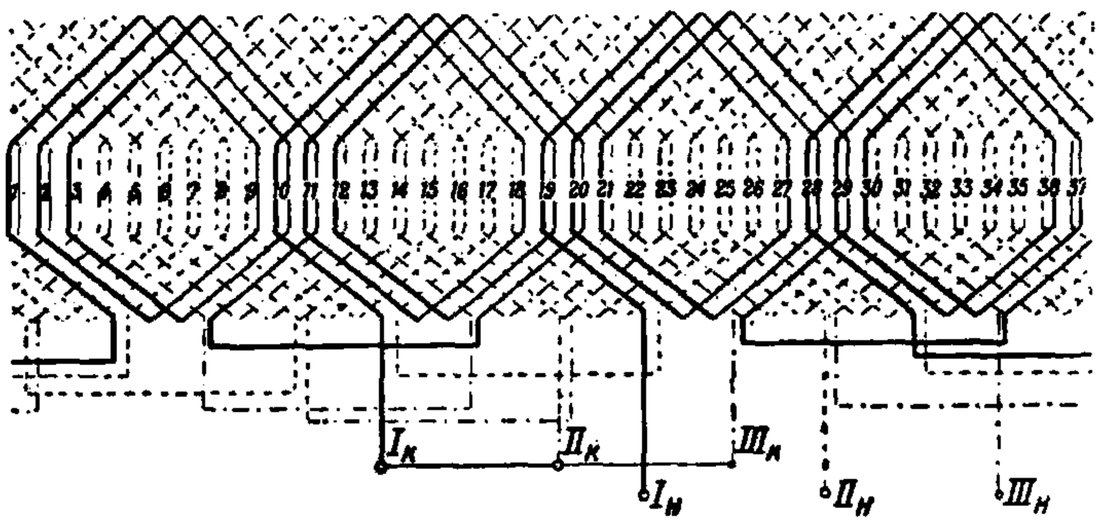
Фиг. 1.

2. Обмотки. При трехфазном токе обмотка выполняется на каждом двойном полюсном делении из трех систем катушек, оси к-рых сдвинуты относительно друг друга на 120 электрич. градусов ($^1/_3$ двойного полюсного



Фиг. 2.

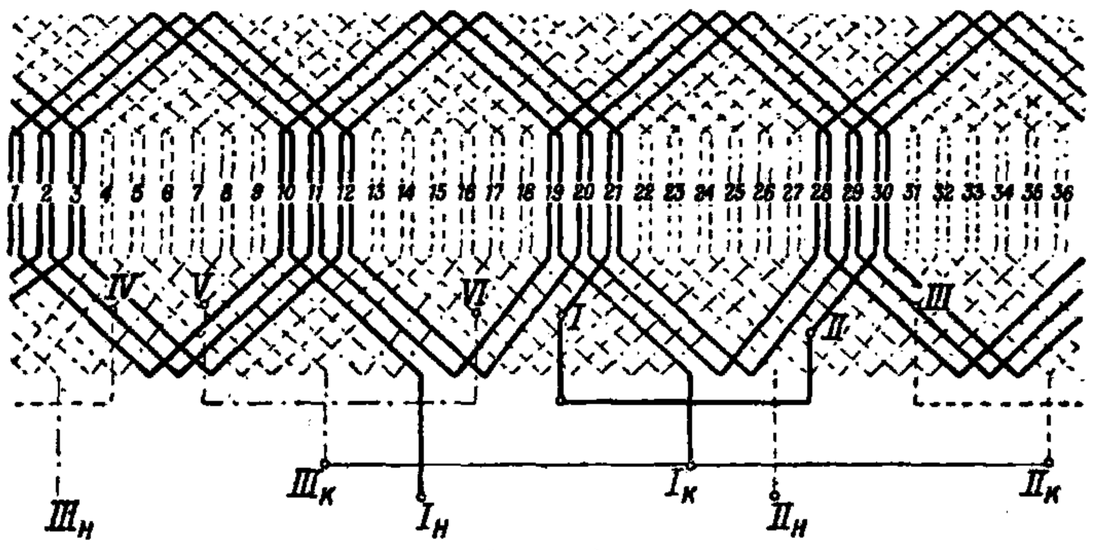
расстояния). Статорная обмотка соответствует обмотке якоря синхронной машины. Наиболее распространенной является катушечная обмотка с двухэтажным распределением головок, схематически изображенная на фиг. 2. Обмотка *I* фазы выделена жирными линиями, а *II* и *III*—изображена различными пунктирами. Начала и концы фаз отмечены соответствующими индексами (*н* и *к*). Все три фазы соединены на схеме в звезду. В последнее время под влиянием американской практики начали распространяться разрезанные обмотки постоянного тока с укороченным шагом ок. 0,8 полюсного деления τ. Схема такой обмотки с сокращением шага до 0,78 τ представлена на фиг. 3. Эти



Фиг. 3.

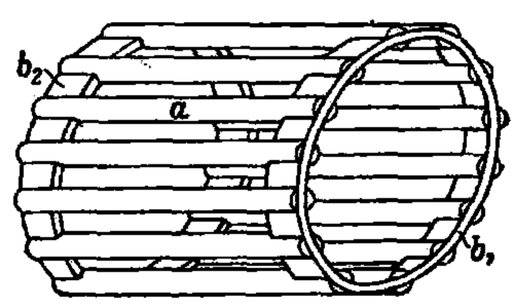
обмотки дают магнитодвижущую силу (мдс), весьма приближающуюся к синусоиде, т. к. благодаря сокращению шага до 0,8 τ исчезает 5-я гармоническая поля. Кроме того, эти обмотки по сравнению с катушечными дают лучшие условия в отношении нагрева. Роторные обмотки выполняются или в виде фазовых, выведенных на контактные кольца, или в виде короткозамкнутых. Наиболее распространенными типами фазовых обмоток являются: катушечная обмотка (фиг. 2), применяемая обычно в мелких машинах, и обегающая волновая обмотка, разрезанная на три части для образования трехфазной системы (фиг. 4). Удобство этой обмотки по сравнению с разрезанной обмоткой постоянного тока (фиг. 3), заключается в меньшем количестве соединительных проводов между разрезанными участками. Короткозамкнутые обмотки выполняются также и в виде беличьей клетки (фиг. 5). Она состоит из массивных стержней *a*, вкладываемых в пазы ротора без изоляции. Торцевые части стержней припаивают или приваривают к медным кольцам b_1 и b_2.

3. Вращающееся магнитное поле. Если к системе из трех катушек, оси к-рых сдвинуты в пространстве на 120 электрич. градусов, подвести токи, сдвинутые во времени на 120° (трехфазный ток), то они образуют результирующую мдс, ось которой в течение изменения тока на один период будет перемещаться по окружности статора и ротора на двойное полюсное деление, образуя вращающееся магнитное поле. На фиг. 6,а, согласно помещенной внизу рисунка диаграмме мгновенного распределения токов, ток в фазе *I'-I''* равен максимальному положительному значению, а в фазах *II'-II''* и *III'-III''*—половине максимального значения с обратным знаком, благодаря чему ось магнитного потока Φ совпадает с осью катушек фазы *I'-I''*. На фиг. 6, б взят момент

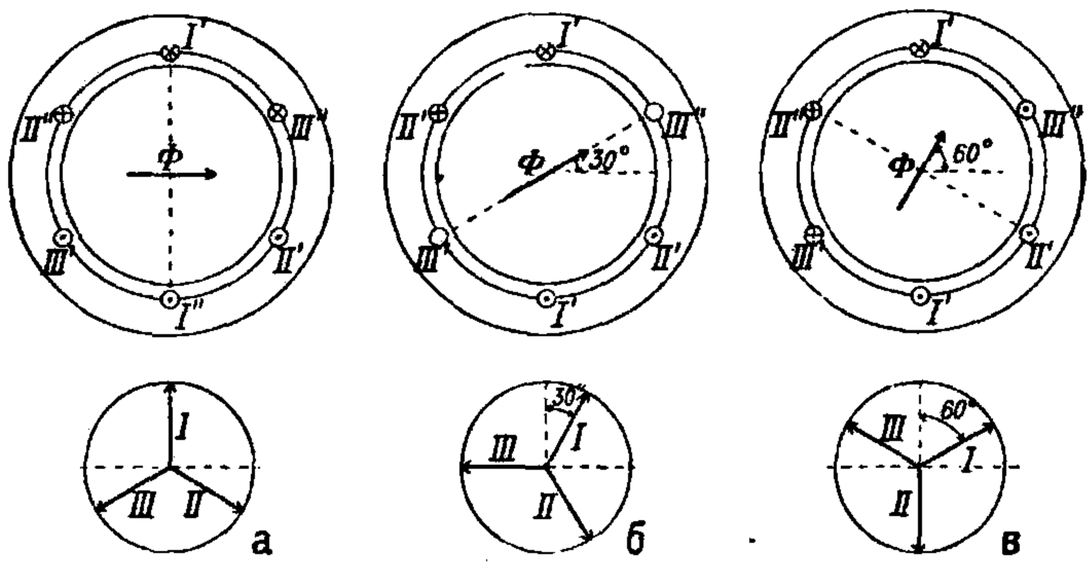


Фиг. 4.

через 30° во времени, когда ток в фазе *III'-III''* равен нулю, а в фазах *I'-I''* и *II'-II''* равен $\pm\frac{\sqrt{3}}{2}$ своего максимального значения, благодаря чему ось потока Φ сдвинулась по часовой стрелке на 30° в пространстве и совпадает с плоскостью катушек фазы *III'-III''*. На фиг. 6,в взят следующий момент, еще через 30° во времени, когда ток в фазе *II'-II''* равен максимальному отрицательному значению, а в фазах *I'-I''* и *III'-III''*—половине этого максимального значения, но с положительным знаком, благодаря чему ось потока Φ,



Фиг. 5.



Фиг. 6.

сдвинувшись на следующие 30° в пространстве, совпадает с осью катушек фазы *II'-II''*. Таким образом, каждому сдвигу тока во времени соответствует сдвиг оси магнитного потока на тот же угол в пространстве, благодаря чему и получается

вращающееся магнитное поле. Если обмотки питаются трехфазным током, то форма распределения мдс вдоль воздушного зазора не будет чисто синусоидальной, но будет иметь, кроме основной, еще и высшие гармоники поля, к-рые будут перемещаться со скоростью, соответствующей частоте и знаку данной гармоники (см. *Генератор переменного тока*). Скорость, с которой вращается основная синусоида мдс и поля, носит название синхронной. Если обозначить число пар полюсов машины через p, число периодов первичной цепи через f_1, то синхронная скорость (в об/м.)

$$n_{c.} = \frac{60\, f_1}{p} . \qquad (1)$$

4. Асинхронный двигатель. а) Принцип действия. Электрич. энергия, подводимая к первичной цепи многофазного асинхронного двигателя, превращается в магнитную, которая путем соответствующего размещения обмоток распределяется синусоидально вдоль воздушного зазора. Образующееся вращающееся магнитное поле пересекает вторичную обмотку и индуктирует в ней эдс, величина и число периодов которой пропорциональны относительной скорости ротора и поля. При замкнутой обмотке и неподвижном роторе эта эдс вызывает во вторичной цепи токи, к-рые, вступая во взаимодействие с полем, создают механич. усилия, направленные в сторону вращения поля. Так как статор неподвижно закреплен, то ротор начинает вращаться в направлении поля. Если первичная цепь находится на роторе, то он начинает вращаться против поля. Если при первичной системе на статоре довести ротор до синхронной скорости, то его проводники не будут пересекаться вращающимся полем, вследствие чего в них исчезнут эдс и ток, а следовательно, исчезнет и вращающий момент, увлекающий ротор в направлении вращения поля. Однако, трение и механич. потери, существующие и при отсутствии нагрузки, вызовут отставание ротора от магнитного потока, и в обмотке ротора появятся токи, к-рые создадут вращающий момент, необходимый для покрытия этих потерь. Т. о., ротор двигателя имеет стремление догнать поле, но не может достигнуть синхронизма, почему такой двигатель и носит название асинхронного. Отставание скорости ротора от скорости магнитного поля носит название скольжения. Если магнитное поле вращается со скоростью $n_{c.}$ об/м., а ротор—со скоростью $n_{p.}$ об/м., то скольжение можно представить ф-лой:

$$s = \frac{n_{c.} - n_{p.}}{n_{c.}} . \qquad (2)$$

Вращающий момент и скольжение находятся в тесной зависимости между собой. При холостом ходе двигателя, когда вращающий момент нужен только для покрытия потерь на трение в подшипниках и о воздух, ротор вращается со скоростью, ничтожно отличающейся от синхронной. При нагрузке двигателя вращение ротора замедляется, и скольжение возрастает. Так как в этом случае обмотка ротора перерезает большее число магнитных линий, то эдс и ток в ней возрастают, благодаря чему увеличивается и вращающий момент. В небольших двигателях скольжение при полной нагрузке достигает 5%, в средних и больших всего 1—1,5%. Так как у асинхронного двигателя изменение скорости при переходе от холостого хода к полной нагрузке весьма невелико, то в этом отношении он имеет полное сходство с шунтовым двигателем постоянного тока в случае его работы при постоянном напряжении на зажимах и постоянном возбуждении.

Если при неподвижном двигателе вращающееся магнитное поле индуктирует во вторичной системе эдс E_2, то при скольжении s эта эдс будет равна

$$E_{2s} = \frac{n_{c.} - n_{p.}}{n_{c.}} \cdot E_2 = s \cdot E_2 . \qquad (3)$$

Соответственно, частота вторичной цепи выразится уравнением:

$$f_2 = s \cdot f_1 . \qquad (4)$$

Разница скоростей поля и ротора

$$n_2 = n_{c.} - n_{p.} = \frac{60\, f_2}{p} , \qquad (5)$$

а потому скорость ротора

$$n_{p.} = n_{c.} - n_2 = n_{c.}\,(1 - s) . \qquad (6)$$

б) Асинхронный двигатель как трансформатор. Асинхронный двигатель при неподвижном роторе представляет короткозамкнутый трансформатор с вращающимся полем. При вращении ротора со скоростью $n_{p.}$ об/м. поле вращается относительно ротора со скоростью n_2 об/м., а относительно статора—со скоростью $n_{p.} + n_2 = n_{c.}$ об/м., т. е. с той же скоростью, с какой относительно статора вращается и основное поле. Т. о., при любых скоростях двигателя поле ротора и вращающееся поле имеют относительно неподвижного статора одну и ту же скорость. Это обстоятельство дает возможность привести вращающийся двигатель к статическому трансформатору, который по своему воздействию на первичную систему будет эквивалентен этому асинхронному двигателю. При неподвижном роторе вторичный ток двигателя

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + (2\pi f_1 L_2)^2}} = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + x_2^2}} , \qquad (7)$$

где R_2 и x_2—активное и реактивное сопротивления, а L_2—коэфф. самоиндукции (рассеяния) вторичной цепи. При вращении ротора со скольжением s

$$I_2 = \frac{sE_2}{\sqrt{R_2^2 + (2\pi f_2 L_2)^2}} = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + (2\pi f_1 L_2)^2}} = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + x_2^2}} . \qquad (8)$$

Выражения (7) и (8) отличаются только членом активного сопротивления. Этот член при вращении двигателя м. б. представлен в следующем виде:

$$\frac{R_2}{s} = R_2 + \frac{1 - s}{s} \cdot R_2 , \qquad (9)$$

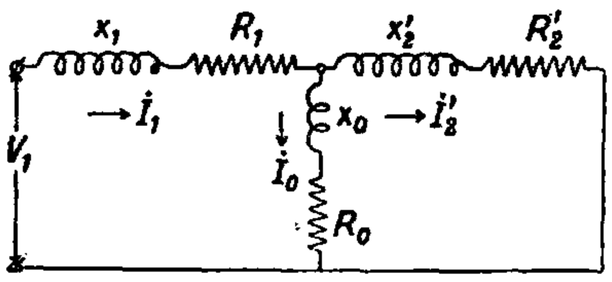
т. е. при вращении асинхронный двигатель будет эквивалентен статич. трансформатору, у к-рого вторичное активное сопротивление увеличивается добавлением члена $\frac{1-s}{s} \cdot R_2$, а реактивное сопротивление $x_2 = 2\pi f_1 L_2$

остается неизменным при всех скоростях. При неподвижн. двигателе скольжение $s = 1$, поэтому $\frac{R_2}{s} = R_2$, т. е. выражения (7) и (8) являются идентичными. При $s = 0$,

$$\frac{R_2}{s} = R_2 + \infty = \infty ,$$

благодаря чему вторичный ток I_2 равен 0, и двигатель не развивает никакой мощности. При $s = \pm\infty$, $\frac{R_2}{s} = 0$, поэтому вторичный ток становится реактивным и двигатель также не развивает вращающего момента.

Эквивалентная схема асинхронного двигателя, приведенная к статич. трансформатору, представлена на фиг. 7. Здесь R_1 и x_1 представляют активное и реактивное сопротивления первичной цепи, R_0 и x_0—сопротивления намагничивающего контура. Точно так же R'_2, x'_2 и I'_2 представляют сопротивления и ток вторичной цепи, приведенные к первичной цепи:



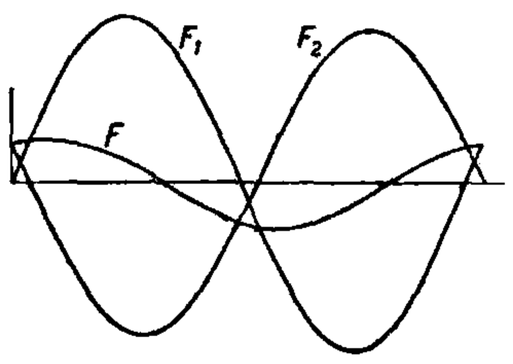
Фиг. 7.

$$R'_2 = R_2 \cdot \frac{m_1}{m_2}\left(\frac{w_1 k_1}{w_2 k_2}\right)^2 , \qquad (10)$$

$$x'_2 = x_2 \cdot \frac{m_1}{m_2}\left(\frac{w_1 k_1}{w_2 k_2}\right)^2 , \qquad (10a)$$

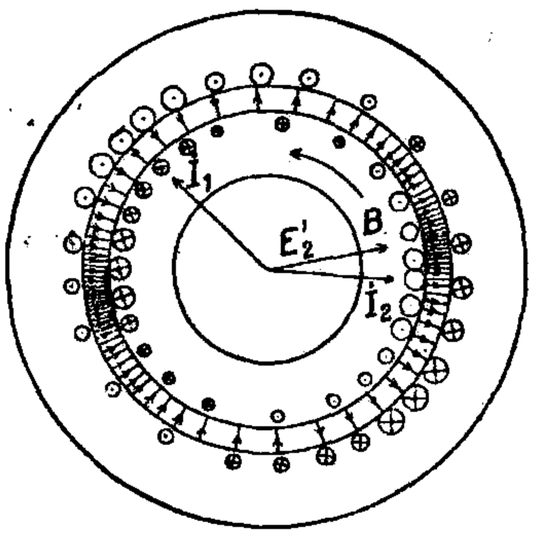
$$I'_2 = I_2 \cdot \frac{m_2 w_2 k_2}{m_1 w_1 k_1} . \qquad (11)$$

Здесь m_1 и m_2—числа фаз первичной и вторичной цепи, w_1 и w_2—числа витков этих цепей и k_1 и k_2—их коэффициенты обмоток. Выражение $\frac{1-s}{s}$. R'_2 представляет собою вышеупомянутый добавочный член, дающий возможность привести вращающийся двигатель к статическому трансформатору.



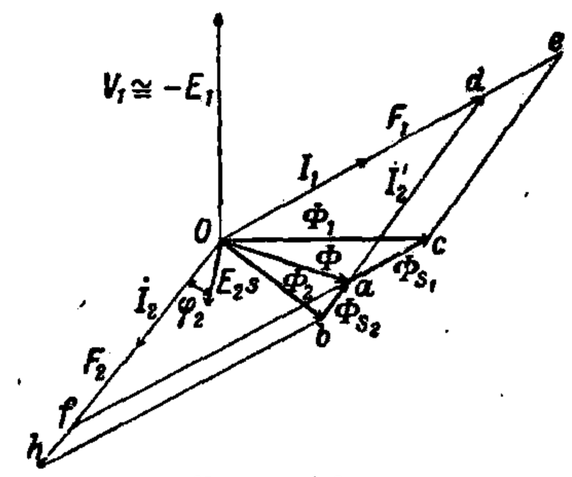
Фиг. 8.

При работе асинхронного двигателя его статорная и роторная обмотки обтекаются токами. К статору ток подводится из внешней цепи, в роторе же он индуктируется вращающимся магнитным полем. Обе мдс распределяются синусоидально вдоль воздушного зазора и двигаются вдоль него с одной и той же скоростью, сохраняя неизменное расположение одна относительно другой. Обе синусоиды F_1 и F_2 (фиг. 8) почти противоположны, но несколько сдвинуты одна относительно другой, при чем мдс статора F_1 несколько выше, чем мдс ротора F_2. Равнодействующая этих двух синусоид F дает ту намагничивающую мдс, к-рая создает магнитный поток взаимоиндукции статора и ротора, проходящий через воздушный зазор. Равнодействующая мдс F также синусоидальна и перемещается вдоль воздушного зазора с той же скоростью. Расположение мдс F_1,



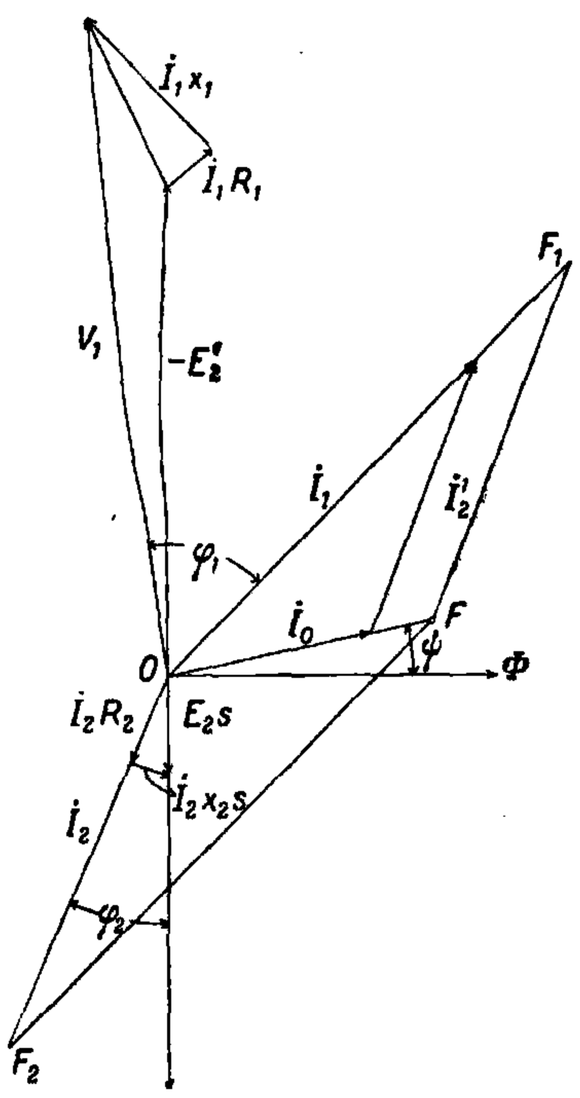
Фиг. 9.

F_2 и F представлено в полукартинном изображении на фиг. 9, где векторы токов I_1 и I_2, индукции B и индуктированной эдс в статоре E'_2 направлены к положительным максимумам этих величин соответственно выбранному моменту времени. Изменение этих величин во времени по отношению к нек-рой выбранной точке или проводнику статора является синусоидальным и происходит с частотой статора f_1; одновременно это изменение является синусоидальным и по отношению к любой выбранной точке ротора, но по отношению к ротору это изменение происходит уже с частотой вторичной системы $f_2 = sf_1$. Только с этой точки зрения возможно представлять первичные и вторичные переменные величины, имеющие различн. частоты, одной и той же векторной диаграммой. Поэтому векторы фиг. 9 м. б. использованы для изображения не только пространственных фаз, но также и временных фаз нескольких переменных, когда они рассматриваются или со стороны неподвижной или со стороны вращающейся части машины. Очевидно, что в действительности нет определенной разности фаз между токами в определенном проводе первичной системы и в каком-либо другом определенном проводнике вторичной системы, имеющей другую частоту.



Фиг. 10.

Подобно трансформатору асинхронный двигатель имеет следующие потоки (фиг. 10): поток взаимоиндукции Φ, проходящий через воздушный зазор и сцепляющийся одновременно с первичной и вторичной цепью; поток Φ_1, сцепляющийся полностью только с первичной цепью, и поток Φ_2, сцепляющийся со вторичной цепью. Поток Φ_1 составляется из геометрической суммы потока Φ и потока рассеяния первичной цепи $\overline{ac} = \overline{de} = \Phi_{s_1}$, т. е. $\bar{\Phi}_1 = \bar{\Phi} + \bar{\Phi}_{s_1}$. Точно так же поток рассеяния вторичной цепи $\overline{ab} = \overline{hf} = \Phi_{s_2}$ и $\bar{\Phi}_2 = \bar{\Phi} + \bar{\Phi}_{s_2}$. Поток рассеяния Φ_{s_1} совпадает по направлению с током I_1 и первичной мдс F_1; точно так же поток Φ_{s_2} совпадает по направлению с током I_2 и мдс F_2. Если пренебрегать активным падением напряжения в первичной цепи $I_1 R_1$, то поток Φ_1 индуктирует в первичной цепи электродвижущую силу E_1, которая уравновешивает приложенное напряжение V_1; поэтому при $V_1 = \text{Const}$ и $\Phi_1 \cong \text{Const}$.



Фиг. 11.

Полная векторная диаграмма асинхронного двигателя при учете активного первичного сопротивления представлена на фиг. 11: здесь — E'_2 представляет собою составляющую первичного напряжения, которая уравновешивает обратную эдс E'_2, индуктированную в первичной цепи потоком взаимоиндукции Φ; $E_{2s}=sE_2$—эдс, индуктированная потоком Φ во вторичной цепи и отстающая от этого потока на 90°. Ток вторичной системы I_2 отстает на угол φ_2 от эдс E_{2s} вследствие влияния реактивного сопротивления этой цепи $2\pi f_2 L_2 = sx_2$. Угол φ_2 определяется соотношением

$$\cos\varphi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2+(sx_2)^2}} \qquad (12)$$

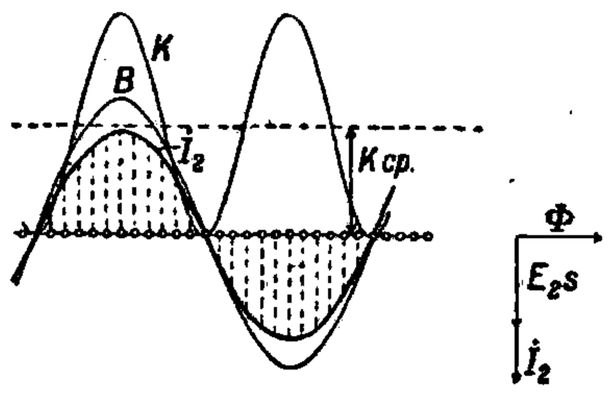
и меняется с изменением скольжения s. Сила тока в обмотке статора I_1 должна создавать вращающийся магнитный поток Φ и одновременно компенсировать размагничивающее действие тока I_2 вторичной обмотки. Если $\overline{OF_2}$ представляет мдс ротора, совпадающую по направлению с током I_2, а $\overline{OF}$—результирующую мдс, необходимую для создания потока взаимоиндукции Φ при отсутствии тока в роторе, то мдс статора должна равняться геометрическ. сумме векторов $\overline{OF_1} = \overline{OF} + \overline{FF_1}$. Последний вектор равен, но прямо противоположен мдс ротора $\overline{OF_2}$. Вектор $\overline{OF_1}$ в определенном масштабе одновременно выражает ток в статоре I_1. Результирующая мдс $\overline{OF}$ благодаря влиянию гистерезиса опережает вектор магнитного потока Φ на небольшой угол ψ.

Напряжение на зажимах первичной обмотки состоит из трех слагающих:

$$\overline{V}_1 = -\overline{E}'_2 + \overline{I}_1 R_1 + \overline{I}_1 x_1 . \qquad (13)$$

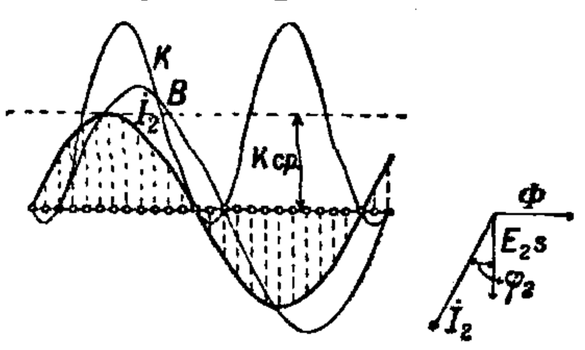
С возрастанием нагрузки и тока I_1 увеличиваются падения напряжения $\overline{I}_1 R_1$ и $\overline{I}_1 x_1$, поэтому начинает несколько уменьшаться эдс $-\overline{E}'_2$ и, пропорционально, поток взаимоиндукции Φ.

в) Вращающий момент и мощность. Рассмотрим для простоты работу двигателя с ротором в виде беличьей клетки. При нагрузке двигателя его ротор отстает от вращающегося поля, и в проводниках ротора индуктируются токи, число периодов которых пропорционально скольжению. При малых скольжениях реактивное сопротивление роторной обмотки sx_2 весьма мало по отношению к активному R_2, поэтому ток ротора I_2 практически совпадает по фазе с вызывающей его эдс sE_2. Т. к. кривая распределения величин эдс, индуктированных в отдельных проводниках ротора, совпадает в случае беличьей клетки с кривой распределения индукции вдоль воздушного зазора, а токи в проводниках пропорциональны эдс, то кривая распределения токов I_2 будет совпадать с кривой распределения индукции B (фиг. 12). Кривая K, пропорциональная



Фиг. 12.

произведениям значений I_2 и B для каждой точки, очерчивает ординаты, равные механич. силам, действующим в данный момент на отдельные провода ротора. Эта кривая неизменна для различных моментов времени и перемещается вместе с кривой распределения поля, откуда следует, что многофазные асинхронные двигатели дают для данной нагрузки постоянное среднее окружное усилие $K_{ср.}$ и постоянный вращающий момент, независимо от положения ротора. Если двигатель работает при столь значительном скольжении s, что реактивное сопротивление sx_2 становится уже достаточно большим по отношению к активному сопротивлению R_2, то сила тока I_2 начинает отставать по фазе от эдс sE_2 на угол φ_2, и кривые распределения тока I_2, поля B и окружных усилий K принимают вид, показанный на фиг. 13.



Фиг. 13.

Вследствие несовпадения кривых поля B и тока I_2, на нек-рую часть проводников будет действовать механич. сила K_1, направленная противоположно движению поля; в результате, при той же силе тока I_2 в роторе, среднее окружное усилие $K_{ср.}$ и вращающий момент получаются меньшие.

Мощность, передаваемая со статора на ротор,

$$P_e = \frac{M\cdot n_{c.}\cdot 2\pi}{60}\cdot\frac{736}{75} = \frac{M\cdot n_{c.}}{0{,}975}W , \qquad (14)$$

если вращающий момент измеряется в *кгм*, а скорость—в об/м. Ротор имеет скорость $n_{p.}$ об/м., поэтому на его окружности развивается мощность

$$P_{p.} = \frac{M\cdot n_{p.}}{0{,}975} - Q'_m = P_2 - Q'_m , \qquad (15)$$

где P_2—мощность на окружности ротора и Q'_m—механич. и добавочные железные потери двигателя. Разница мощности P_e и P_2, необходимая для образования тока в роторе, превращается в его обмотках в джоулево тепло. Потерями на токи Фуко и гистерезис в железе ротора $Q_{ж.2}$ при малой частоте $f_2 = f_1 s$ можно пренебречь, поэтому

$$Q_{м.2} = P_e - P_2 = \frac{M}{0{,}975}(n_{c.}-n_{p.}) = \frac{M}{0{,}975}\cdot sn_{c.} = sP_e = m_2 I_2^2 R_2 = m_1 (I_2)^2\cdot R'_2 . \qquad (16)$$

Т. о., передаваемая со статора на ротор мощность идет, с одной стороны, на создание полезной мощности на валу $P_{p.}$, а с другой стороны—на покрытие потерь в обмотке ротора $Q_{м.2}$ и механич. добавочных потерь Q'_m. Из предыдущего следует, что

$$P_2 = P_e\cdot\frac{n_{p.}}{n_{c.}} = P_e\frac{n_{c.}-n_2}{n_{c.}} = P_e(1-s) , \qquad (17)$$

$$\frac{Q_{м.2}}{P_e} = \frac{n_2}{n_{c.}} = s \qquad (18)$$

и

$$\frac{P_2}{Q_{м.2}} = \frac{n_{p.}}{n_2} = \frac{1-s}{s} . \qquad (19)$$

Электрич. мощность $Q_{м.2}$, теряемая в роторе, пропорциональна скольжению s и зависит от сопротивления R_2, поэтому для получения хорошего кпд R_2 д. б. возможно меньше.

Мощность P_e может быть выражена также и через электрические величины двигателя:

$$P_e = m_2 E_2 I_2 \cos\varphi_2 , \qquad (20)$$

где

$$E_2 = \pi\sqrt{2}\ w_2 k_2 f_1 \Phi \cdot 10^{-8} \text{ вольт.} \qquad (21)$$

Из равенств (14), (1), (20) и (21) следует, что момент (в *кгм*)

$$M = 7{,}22\, m_2 w_2 k_2 p I_2 \Phi \cos\varphi_2 \cdot 10^{-6} = \\ = k I_2 \Phi \cos\varphi_2 . \qquad (22)$$

Между потоком, сцепляющимся с некоторым витком, и эдс этого витка имеется сдвиг по фазе на 90°. Т. к. между током I_2 и эдс витка имеется сдвиг по фазе на угол φ_2, то между током I_2 и потоком Φ получается сдвиг по фазе на угол $(90+\varphi_2)$; поэтому в формуле (22) можно заменить $\cos\varphi_2$ через $\sin(90+\varphi_2)$ или $\sin(\Phi, I_2)$; отсюда

$$M = k I_2 \Phi \sin(\Phi, I_2) . \qquad (22a)$$

На поверхности и в толще зубцов статора и ротора получаются еще добавочные поверхностные и пульсационные потери $Q_д$. благодаря колебаниям величины поля от наличия зубцов. Эти добавочные потери $Q_д$. действуют на уменьшение полезного вращающего момента точно так же, как и механические потери Q_m, поэтому

$$P_{p.} = P_2 - Q'_m = P_2 - Q_m - Q_д . \qquad (15a)$$

Подведенная к статору мощность P_1 больше мощности P_e на величину джоулевых потерь в статорной обмотке $Q_{м.1}$ и потерь в железе на токи Фуко и гистерезис $Q_{ж.}$, поэтому

$$P_1 = m_1 V_1 I_1 \cos\varphi_1 = P_e + Q_{м.1} + Q_{ж.} = \\ = P_e + 3 I_1^2 R_1 + Q_{ж.} \qquad (23)$$

г) Максимальный вращающий момент. Заменяя в выражении (22) для вращающего момента M ток I_2 и $\cos\varphi_2$ их значениями из ф-л (8) и (12) и принимая во внимание ф-лу (21), получаем, что

$$M = k\Phi \frac{s E_2 R_2}{R_2^2 + (s x_2)^2} = k'\Phi^2 \frac{R_2 s}{R_2^2 + (s x_2)^2} . \qquad (24)$$

Пренебрегая относительно небольшим изменением потока Φ под влиянием первичных падений напряжения под нагрузкой и заменяя $k'\Phi^2$ через постоянную C, получаем, что

$$M = C \frac{R_2 s}{R_2^2 + s^2 x_2^2} . \qquad (24a)$$

При небольших скольжениях член $s^2 x_2^2$ ничтожно мал по сравнению с R_2^2, поэтому можно считать знаменатель постоянным и момент M пропорциональным скольжению. При дальнейшем увеличении скольжения знаменатель начинает возрастать, и момент увеличивается не пропорционально скольжению, а несколько меньше. При нек-ром определенном скольжении момент M достигает максимума и затем начинает уже уменьшаться. Для нахождения максимума момента нужно взять в выражении (24a) производную от M по s и приравнять ее нулю:

$$\frac{dM}{ds} = -C \frac{-\frac{R_2^2}{s^2} + x_2^2}{\left(\frac{R_2^2}{s} + s x_2^2\right)^2} = 0 . \qquad (25)$$

Т. к. в этом выражении при M неравном нулю знаменатель не м. б. бесконечно большим, то числитель должен равняться нулю. Отсюда условие для максимума момента имеет вид:

$$s = \frac{R_2}{x_2} . \qquad (26)$$

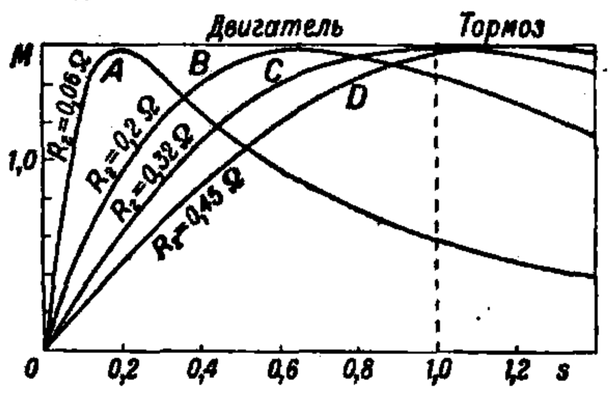
Этот максимум наступает при тем большем скольжении, чем больше отношение R_2 к x_2. Из выражения (26) можно заключить, что

$$\frac{R_2}{s x_2} = 1. \qquad (27)$$

Т. о., вращающий момент достигает максимума, когда реактивное сопротивление sx_2 равно активному R_2. Подставляя значение s из выражения (26) в формулу (24), получаем для максимального момента следующее выражение:

$$M_{max} = k' \frac{\Phi^2}{2x_2} . \qquad (24б)$$

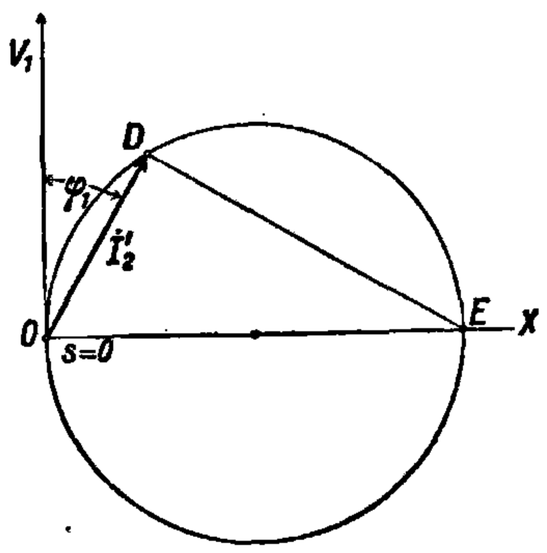
В это выражение не входит R_2, поэтому M_{max} не зависит от сопротивления ротора; но т. к. R_2 входит в общее выражение (24) для момента, то величина R_2 влияет лишь на то, при каком значении s момент M принимает максимальное значение.



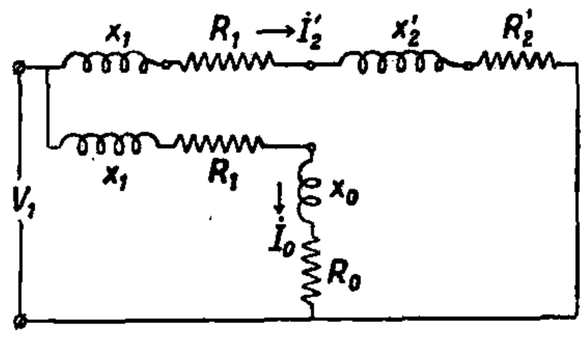
Фиг. 14.

На фиг. 14 представлена зависимость M от скольжения s для одного из двигателей при четырех различных значениях R_2, что достигается включением в ротор добавочного сопротивления. Хотя все кривые различны, но для всех значение M_{max} одно и то же. Т. к. по достижении максимального момента двигатель теряет устойчивость, то этот момент носит название опрокидывающего.

д) Начальный вращающий момент. На практике часто требуется, чтобы двигатель при пуске в ход развивал M_{max}. В этом случае, согласно ф-ле (27), R_2 д. б. равно x_2, т. к. $s=1$. Это достигается включением в цепь ротора такого добавочного сопротивления, чтобы $R_д + R_2 = x_2$. Для двигателя фиг. 14 в этом случае получается кривая момента C. Если в ф-лу (24) подставить $s=1$, то получится выражение для начального момента:



Фиг. 16.



Фиг. 15.

$$M_{н.} = k'\Phi^2 \cdot \frac{R_2}{R_2^2 + x_2^2} . \qquad (24в)$$

е) Приближенная круговая диаграмма. Если сопротивления R_1, x_1, R_2, x_2, R_0 и x_0 постоянны, то при изменении скольжения s конец вектора тока I_1 описывает окружность. Наиболее простой способ получения круговой диаграммы вытекает из приближенной эквивалентной схемы (фиг. 15), отличающейся от точной схемы (фиг. 7) тем, что намагничивающий контур

выносится на первичные зажимы. Благодаря этому нагрузочный ток I_2' становится независимым от тока холостого хода I_0. В этом случае

$$I_2' = \frac{V_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2}} = \frac{V_1}{z_n}. \quad (28)$$

Ток I_2' составляет с напряжением V_1 угол φ_1, определяемый соотношением

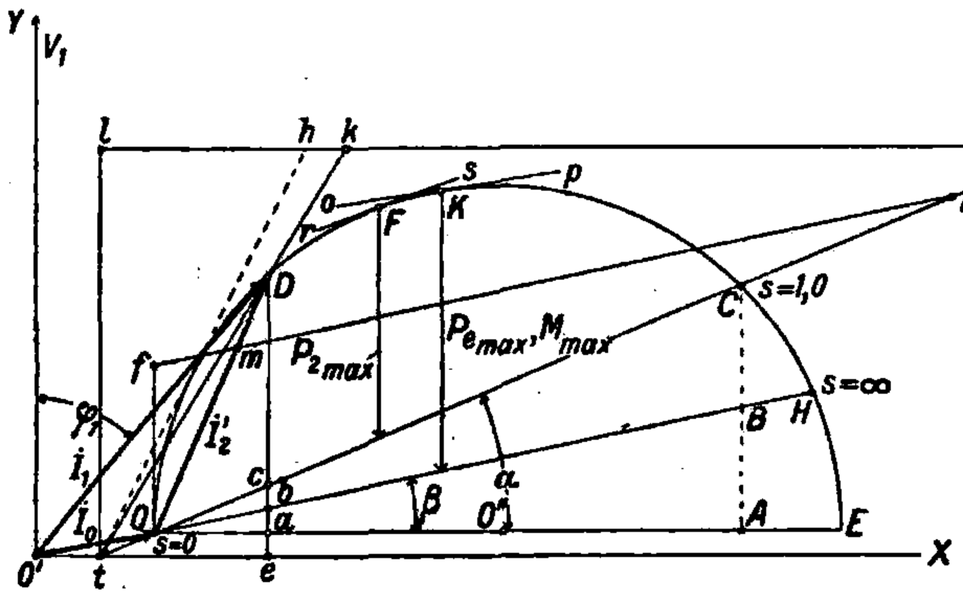
$$\sin\varphi_1 = \frac{x_1 + x_2'}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2}} = \frac{x_1 + x_2'}{z_n}. \quad (29)$$

При $s = 0$, $\sin\varphi_{1_0} = 0$ и $\angle\varphi_{1_0} = 0$.

Проведем (фиг. 16) перпендикуляр OX к направлению тока I_2' при $s=0$ и восстановим из конца D вектора тока $\overline{OD} = I_2'$ при каком-либо произвольном значении s перпендикуляр к линии $\overline{OD}$ до пересечения с линией OX в точке E. Докажем, что для любого I_2' $\overline{OE} = \text{Const}$. Действительно, принимая во внимание ф-лы (28) и (29), имеем:

$$\overline{OE} = \frac{\overline{OD}}{\sin\varphi_1} = \frac{I_2'}{\sin\varphi_1} = \frac{V_1 z_n}{z_n(x_1 + x_2')} = \frac{V_1}{x_n} = \text{Const}, \quad (30)$$

так как в выражение для $\overline{OE}$ не входит s. $\overline{OE}$ называется идеальным током короткого замыкания. Прибавляя геометрически к



Фиг. 17.

вектору тока $\overline{OD} = I_2'$ вектор тока холостого хода $\overline{OO'} = I_0$, получаем полную приближенную круговую диаграмму для результирующего первичного тока: $\overline{I_1} = \overline{I_2'} + \overline{I_0}$ (фиг. 17).

ж) Мощности и моменты в круговой диаграмме. Согласно ф-ле (23), можно мощность, переданную со статора на ротор, представить в следующем виде:

$$P_e = P_1 - 3I_1^2 R_1 - Q_{ж.} \cong$$
$$\cong P_1 - 3(I_2')^2 R_1 - 3I_0^2 R_1 - Q_{ж.1} \quad (31)$$

При увеличении скольжения потери на трение $Q_{m.}$ и добавочные $Q_{д.}$ уменьшаются и становятся равными нулю при $s = 1{,}0$, но взамен этого с увеличением скольжения возрастают потери в железе ротора $Q_{ж.2}$; поэтому можно приближенно принять, что $Q_{ж.2} + Q_{m.} + Q_{д.} \cong$ $\cong$Const. Обозначим сумму потерь $3I_0^2 R_1 + Q_{ж.1} + Q_{ж.2} + Q_{m.} + Q_{д.}$ через Q_0 и отнесем все эти потери к цепи намагничивающего контура; тогда можно считать, что

$$P_e \cong P_1 - 3(I_2')^2 R_1' - Q_0 \quad (32)$$

и

$$P_2 = P_e - 3(I_2')^2 R_2'. \quad (33)$$

При постоянной частоте f_1 мощность P_e, переданная со статора на ротор, выражает в масштабе синхронных ватт также и вращающий момент двигателя. Кпд двигателя

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}. \quad (34)$$

Скольжение двигателя, принимая во внимание формулу (16),

$$s = \frac{m_1 (I_2')^2 R_2'}{P_e}. \quad (35)$$

Все эти величины м. б. найдены и из круговой диаграммы (фиг. 17). Точка C соответствует току $I_{2к.}'$ короткого замыкания ($s=1$); поэтому, согласно ф-ле (30),

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{R_1 + R_2'}{x_1 + x_2'} = \frac{\overline{OE}}{V_1}(R_1 + R_2') = k \cdot \overline{OE}(R_1 + R_2'). \quad (36)$$

Деля вектор $\overline{CA}$ точкой B на отрезки $\overline{CB}$ и $\overline{BA}$, пропорциональные R_1 и R_2', имеем:

$$\operatorname{tg}\beta = k \cdot \overline{OE} \cdot R_1; \quad (37)$$

$$\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg}\beta = k \cdot \overline{OE} \cdot R_2'. \quad (38)$$

При коротком замыкании вектор $\overline{AC}$ выражает в масштабе первичной мощности джоулевы потери в первичной и вторичной цепях:

$$\overline{AC} = k \cdot (I_{2к.}')^2 \cdot (R_1 + R_2'); \quad (39)$$

$$\overline{BA} = k \cdot (I_{2к.}')^2 \cdot R_1; \quad (40)$$

$$\overline{BC} = k \cdot (I_{2к.}')^2 \cdot R_2'. \quad (41)$$

Принимая во внимание ф-лы (36), (37), (38) и то, что отрезок $\overline{Oa} = \frac{\overline{OD}^2}{\overline{OE}}$, получаем, что для вектора $I_2' = \overline{OD}$ при любом скольжении s отрезки $\overline{ac}$, $\overline{ab}$ и $\overline{bc}$ выражают соответственно в том же масштабе суммарные и отдельные джоулевы потери в обмотках статора и ротора; поэтому

$$\overline{ac} = \overline{Oa} \cdot \operatorname{tg}\alpha = k\ \overline{OD}^2 \cdot (R_1 + R_2') = k(I_2')^2(R_1 + R_2'); \quad (39a)$$

$$\overline{ab} = \overline{Oa} \cdot \operatorname{tg}\beta = k \cdot \overline{OD}^2 \cdot R_1 = k(I_2')^2 \cdot R_1; \quad (40a)$$

$$\overline{bc} = \overline{Oa}(\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg}\beta) = k\ \overline{OD}^2 \cdot R_2' = k(I_2')^2 R_2'. \quad (41a)$$

Вектор $\overline{ea}$ выражает в том же масштабе потери холостого хода Q_0. Т. о., первичная мощность P_1 выражается вектором De; мощность, переданная со статора на ротор P_e, и момент в синхронных ваттах—вектором $\overline{Db}$; мощность на валу двигателя P_2—вектором $\overline{Dc}$.

Скольжение

$$s = \frac{m_1 \cdot (I_2')^2 \cdot R_2'}{P_e} = \frac{\overline{bc}}{\overline{Db}}. \quad (34a)$$

Коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\overline{Dc}}{\overline{De}}. \quad (35a)$$

з) Определение скольжения из круговой диаграммы. Проводим линию $\overline{Of}$ перпендикулярно к линии OO'', проводим далее линию $\overline{fn}$ параллельно $\overline{OB}$ и получаем точку m на пересечении линии $\overline{fn}$ и $\overline{OD}$. Тр-к Obc подобен тр-ку Ofn, поэтому $\frac{\overline{bc}}{\overline{Ob}} = \frac{\overline{Of}}{\overline{fn}}$. Треугольник ObD подобен треугольнику Ofm, поэтому $\frac{\overline{Ob}}{\overline{bD}} = \frac{\overline{mf}}{\overline{Of}}$.

Перемножая эти равенства, получаем:

$$\frac{\overline{bc}}{\overline{bD}} = \frac{\overline{fm}}{\overline{fn}} = s .$$

Если разделить линию $\overline{fn}$ на 100 частей, то отрезок $\overline{fm}$ дает значение скольжения s в %. Таким способом можно легко определить скольжения, соответствующие различным точкам круговой диаграммы. Точка C соответствует скольжению $s=1$, точка H—скольжению $s=\pm\infty$ и точка O—скольжению $s=0$. Скольжение и точка круговой диаграммы K, соответствующие M_{max}, получаются проведением касательной op к кругу параллельно линии OH, соединяющей точки $s=0$ и $s=\pm\infty$. Точка F, соответствующая максимальной мощности $P_{e,\,max}$ получается проведением касательной rs параллельно линии OC.

и) Определение кпд из круговой диаграммы. Продолжаем линию CO до пересечения с осью абсцисс $O'X$ в точке t и проводим через эту точку линию tl перпендикулярно к линии OO'', т. е. в данном случае параллельно оси ординат $O'Y$. Проводим линию $\overline{ld}$ параллельно оси абсцисс $O'X$ и продолжаем линию $\overline{tD}$ и $\overline{tC}$ до пересечения с линией $\overline{ld}$ в точках k и d.

Тр-к tec подобен тр-ку tld, поэтому $\frac{\overline{ce}}{\overline{te}} = \frac{\overline{tl}}{\overline{ld}}$.

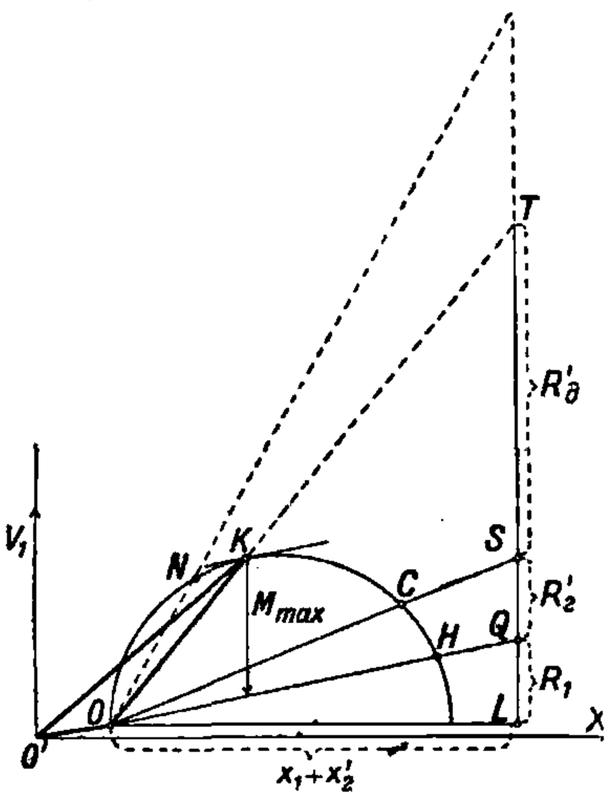
Тр-к tDe подобен тр-ку tlk, поэтому $\frac{\overline{te}}{\overline{De}} = \frac{\overline{lk}}{\overline{tl}}$.

Перемножая эти равенства, получаем $\frac{\overline{ce}}{\overline{De}} = \frac{\overline{lk}}{\overline{ld}}$, откуда

$$\frac{\overline{ld}-\overline{lk}}{\overline{ld}} = \frac{\overline{kd}}{\overline{ld}} = \frac{\overline{De}-\overline{ce}}{\overline{De}} = \frac{\overline{Dc}}{\overline{De}} = \eta .$$

Если разделить линию $\overline{ld}$ на 100 частей, то отрезок $\overline{kd}$ даст значение кпд в %. Точка l соответствует $\eta=0$, точка h, получаемая на продолжении касательной к кругу из точки t, соответствует η_{max}.

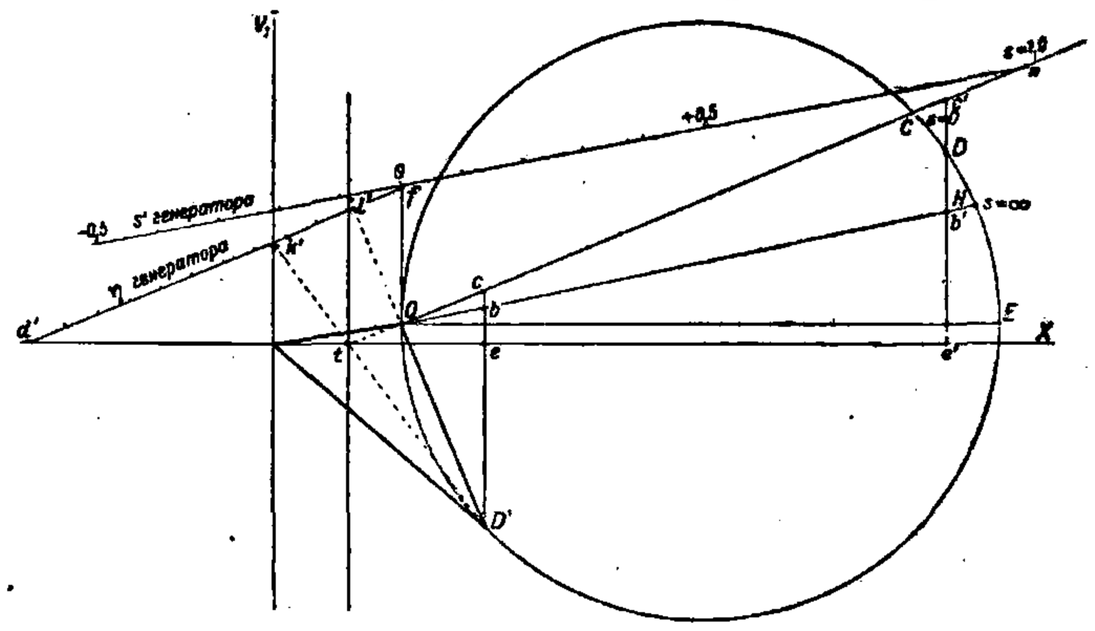
к) Влияние сопротивления ротора на начальный момент. Начальный момент выражается вектором $\overline{CB}$ (фиг. 17). Если отложить от точки O параллельно оси абсцисс сумму $x_1 + x_2'$ (фиг. 18) и от конца этого отрезка восставить перпендикуляр, то продолжения линий OH и OC отсекут на нем отрезки $\overline{SQ}$ и $\overline{QL}$, равные в том же масштабе сопротивлениям R_2' и R_1.



Фиг. 18.

При увеличении вторичного сопротивления с помощью введения добавочного сопротивления R_δ' точка короткого замыкания перемещается вверх по кругу, благодаря чему возрастает и начальный момент. Если увеличить сопротивление R_δ' до значения, равного $\overline{ST}$, то точка короткого замыкания станет в положение K опрокидывающего момента M_{max}, и двигатель будет пускаться в ход при максимальном вращающем моменте.

5. Асинхронный генератор. Асинхронная машина работает от точки короткого замыкания $s=1{,}0$ до точки холостого хода $s=0$ в режиме двигателя. Если при помощи постороннего двигателя увеличить ее скорость выше синхронной, то в этом случае ротор будет вращаться скорее поля с отрицательным скольжением $s<0$, благодаря чему изменяется направление тока в проводниках ротора и машина переходит в режим работы генератора. В данном случае изменяется знак вторичного тока I_2, компенсируемого гл. обр. активной составляющей первичного тока, I_1; поэтому двигатель продолжает работать с отстающим $\cos\varphi$, получая намагничивание из сети. Круговая диаграмма (фиг. 19)



Фиг. 19.

в нижней своей части выражает область работы асинхронной машины в качестве генератора. Скольжение в этом случае получается графически на продолжении линии fn влево от точки f, при чем масштаб для скольжений остается прежний, но они должны считаться отрицательными. Мощность на валу выражается отрезком $\overline{D'c}$, а полезная мощность, отдаваемая в сеть, отрезком $\overline{D'e}$. Кпд выражается отношением $\eta = \frac{\overline{D'e}}{\overline{D'c}}$. Для получения кпд из графическ. построения нужно провести линию $l'd'$ параллельно линии OC, соединяющей точки $s=1{,}0$ и $s=0$, до пересечения с линией tl' и осью абсцисс. Если разделить линию $\overline{l'd'}$ на 100 частей и провести через конец вектора тока D' линию $D'tk'$ до пересечения с линией $l'd'$, то отрезок $\overline{k'd'}$ даст кпд в %.

Асинхронные генераторы находят применение на небольших ветросиловых и гидроэлектрических станциях, т. к. пуск в ход их чрезвычайно прост и не требует синхронизирующих устройств. Кроме того, свойство асинхронного двигателя переходить в режим генератора при вышесинхронной скорости используется для рекуперации энергии на электрич. ж. д. при тяге трехфазными двигателями, а также при подъемных устройствах. Преимуществом асинхронного генератора по сравнению с синхронным является его простота и дешевизна, но недостатком является работа с отстающим $\cos\varphi$, т. к. асинхронный генератор намагничивается той же самой сетью, к-рой он отдает энергию. Последний недостаток м. б. преодолен при применении к асинхронному генератору трехфазного возбудителя (см. далее—о фазовых

компенсаторах), благодаря чему генератор может работать не только при $\cos\varphi=1$, но даже и при опережающем $\cos\varphi$.

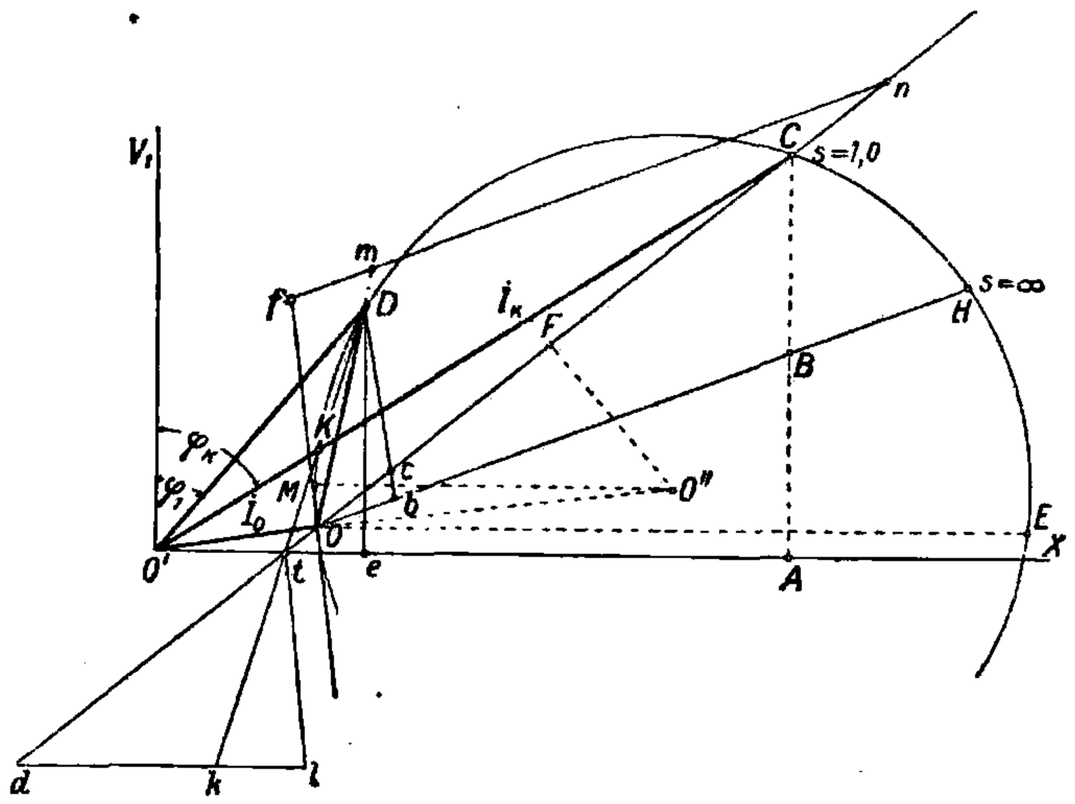
6. Электрический тормоз. Если вращать асинхронный двигатель против направления вращения поля ($s>1{,}0$), то он будет работать в режиме электрич. тормоза, поглощая электрическую энергию, подведенную из сети, и механич. энергию, подведенную к его валу. На круговой диаграмме эта область работы выражается отрезком круга между точками C и H, со скольжением $s=1{,}0$ и $s=\pm\infty$ (фиг. 17, 18 и 19). Для какой-либо точки D (фиг. 19), находящейся в области тормозного режима, подведенная электрич. мощность выражается отрезком $\overline{De'}$, момент на валу—отрезком $\overline{Db'}$ и мощность, подведенная к валу механич. путем,—отрезком $\overline{Dc'}$. Если при помощи увеличения вторичного сопротивления перевести точку со скольжением $s=1{,}0$ в точку N (фиг. 18), то при скольжении, соответствующем точке K, двигатель будет развивать наибольший тормозящий момент.

Электрич. тормоз находит себе применение, напр., при торможении подъемных механизмов при спуске груза или для быстрых остановок мощных двигателей с маховиком, для чего переключением двух фаз первичной цепи можно заставить двигатель вращаться против поля.

7. Точная круговая диаграмма. Приближенная круговая диаграмма не содержит в себе особо значительных погрешностей и дает достаточно точный результат при применении ее к хорошим двигателям с относительно небольшим намагничивающим током и не слишком значительн. реактивными сопротивлениями x_1 и x_2. Неточность этой диаграммы, однако, становится заметной при применении ее к мелким двигателям (напр. до 1 kW), у к-рых эти величины становятся относительно большими, благодаря чему центр круговой диаграммы O'' получается не на линии OE, а несколько выше. Если исходить из точной эквивалентной схемы (фиг. 7), то конец вектора тока и в этом случае описывает окружность.

Существуют различные способы для построения точной диаграммы, напр. Оссана (Ossana), Лакура (La Cour) и др., но они отличаются значительной сложностью, не оправдываемой повышением точности получаемых результатов. Если при построении исходить из данных опыта холостого хода и короткого замыкания, то в этом случае производится автоматически правильно учет влияния намагничивающего контура по схеме фиг. 7, и поэтому отпадают затруднения, связанные с применением приближенной схемы фиг. 15. По этим опытам, векторы тока I_0 и $I_к$. строятся след. обр. (фиг. 20). Соединяют концы этих векторов линией OC и в ее середине F восставляют перпендикуляр FO''. Соединяют точки O' и C прямой и из середины M дуги KO проводят линию MO'' параллельно оси абсцисс $O'X$ до пересечения с линией FO'' в точке O'', которая и будет центром круга, проходящего через точки O и C. При таком построении центр круга, по сравнению с фиг. 17, лежит выше линии OE. Это построение достаточно точно, если $R_1\cong R_2'$ и $x_1\cong x_2'$. Дальнейшее построение весьма сходно с приведенным выше построением для приближенной диаграммы.

Полезная мощность выражается отрезком $\overline{Dc}$, параллельным касательной к кругу в точке O, наклоненной вследствие повышения центра O'' к вектору напряжения V_1. Для нахождения точки круга со скольжением $s=\pm\infty$ опускают перпендикуляр из точки C для $s=1{,}0$ на ось абсцисс и отрезок $\overline{CA}$ делят на части $\overline{CB}$ и $\overline{BA}$, пропорциональные R_1 и R_2'. Продолжение линии OB пересекает круг в точке H со скольжением $s=\pm\infty$. Момент вращения определяется отрезком $\overline{Db}$, параллельным касательной Of. Первичная мощность выражается отрезком $\overline{De}$. Скольжение и кпд определяются в точной диаграмме подобным же образом, как и в приближенной, с той разницей, что линии Of



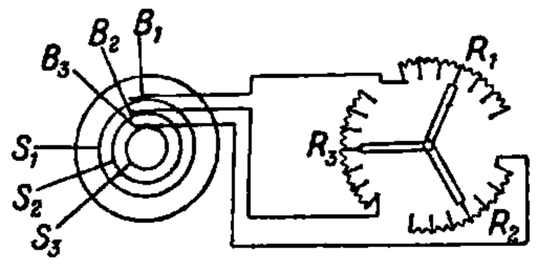
Фиг. 20.

и tl, параллельные оси ординат на фиг. 17, в точной диаграмме фиг. 20 д. б. параллельны касательной к кругу в точке O холостого хода при $s=0$.

8. Пуск в ход асинхронных двигателей. В начальный момент пуска в ход $\cos\varphi_2=\frac{R_2}{\sqrt{R_2^2+x_2^2}}$ относительно весьма невелик, так как x_2 в несколько раз больше R_2. Несмотря на то, что при пуске в ход ток в несколько раз больше нормального, вращающий момент получается непропорционально малым по сравнению с кратностью пускового тока. Введением добавочного сопротивления $R_{д.}$ при пуске можно одновременно уменьшить пусковой ток и увеличить $\cos\varphi$ и пусковой момент. Если $R_2+R_{д.}=x_2$, то, согласно формуле (26), пусковой момент достигает максимального значения при снижении пускового тока приблизительно на 40%. После того как двигатель пришел во вращение и $s<1{,}0$, величина $R_{д.}$ уже не соответствует значению M_{max}. Поэтому $R_{д.}$ при уменьшении скольжения s нужно непрерывно уменьшать, поддерживая, согласно ф-ле (26), соотношение $R_{д.}=sx_2-R_2$. Непрерывное изменение $R_{д.}$ в двигателе с кольцами достигается лишь посредством жидкостных реостатов, при применении же металлич. реостатов изменение $R_{д.}$ производится ступенями. В случае ступеней при пуске момент достигает значения M_{max} и затем начинает снижаться. После выключения какой-либо ступени сопротивления он

снова резко возрастает до M_{max}, затем снова снижается и т. д. Фазовая обмотка ротора трехфазного асинхрон. двигателя выводится на контактные кольца S_1, S_2 и S_3 с наложенными на них щетками B_1, B_2 и B_3, к к-рым присоединяется пусковой реостат с добавочными сопротивлениями R_1, R_2 и R_3 (фиг. 21).

9. Включение и выключение асинхронных двигателей. Асинхронные двигатели присоединяются к сети включением трехполюсного рубильника, без добавочных сопротивлений в статоре. Если ротор имеет фазовую обмотку, то сначала полностью вводят пусковой реостат ротора и затем, после включения статора, уменьшают сопротивление ротора до полного замыкания его накоротко. Для уменьшения сопротивления вторичной цепи при работе и уменьшения потерь на трение щеток о контактные кольца обыкновенно двигатели имеют приспособления для замыкания накоротко ротора на ходу, после чего щетки поднимаются. В высоковольтных двигателях с напряжением выше 3 000 V усиливается изоляция первых витков, соединенных с выходными зажимами, т. к. при включении напряжение распространяется по обмотке не мгновенно, а с нек-рой конечной скоростью; поэтому первый виток в момент включения может получить полное напряжение, в то время как при нормальной работе напряжение распределяется равномерно между всеми витками.



Фиг. 21.

В отличие от обычных двигателей, для защиты высоковольтных двигателей при включении применяют ступенчатые выключатели, при помощи к-рых между сетью и статором предварительно включается омическое или реактивное сопротивление, к-рое затем замыкается накоротко. Кроме того, до включения статора нужно ввести в ротор полное сопротивление пускового реостата, к-рый поэтому, в случае высоких напряжений, обычно делается без холостого контакта. При выключении двигателя сначала вводится все сопротивление пускового реостата, после чего уже отключается от сети статор. Благодаря этим мерам уменьшаются перенапряжения в обмотке статора.

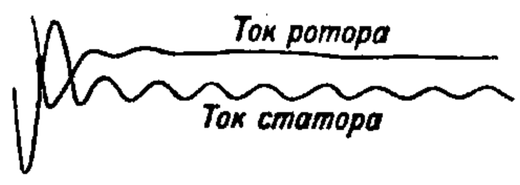
Если ротор имеет короткозамкнутую обмотку, выдерживающую пусковой ток при полном напряжении, то он включается в сеть простым включением статора. В момент включения вращающееся поле двигателя создается не мгновенно, а путем нек-рого переходного режима. В период этого переходного режима получается неподвижное поле Φ_n, которое затухает согласно ур-ию:

$$\Phi_n = -\Phi e^{-a_1 t}, \qquad (42)$$

где Φ—амплитуда вращающегося поля и $\frac{1}{a_1}$ равна постоянной времени кривой затухания. В момент включения $t = 0$, и поэтому $\Phi_n = -\Phi$, т. е. неподвижное поле Φ_n равно амплитуде вращающегося поля Φ. Если пустить двигатель в ход, выключить и затем снова включить его статор при почти полной скорости ротора, то в этом случае поле Φ_n индуктирует в роторе ток, силою

$$I_{2_к.} \cong \frac{V'_2}{\sqrt{R_2^2 + x_2^2}}, \qquad (43)$$

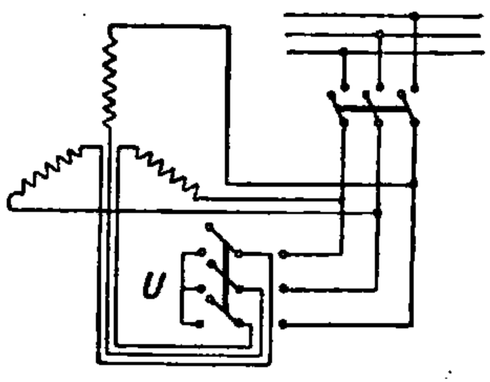
где V'_2—первичное напряжение, приведенное к вторичной цепи. Если приведенные сопротивления R'_2 и x'_2 приблизительно равны сопротивлениям R_1 и x_1, то толчок тока будет приблизительно в два раза больше, чем при нормальном коротком замыкании. На фиг. 22 представлены осциллограммы тока ротора и статора при таком включении.



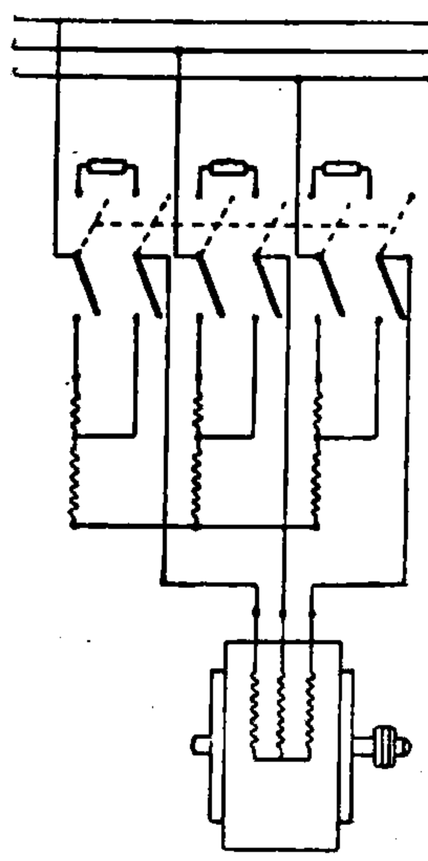
Фиг. 22.

10. Особые способы пуска короткозамкнутых двигателей. а) Переключение со звезды на треугольник (фиг. 23). При нормальной работе 3 фазы соединяются в тр-к, а при пуске в ход они с помощью переключателя U соединяются на звезду. Благодаря этому напряжение на концах каждой фазы и ток в ней уменьшаются в отношении $1 : \sqrt{3}$. Т. к. пусковой момент, согласно ф-ле (24в), пропорционален квадрату потока Φ^2, то при звезде он получается в три раза меньшим, чем при тр-ке; сила тока из сети при звезде получается также в три раза меньшей, чем при тр-ке. Этот способ дает возможность переключением на звезду при малых нагрузках получить более благоприятные условия работы двигателя в отношении кпд и $\cos\varphi$, чем при тр-ке (см. далее—о регулировании скорости изменением частоты и напряжения).

б) Пуск в ход при помощи автотрансформатора. Автотрансформатор (фиг. 24) дает возможность, подобно переключателю со звезды на тр-к, уменьшать одновременно пусковой ток и момент; но, в то время как первый имеет определенное отношение между величинами пускового и рабочего положений, автотрансформатор позволяет изменять это отношение произвольным образом. Назовем через I_a силу тока в статоре, а через I_1 и V_1—силу тока и напряжение сети. Фазовое напряжение на зажимах двигателя при пуске д. б. равно



Фиг. 23.


Фиг. 24.

$$V_a = V_1 \cdot \frac{I_a}{I_{к.}}, \qquad (44)$$

где $I_{к.}$—сила тока короткого замыкания при напряжении V_1. При отсутствии потерь

$$3V_1 I_1 \cos\varphi_{к.} = 3\left(V_1 \frac{I_a}{I_{к.}}\right) I_a \cos\varphi_{к.}, \qquad (45)$$

откуда

$$I_1 = \frac{I_a^2}{I_{к.}}. \qquad (46)$$

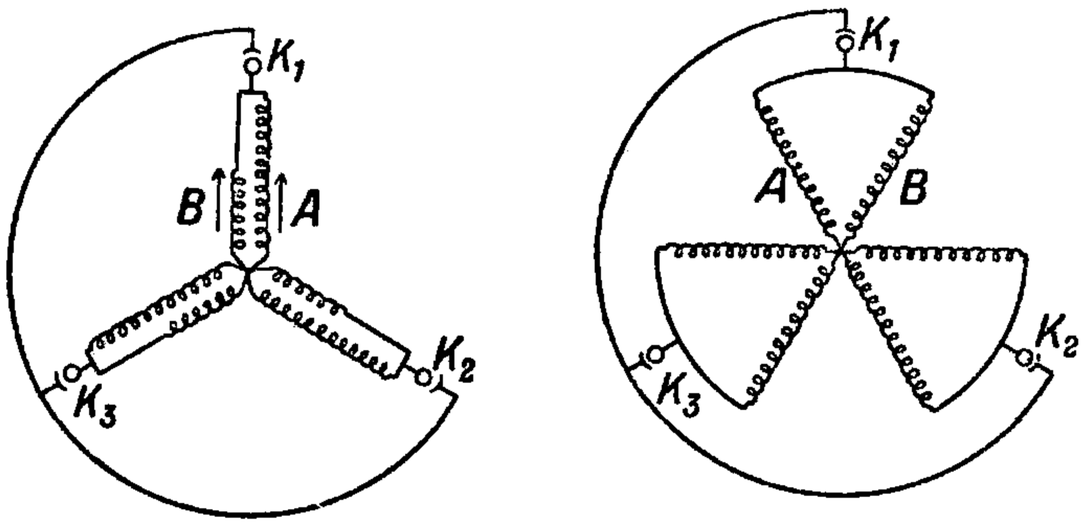
Задаваясь значением одной из величин тока

I_1 или I_a, можно определить другую, а также передаточное отношение автотрансформатора:

$$\frac{I_{к.}}{I_a} = \frac{w_1 + w_2}{w_2}, \qquad (47)$$

где w_1 и w_2—числа витков первичной и вторичной цепи автотрансформатора. Вращающий момент двигателя будет уменьшаться пропорционально уменьшению тока из сети.

в) Способ Гёргеса (Goerges). Каждая роторная фаза по этому способу выполняется из двух частей, A и B, с различными числами витков, к-рые при пуске в ход являются включенными друг против друга (фиг. 25) т. о., что действующей является

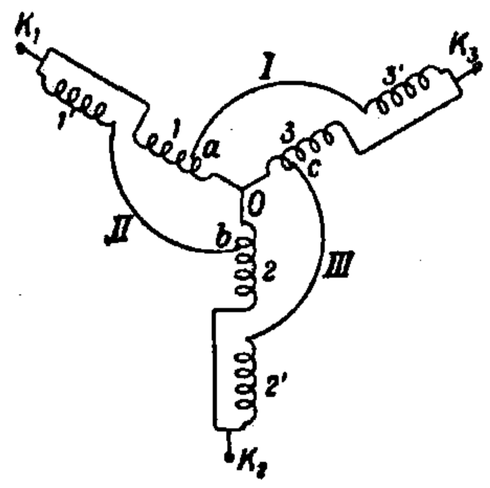


Фиг. 25.

только разница индуктированных в них эдс. Обе части обмотки, A и B, уложены в одни и те же пазы и имеют провода одного сечения. Благодаря получающимся увеличенному активному и уменьшенному реактивному сопротивлениям двигатель при пуске развивает увеличенный начальный момент.

При достижении двигателем около 70—85% своей синхронной скорости происходит замыкание накоротко зажимов K_1-K_2-K_3 при помощи центробежного замыкателя. Двигатели Гёргеса строятся заводом «Электросила» до 85 kW.

г) Способ Шенфера. Этот способ представляет модификацию способа Гёргеса. На фиг. 26 представлена одна из предложенных им схем. Каждая фаза состоит из двух частей с равными числами витков, заложенных в одни и те же впадины. В цепи I «O-a-$3'$-3»действуеттолько эдс, создаваемая частью обмотки Oa, так как эдс частей 3 и $3'$ взаимно уравновешиваются. Так как ток обтекает эти части в противоположных направлениях, то реактивное сопротивление цепи получается сильно уменьшенным, а активное—увеличенным, благодаря чему двигатель развивает большой пусковой момент. При достижении определенной скорости, нек-рые точки обмотки, напр. K_1-K_2-K_3, замыкаются центробежным выключателем накоротко на рабочее положение. Двигатель в 44 kW, выполненный по этой схеме, развивал при пуске 1,04 от номинального момента при кратности 1,67 пускового тока по отношению к нормальному. Если же пускать его при включении по рабочей схеме, то при кратности пускового тока 2,77 он развивает всего 0,81 от номинального момента.



Фиг. 26.

д) Система Бушеро (Boucherot). Для улучшения условий пуска Бушеро разработал (с 1894 по 1900 г.) конструкцию короткозамкнутого асинхронного двигателя с весьма хорошими пусковыми и достаточно удовлетворительными рабочими характеристиками. Двигатель Бушеро имеет на роторе две беличьих клетки. Первая клетка, расположенная у поверхности воздушного зазора, имеет большое активное и относительно малое реактивное сопротивления, благодаря чему двигатель развивает при пуске большой вращающий момент. Вторая клетка, малого активного сопротивления, расположена значительно дальше от поверхности ротора и поэтому имеет большое реактивное сопротивление, благодаря чему при пуске она пропускает через себя относительно небольшой ток и развивает незначительный момент. При вращении двигателя частота f_2 и реактивные сопротивления вторичной цепи уменьшаются. При приближении к частоте скольжения номинальной нагрузки реактивные сопротивления становятся ничтожными по сравнению с активными, и нижняя клетка благодаря меньшему активному сопротивлению берет на себя главную часть вторичного тока и создает основную часть вращающего момента. Верхняя клетка при нормальной работе автоматически выключается из действия. Благодаря малому активному сопротивлению нижней клетки джоулевы потери вторичной системы весьма невелики, и поэтому кпд двигателя Бушеро не уменьшается по сравнению с кпд нормального асинхронного двигателя.

Недостатком двигателя Бушеро является уменьшенный на несколько % $\cos\varphi$ по сравнению с $\cos\varphi$ нормального двигателя, что получается благодаря повышенному реактивному сопротивлению нижней клетки. Уменьшение $\cos\varphi_b$ двигателя Бушеро по отношению к $\cos\varphi_a$ исходного асинхронного двигателя м. б. выражено для двигателей завода «Электросила» следующей приближенной формулой:

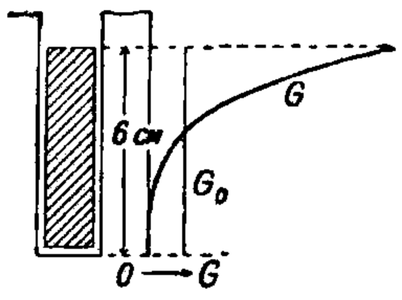
$$\cos\varphi_b = \frac{6\cos\varphi_a - 1}{5}.$$

З-дом «Электросила» выполняются двигатели с номинальным, полуторным и двойным пусковыми моментами. Приближенное соотношение между пусковым моментом M_n. и пусковым током I_n. м. б. выражено следующим образом:

$M_{n.}:M_{н.}$	$I_{n.}:I_{н.}$
1,0	3,2—3,5
1,5	3,5—3,8
2,0	4,5—5,0

е) Двигатель с глубокими пазами. Этот двигатель имеет в своей основе тот же принцип, что и двигатель Бушеро, но конструктивно выполняется в виде одной беличьей клетки. Благодаря высоким проводникам ротора, утопленным в глубоких и узких пазах, в них развиваются значительные токи Фуко. Коэфф. K_a, равный отношению активного сопротивления проводника к омическому, весьма сильно возрастает, благодаря чему двигатель развивает большой пусковой момент. На фиг. 27 представлено распределение эффективной плотности тока G по высоте проводника в 6 *см*, заложенного

в глубокий паз, и средняя плотность тока в нем при постоянном токе G_0. При частоте $f_1=50$ пер/ск. и высоте $h=1$ *см*, $K_a=1{,}1$; при той же частоте и $h=2{,}5$ *см*, $K_a=2{,}55$. После того как двигатель достигнет номинальной скорости, частота в его роторе становится ничтожной, и $K_a\cong 1{,}0$ даже при высоком пазе, благодаря чему двигатель имеет высокий коэффициент полезного действия. Двигатели эти строятся фирмами SSW, GEC и другими.



Фиг. 27.

11. Регулирование скорости асинхронного двигателя. а) Регулирование скорости изменением частоты и напряжения. Скорость двигателя при нормальных условиях его работы определяется частотой f_1. При питании двигателя от специального генератора (синхронного или коллекторного) имеется возможность изменять как частоту f_1, так и напряжение V_1 на его зажимах. В этом случае для различных моментов на валу M можно получить идеальные условия, если изменять напряжение V_1 в случае относительно ненасыщенного двигателя по следующей зависимости:

$$\frac{V_2}{V_1}=\frac{f_2}{f_1}\sqrt{\frac{M_2}{M_1}}. \qquad (48)$$

Здесь V_2 и M_2—величины, соответствующие частоте f_2, а V_1 и M_1—соответствующие частоте f_1. Если скорость связана определенной зависимостью с моментом на валу, то этим задается определенная зависимость напряжения от частоты. Например, при $M=$Const:

$$\frac{V_2}{V_1}=\frac{f_2}{f_1}; \qquad (48а)$$

при $\frac{M_1}{M_2}=\frac{f_2}{f_1}$:

$$\frac{V_2}{V_1}=\sqrt{\frac{f_2}{f_1}}; \qquad (48б)$$

при $\frac{M_2}{M_1}=\left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2$:

$$\frac{V_2}{V_1}=\left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2. \qquad (48в)$$

При указанной регулировке двигатель для различных скоростей будет работать при практически постоянных cos φ, кпд, абсолютном скольжении $n_{c.}-n_{p.}$ и перегрузочной способности $\frac{M_{max}}{M_{н.}}$. Если двигатель должен работать при постоянной частоте f_1 и различных моментах на валу, то для получения наилучших условий его работы в отношении кпд и cos φ нужно регулировать напряжение на его зажимах по следующей зависимости:

$$\frac{V_2}{V_1}=\sqrt{\frac{M_2}{M_1}}. \qquad (48г)$$

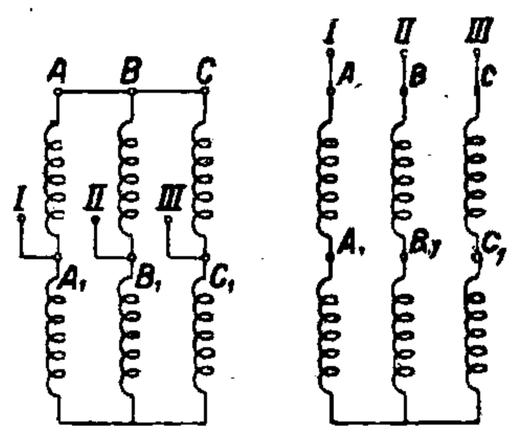
В частном случае, при возможности переключения с тр-ка на звезду, двигатель при звезде дает практически те же условия работы, что и при тр-ке, если момент на валу будет в три раза меньше. Т. к. при питании от общей сети напряжение V_1 и частота f_1 являются неизменными, то в этом случае указанный способ регулирования скорости изменением частоты и напряжения является неприменимым.

б) Регулирование скорости реостатом в роторе. Схема такого регулирования ничем не отличается от схемы пуска посредством реостата в роторе (фиг. 21). В этом случае применяются проволочные или водяные реостаты, рассчитанные на длительную работу. Если при регулировке момент остается постоянным, то ток ротора также не меняется, поэтому скорость двигателя будет зависеть от величины добавочного сопротивления. Этот способ аналогичен регулировке скорости шунтового двигателя при помощи реостата в цепи якоря. Если при введенном добавочном сопротивлении момент на валу изменяется, то изменяется и вторичный ток. В этом случае при холостом ходе скорость будет близка к синхронной, а при нагрузке начнет сильно уменьшаться; поэтому асинхронный двигатель с сопротивлением в роторе дает характеристику изменения скорости, сходную с последовательным или сильно компаундированным двигателем постоянного тока. Данный способ регулировки применяется в подъемниках, лифтах, прокатных станах и т. п. Мощность, поглощенная в добавочном сопротивлении, является потерянной, и потому способ этот является весьма неэкономичным.

в) Регулирование скорости переключением числа полюсов. Синхронная скорость двигателя определяется соотношением (1):

$$n_{c.}=\frac{60f_1}{p};$$

поэтому, изменяя число полюсов, можно изменять в обратном отношении и скорость. Переключение числа полюсов м. б. достигнуто следующими способами: 1) получением двух различных чисел полюсов переключением одной и той же обмотки статора, 2) устройством на статоре двух обмоток на разные числа полюсов и 3) совместной комбинацией предыдущих способов. В двигателях с беличьей клеткой переключение числа полюсов производится только на статоре, в двигателях же с фазовым ротором необходимо производить переключение и на роторе. Наиболее просто производится переключение по первому способу для отношений чисел полюсов 2 : 1 по системе Даландера (Dahlander). Обмотка в этом случае выполняется по типу нормальной катушечной (фиг. 2), с полюсным делением, соответствующим большему числу полюсов. Каждая фаза состоит из двух частей, к-рые соединяются звездой параллельно при малом числе полюсов p и последовательно — при большом числе полюсов $2p$ (фиг. 28). Максимальный момент при $2p$ полюсах получается приблизительно в 2 раза меньшим, чем при p полюсах, а максимальная мощность—в 4 раза меньшей.

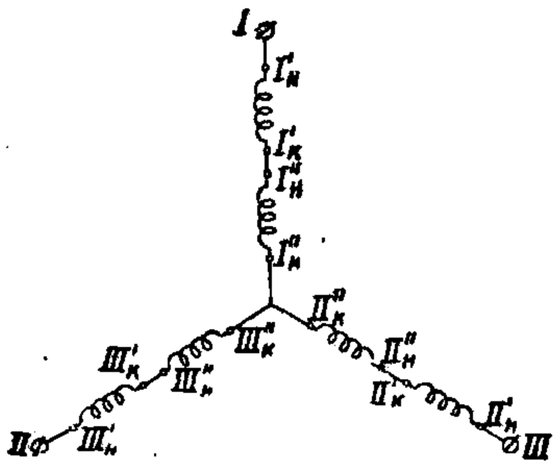


Фиг. 28.

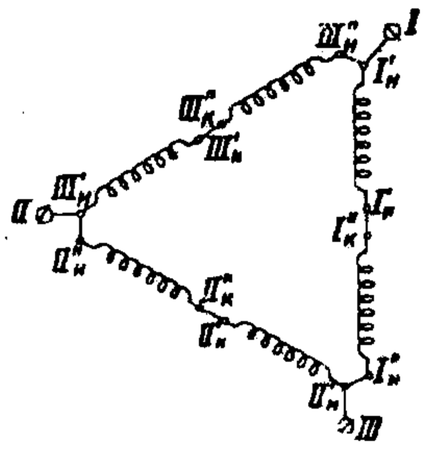
Если выполнить на статоре разрезанную обмотку постоянного тока по схеме SSW, то при включении ее по схеме фиг. 29а получается $2p$ полюсов, а по схеме фиг. 29б—p полюсов. На фиг. 30 представлена схема такой обмотки для переключения чисел полюсов с $2p=8$ на $2p=4$. По сравнению с обмоткой

Даландера обмотка SSW имеет то преимущество, что она позволяет иметь один и тот же момент для обоих чисел полюсов.

Если выполнить на статоре две независимые обмотки с переключающимся числом полюсов, то можно получить 4 скорости,



Фиг. 29а.



Фиг. 29б.

напр.: 1 500, 750, 1 000 и 500 об/м. Двухфазные обмотки SSW позволяют выполнять переключение с другими отношениями чисел полюсов, напр.: 2:3, 3:4, 5:6 и т. п.

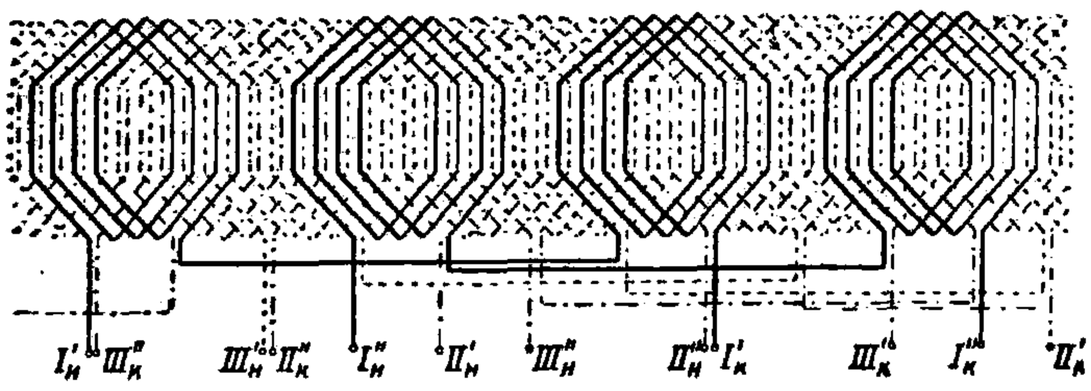
г) Принцип экономичного регулирования скорости. Многофазный асинхронный двигатель устанавливает в пределах нормальной нагрузки такое скольжение, при к-ром его вторичная эдс покрывает падения напряжения этой цепи:

$$sE_2 = I_2\sqrt{R_2^2 + (sx_2)^2} \cong I_2 R_2 . \qquad (8а)$$

При постоянном приложенном напряжении и заданном моменте на валу величина вторичного тока является практически вполне определенной:

$$I_2 = \frac{M}{k\Phi\cos\varphi_2} \cong \frac{M}{k\Phi} \cong \text{Const} . \qquad (22б)$$

Для экономичного регулирования скорости двигателя с сохранением шунтовой характеристики (т. е. незначительного изменения скорости от холостого хода до полной нагрузки) можно применить введение в цепь вторичной системы добавочной эдс, частота к-рой должна автоматически совпадать с частотой f_2 двигателя при всех изменениях его нагрузки. Наличие этой эдс вызывает появление добавочного тока, изменяющего величину тока вторичной системы. Благодаря этому нарушается равновесие между моментом, приложенным к валу, и моментом, создаваемым взаимодействием вторичного тока I_2 и потока Φ, вследствие чего двигатель начинает изменять свою скорость, и это изменение происходит до тех пор, пока не будет достигнуто новое положение равновесия между этими моментами при прежней величине тока I_2.



Фиг. 30.

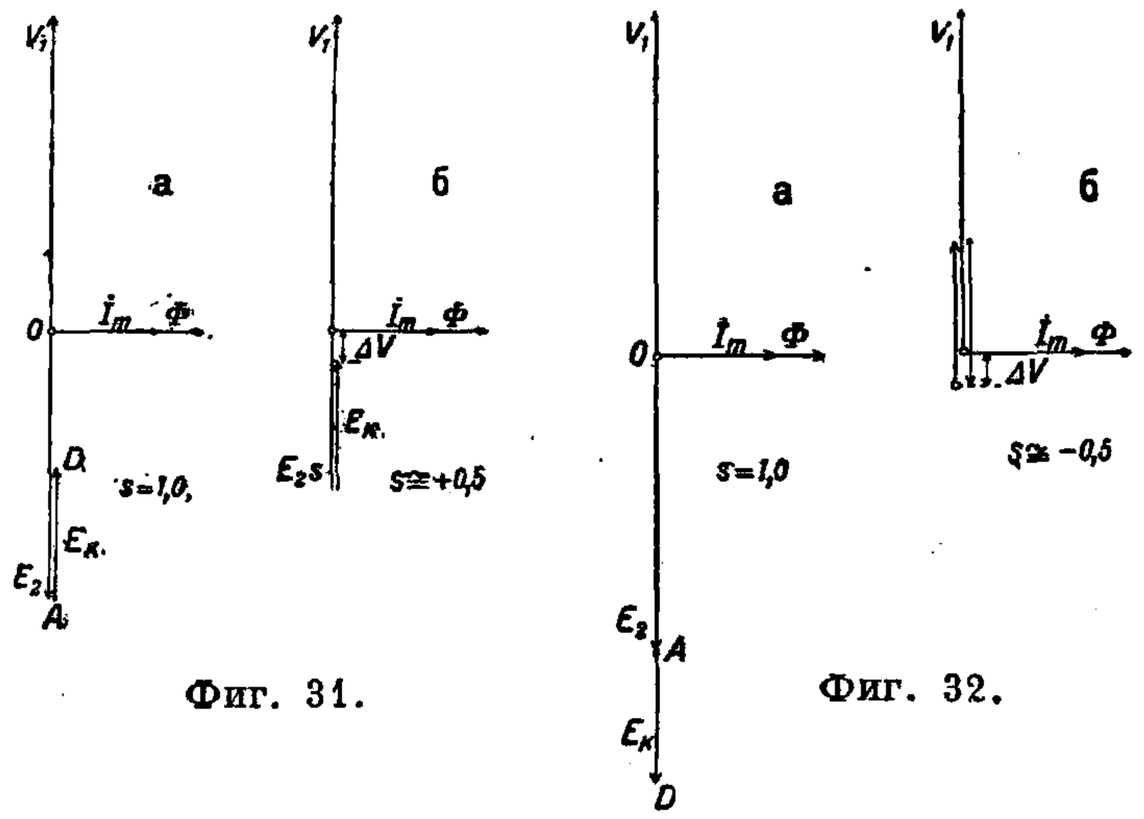
Т. к. сопротивление вторичной цепи остается весьма незначительным, то потери вторичной цепи при данной величине тока сохраняются неизменными. Поэтому работа двигателя получается весьма экономичной при всех изменениях скорости, т. к. мощность скольжения, создаваемого введением добавочной эдс, напр. от посторонней машины или добавочной обмотки, переходит к последней и м. б. использована тем или иным способом.

Предположим, что при неподвижном двигателе ($s = 1{,}0$) вторичная эдс $E_2 = \overline{OA}$ (фиг. 31) и в эту же цепь добавлена эдс $E_k = \overline{AD}$, равная $^1/_2\ \overline{OA}$ и сдвинутая от нее по фазе на 180°. Равнодействующая $\overline{OD} = \overline{OA} - \overline{AD}$ вызовет в системе значительный ток, и двигатель придет во вращение. Если двигатель не имеет момента, приложенного к валу (холостой ход), то он достигнет равновесия при $sE_2 \cong E_k$, т. е. при $s \cong +0{,}5$. Ничтожная разница между эдс sE_2 и E_k будет покрывать падение напряжения от тока холостого хода вторичной системы. Под нагрузкой эта разность

$$\Delta\bar{V}_2 = s\bar{E}_2 - \bar{E}_k = \bar{I}_2 \cdot Z_2$$

будет покрывать падение напряжения от тока I_2, определяемого приложенным моментом по формуле 22б.

Предположим теперь, что эдс $E_k = \overline{AD} = {}^1/_2\ \overline{OA}$ совпадает по фазе с E_2; тогда, при $s = 1{,}0$, результирующая эдс будет равна $\overline{OD} = \overline{OA} + \overline{AD}$ (фиг. 32). Двигатель начнет



Фиг. 31.

Фиг. 32.

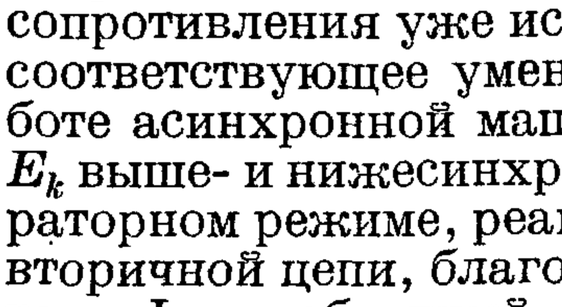
вращаться и достигнет равновесия, т. е. $sE_2 \cong E_k$, при скольжении $s \cong -0{,}5$, т. е. при скорости выше синхронной. Т. о., изменяя эдс E_k по величине и направляя ее навстречу или на совпадение с эдс sE_2, можно заставить асинхронный двигатель работать экономично при любых скоростях в заданных пределах выше- и нижесинхронной скорости. Если, как в данном примере, $E_k \leqslant \pm E_2 \cdot 0{,}5$, то изменение скорости может происходить в пределах 50% ниже- и вышесинхронной скорости. Добавочная электродвижущая сила E_k может получаться от добавочной обмотки или трансформатора (см. *Коллекторные машины*) или от специальной коллекторной машины, приключенной к кольцам ротора. Изменяя число витков добавочной обмотки или трансформатора или возбуждение коллекторной машины, можно изменять эдс E_k и т. о. получать желаемую регулировку скорости. На каждой ступени регулировки двигатель будет весьма мало изменять свою скорость от холостого хода до полной нагрузки, имея в этом отношении сходство с шунтовым двигателем постоянного тока.

д) Влияние величины и знака скольжения на $\cos\varphi$. В асинхронном двигателе реактивное сопротивление sx_2 вы-

зывает отставание тока I_2 от эдс E_{2s}, вследствие чего возрастает реактивная составляющая первичного тока $I_1 \sin \varphi_1$ и ухудшается $\cos \varphi_1$ машины. Если при помощи добавочной эдс E_k уменьшить скорость двигателя, то реактивное сопротивление sx_2 при том же моменте на валу и том же вторичном токе сильно возрастет по отношению к активному R_2, благодаря чему уменьшится $\cos \varphi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (sx_2)^2}}$, а вместе с ним и $\cos \varphi_1$. Т. о., двигатель при нижесинхронной скорости будет работать при одинаковом моменте на валу с более низким $\cos \varphi_1$, чем при нормальных условиях без добавочной эдс E_k. Если же при помощи этой эдс перевести его на вышесинхронную скорость $s < 0$, то при двигательном режиме знак момента и тока I_2 сохраняется, но знак реактивного сопротивления $-sx_2$ изменяется на обратный. Благодаря этому реактивное сопротивление $-sx_2$ вызывает сдвиг первичного тока I_1 в сторону опережения, т. е. это сопротивление начинает в этом случае играть роль емкости, улучшая $\cos \varphi$ двигателя. При вышесинхронной скорости двигатель, с увеличением нагрузки от холостого хода, может начать уменьшать реактивную составляющую первичного тока $I_1 \sin \varphi_1$, а не увеличивать ее, как это бывает при обычных условиях работы двигателя. После того как возрастание нагрузки заставит двигатель перейти через синхронную скорость $s = 0$ и он начнет работать далее при нижесинхронной скорости $s > 0$, это благоприятное влияние вторичного реактивного сопротивления уже исчезает, и оно вызывает соответствующее уменьшение $\cos \varphi$. При работе асинхронной машины с добавочной эдс E_k выше- и нижесинхронной скорости в генераторном режиме, реактивное сопротивление вторичной цепи, благодаря изменению знака тока I_2 на обратный, оказывает противоположное влияние на $\cos \varphi_1$. В этом случае при нижесинхронной скорости реактивное сопротивление вторичной цепи увеличивает $\cos \varphi_1$, а при вышесинхронной уменьшает его.

Вышеописанное свойство асинхронных двигателей имеет существ. значение для понимания характера круговых диаграмм компенсированных и коллекторных шунтовых двигателей, а также каскадн. соединения асинхронного двигателя и коллекторной машины.

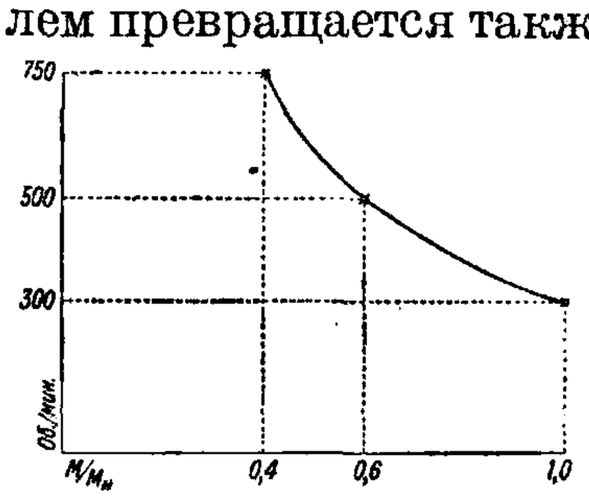
е) Каскадное соединение двух асинхронных двигателей. В этом случае во вторичную систему первого двигателя добавляется обратная эдс от второго двигателя. Т. к. оба двигателя работают на общий вал, то энергия скольжения первого двигателя является полезно использованной, и потому система дает хотя и ступенчатую, но достаточно экономичную регулировку скорости. При каскадном соединении оба двигателя д. б. соединены и электрически и механически (фиг. 33). Синхронная скорость каскада равна



Фиг. 33.

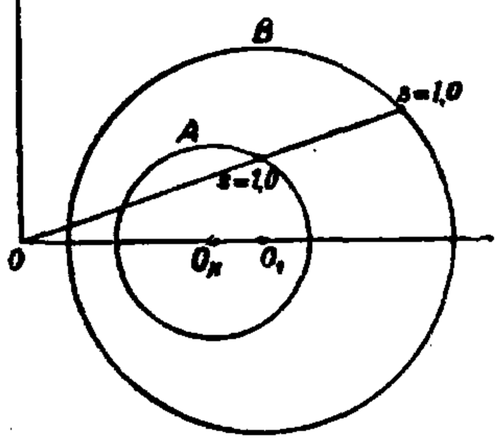
$$n_{c.k} = \frac{60 f_1}{p_1 + p_2},$$

где p_1 и p_2—числа пар полюсов двигателей. Двигатель, присоединенный к сети, работает со скольжением $s = \frac{p_2}{p_1 + p_2}$; поэтому подведенная к нему мощность P_1 при пренебрежении потерями преобразуется в части $P_1 \cdot \frac{p_1}{p_1 + p_2}$ в механическую, а в части $P_1 \cdot \frac{p_2}{p_1 + p_2}$ в электрич. энергию, к-рая вторым двигателем превращается также в механич. энергию на общий вал. Благодаря этому два двигателя в каскаде могут развивать ту же мощность P_1, что и один двигатель, т. е. каскад работает при постоянной мощности. Если двигатели имеют одинаковую мощность, но разное число полюсов, то они дают возможность получать три ступени скорости: две, соответствующие их синхронным скоростям $n_{c.1} = \frac{60 f_1}{p_1}$ и $n_{c.2} = \frac{60 f_1}{p_2}$, и одну для каскада $n_{c.k} = \frac{60 f_1}{p_1 + p_2}$. На фиг. 34 представлена зависимость вращающего момента от скорости для двух двигателей с числами полюсов $p_1 = 6$ и $p_2 = 4$. Если выполнить, кроме того, каждый из двигателей на два различных числа полюсов, то число ступеней скоростей м. б. еще более увеличено.

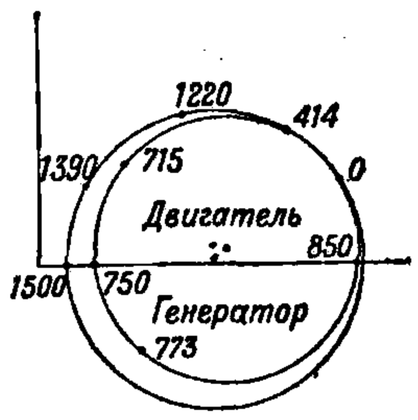


Фиг. 34.

Т. к. частота f_2 и напряжение V_2 для второго двигателя меньше f_1 и V_1 для первого двигателя в $\frac{p_2}{p_1 + p_2}$ раз, то поток Φ и намагничивающий ток второго двигателя приблизительно равны этим же величинам для первого. Намагничивающие токи обоих двигателей доставляются сетью, питающей первый двигатель, поэтому намагничивающий ток каскада приблизительно в два раза больше, чем для одного двигателя. При каскадном соединении двух двигателей их эквивалентные реактивные сопротивления оказываются соединенными последовательно, поэтому диаметр круговой диаграммы, обратно пропорциональный, по ф-ле (30), сумме реактивных сопротивлений, оказывается соответственно уменьшенным. На фиг. 35 представлены круговые диаграммы одного двигателя B и двух, соединен. в каскад A; из диаграммы видно, что перегрузочная способность и $\cos \varphi$ каскада меньше, чем одного двигателя. На фиг. 36 представлены экспериментальные круговые диаграммы каскада для двух двигателей с числами полюсов $2p = 4$. Цифры на диаграмме соответствуют скоростям аггрегата. Каскадные соединения находят себе при-



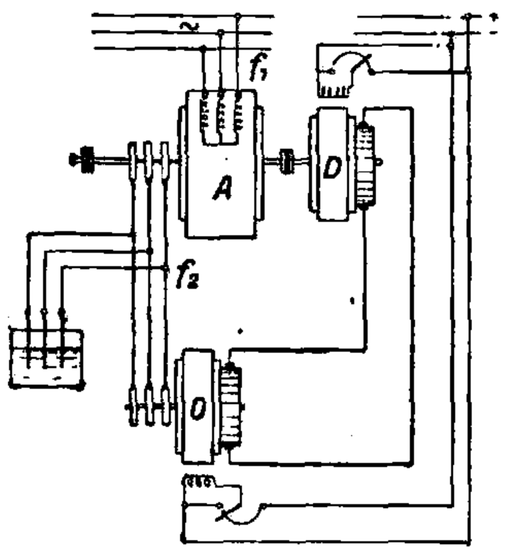
Фиг. 35.



Фиг. 36.

менение, например, при электрической тяге двигателями трехфазного тока.

ж) Каскадное соединение асинхронного двигателя и одноякорного преобразователя (сист. Кремера, фиг. 37). Ротор главного асинхронного двигателя A соединен в этом случае с контактными кольцами стороны переменного тока одноякорного преобразователя O, сторона постоянного тока к-рого соединена с коллектором двигателя постоянного тока D, механически связанным с валом главного двигателя A. Одноякорный преобразователь и двигатель постоянного тока получают возбуждение от независимой цепи постоянного тока. При изменении возбуждения двигателя D изменяется его напряжение. Между этим двигателем и преобразователем O устанавливается уравнительный ток, изменяющий момент двигателя D. Вследствие этого нарушается равновесие между моментом, приложенным к валу, и суммой моментов, даваемых двигателями A и D на валу аггрегата. Последний начинает изменять свою скорость, благодаря чему изменяются одновременно и частота f_2 на кольцах преобразователя O и его скорость. В результате этих изменений система приходит к новому равновесному положению. Таким образом, каждому значению силы тока возбуждения двигателя D соответствует некоторая определенная скорость аггрегата. Эта система дает возможность регулировать скорость главного двигателя A в пределах от 4 — 5 до 40—45 % ниже его синхронной скорости. Двигатель D должен быть рассчитан приблизительно на мощность максимального скольжения главного двигателя A; таким образом, при 30% регулировки он должен иметь мощность 0,3 от мощности двигателя A. Одноякорн. преобразователь в этом случае рассчитывается также на мощность 0,3 от мощности главного двигателя A при соответствующем числе периодов $f_2 = 0{,}3 f_1$. Система Кремера строится почти всеми крупными электротехническ. фирмами. В СССР эта сист. выполняется Харьковским электромеханич. з-дом.

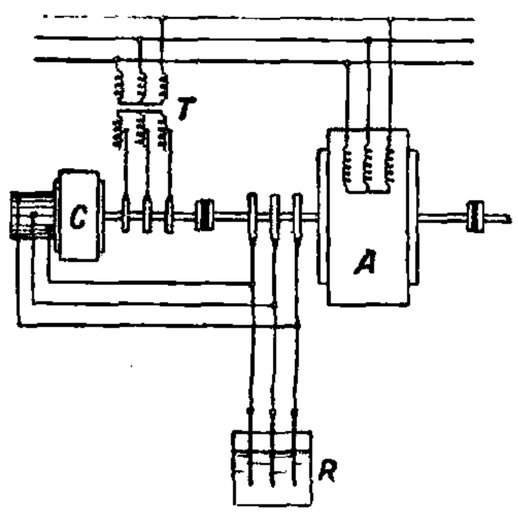


Фиг. 37.

Т. к. в системе Кремера мощность скольжения главного двигателя используется при помощи двигателя D, механически соединенного с валом главного двигателя, то эта система дает наилучшее использование всего аггрегата при работе его с постоянной мощностью на валу, хотя, конечно, в случае необходимости система Кремера может быть использована и для работы с постоянным моментом на валу. В этом случае при малых скоростях аггрегат оказывался бы неиспользованным; поэтому обычно применяется система, в к-рой двигатель постоянного тока соединяется не с валом главного двигателя, а с асинхронной машиной, работающей в режиме генератора при скорости приблизительно постоянной, при чем энергия скольжения возвращается в первичную цепь.

з) Каскадное соединение асинхронного двигателя с преобразователем частоты. Преобразователь частоты состоит из якоря, обмотка которого соединена с одной стороны с коллектором, а с другой стороны с контактными кольцами. Если к кольцам такого двухполюсного якоря подвести напряжение V_1 многофазного тока с частотой f_1 и вращать якорь с числом f_2 об/ск., то число периодов на щетках коллектора будет равно $f_{щ.} = f_1 \pm f_2$. Знак (+) соответствует направлению вращения якоря в направлении вращения поля относительно него, а знак (—) —обратному направлению. В последнем случае, при $f_1 = f_2$, $f_{щ.} = 0$, т. е. на коллекторе получается постоянный ток. Напряжение на коллекторе будет равно напряжению на контактных кольцах при любых соотношениях частот f_1 и $f_{щ.}$. Для изменения напряжения на коллекторе нужно изменять напряжение на кольцах. Статор преобразователя частоты не имеет обмотки и служит только магнитопроводом для поля якоря. Статор может даже отсутствовать и быть замененным железным кольцом, надетым на якорь и вращающимся вместе с ним.

Преобразователь частоты C (фиг. 38) дает возможность преобразовывать энергию частоты скольжения главного двигателя A в энергию частоты сети, возвращая ее обратно в первичную сеть, для чего он д. б. соединен на одном валу с главным двигателем A. Если при помощи трансформатора T, питающего кольца преобразователя C, уменьшить напряжение на коллекторе до величины, достаточной только для покрытия омич. падения напряжения в роторе главного двигателя A, то последний достигает своей синхронной скорости, получая от преобразователя постоянный ток. При изменении с помощью того же трансформатора T знака напряжения на коллекторе на 180° двигатель может переходить со скорости нижесинхронной на вышесинхронную и обратно. Правильный угол сдвига фаз между эдс ротора, двигателя A и напряжением, даваемым преобразователем частоты C, устанавливается поворотом щеток на коллекторе. Схема фиг. 38 дает возможность изменять скорость двигателя приблизительно до 10 % выше и ниже его синхронной скорости. Более высокая степень регулировки затрудняется тяжелыми условиями коммутации преобразователя частоты.

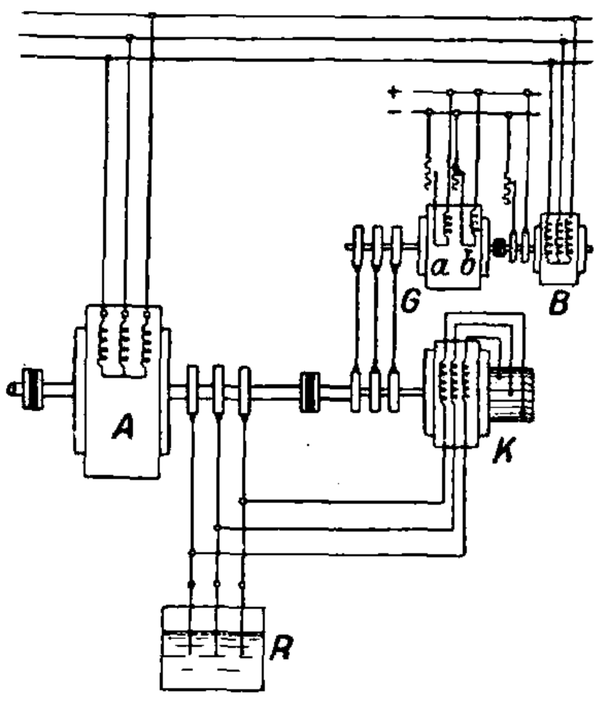


Фиг. 38.

Система дает правильные условия использования асинхронного двигателя при работе его с постоянным моментом на валу и в таком виде выполняется фирмами AEG, Thomson Houston и др. Если же энергию скольжения передать с колец преобразователя частоты на синхронный двигатель, который соединен механически с главным двигателем, то система дает регулировку скорости при постоянной мощности. В таком виде она выполняется фирмой Westinghouse.

и) Каскадное соединение асинхронного двигателя с коллекторной компенсированной машиной с роторным возбуждением, системы Кожисека (Kozisek). Если в схеме фиг. 38 заменить преобразователь частоты трехфазной коллекторной компенсированной машиной с возбуждением на роторе, то эта машина при нижесинхронной скорости главного двигателя будет работать в режиме двигателя, а при вышесинхронной скорости—в режиме генератора. Благодаря этому весь аггрегат дает наилучшее использование при работе с постоянной мощностью на валу. В коллекторной компенсированной машине щетки занимают вполне определенное место на коллекторе; поэтому регулировка фазы добавочной эдс по отношению к вторичной эдс двигателя достигается особым трансформатором фаз в виде асинхронного двигателя с заторможенным ротором (см. ниже—о потенциальном регуляторе).

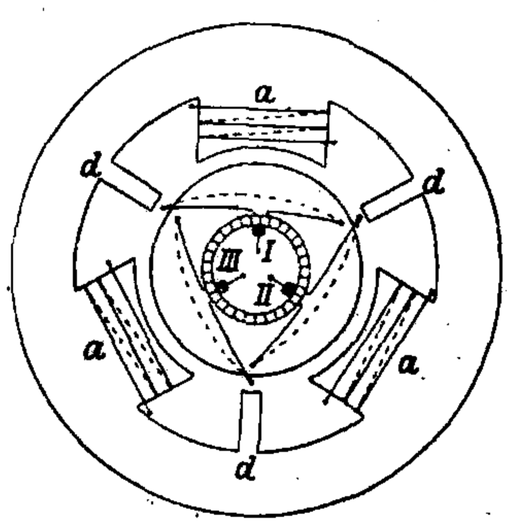
В отличие от схемы с преобразователем частоты здесь через контактные кольца проходит лишь незначительный намагничивающий ток, необходимый для возбуждения коллекторной машины. При более мощных установках желательно иметь на кольцах коллекторной машины частоту, более низкую, чем в первичной цепи, т. к. в этом случае можно получить несколько более высокое напряжение на коллекторе. В этом случае возбуждающий ток для коллекторной машины K получается от специального синхронного генератора—возбудителя G, приводимого во вращение синхронным двигателем B (фиг. 39). Синхронный возбудитель выполняется с неподвижными полюсами и вращающимся якорем и имеет на статоре две обмотки возбуждения a и b, сдвинутые в пространстве на 90 электрич. градусов. Регулируя ток в одной обмотке возбуждения, можно изменять скорость главного двигателя, при регулировке второй обмотки изменяется лишь фаза добавочного напряжения и вместе с ней cos φ главного двигателя.



Фиг. 39.

Схема Кожисека дает возможность регулировать скорость мощн. асинхронных двигателей до 10% выше- и нижесинхронной скорости. Эта схема выполняется фирмой SSW.

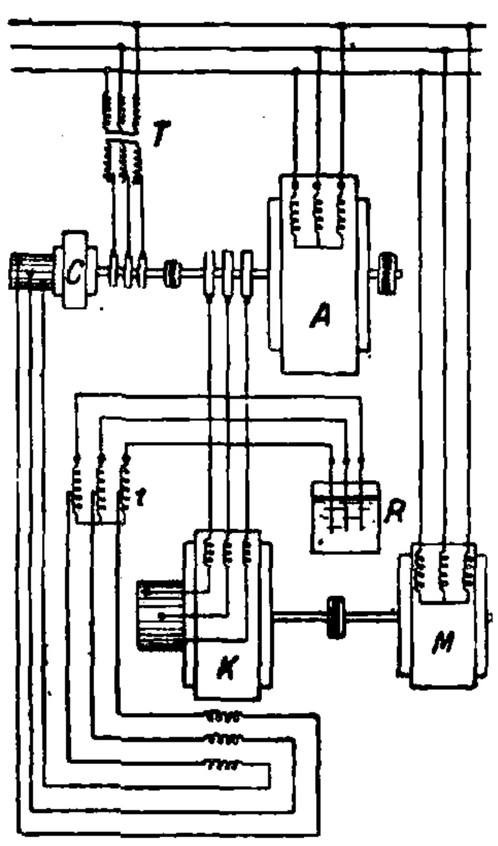
к) Каскадное соединение асинхронного двигателя с компенсированной коллекторной машиной с возбуждением на статоре (сист. Шербиуса). В данной схеме применяется трехфазная компенсированная коллекторная машина Шербиуса с явно выраженными полюсами и возбуждением на статоре. Эта машина соответствует машине постоянного тока, которая имеет на каждом двойном полюсном делении три явно выраженных полюса, возбуждаемых трехфазным током. Шаг обмотки ротора равен 120 электрическим градусам вместо 180°; поэтому оба коммутируемых в пазе витка, как верхний, так и нижний, попадают в пространство между главными полюсами a под коммутирующее поле добавочного полюса d (фиг. 40). Машина имеет последовательные и шунтовые добавочные полюса, поэтому она имеет совершенную коммутацию при изменении как нагрузки, так и частоты и напряжения. Установка по схеме Шербиуса, видоизмененная для получения вышесинхронной скорости фирмой GEC, представлена на фиг. 41. Здесь A—главный асинхронный двигатель, K—коллекторная машина Шербиуса, M—асинхронная машина, соединенная на одном валу с машиной K, C—преобразователь частоты, T—трансформатор, питающий кольца преобразователя C, и R—пусковой реостат. Напряжение от колец двигателя A через секционированный автотрансформатор t подводится к шунтовой обмотке возбуждения коллекторной машины K. Каждому ответвлению автотрансформатора t соответствует определенный ток возбуждения и определенное напряжение коллекторной машины K и, следовательно, нек-рая определенная скорость двигателя A. При синхронной скорости напряжение на кольцах двигателя A равно нулю; поэтому машина K теряет возбуждение от колец двигателя A. Для перехода через синхронизм служит преобразователь частоты C, дающий необходимое возбуждение коллекторной машине K для работы при синхронной скорости и вблизи нее.



Фиг. 40.

Система Шербиуса GEC дает возможность регулировать скорость двигателя до 25% выше- и нижесинхронной скорости. Выполняется эта система фирмами BBC и GEC.

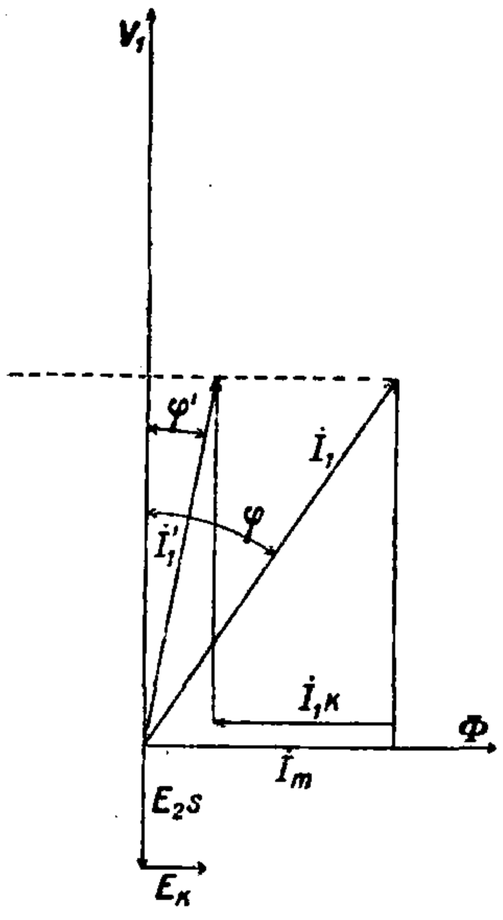
12. Регулирование cos φ асинхронного двигателя. а) Принцип регулирования cos φ. Если добавочная эдс E_k сдвинута от основной эдс sE_2 на 90°, то вызываемый ею ток $I_{2к.}$ совпадает по фазе или направлен навстречу магнитн. потоку Φ [т. е. sin $(I_{2к.}, \Phi)=0$], поэтому, согласно формуле (22а), не может вызвать вращающего момента и изменения скорости. Так как при $V_1=$ = Const и поток $\Phi \sim$ равен Const, то добавочная мдс, созданная током $I_{2к.}$ не может вызвать изменения Φ, требующего для своего поддержания нек-рой вполне определенной мдс. Наличие добавочной мдс вызывает лишь соответствующее увеличение или уменьшение мдс, создаваемой током первичной системы. Т. о., вторичная цепь создает в первичной цепи добавочную



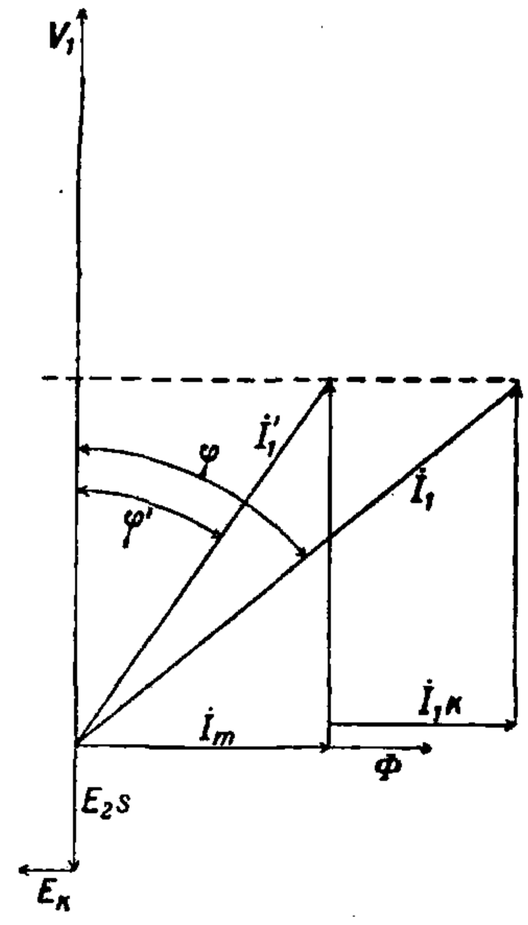
Фиг. 41.

составляющую реактивного тока $I_{1к.}$, к-рая или совпадает с намагничивающим током I_0 (фиг. 42) или сдвинута относительно него на 180° (фиг. 43). В первом случае намагничивающий ток, доставляемый первичной цепью, уменьшается, а $\cos\varphi$ двигателя улучшается, во втором же случае $\cos\varphi$ ухудшается.

б) Фазовые компенсаторы или возбудители асинхронного двигателя. Добавочная эдс, сдвинутая от основной на 90 электрич. градусов, м. б.

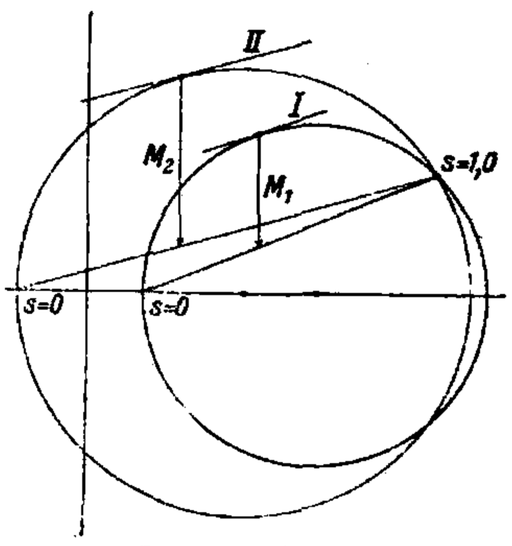


Фиг. 42.



Фиг. 43.

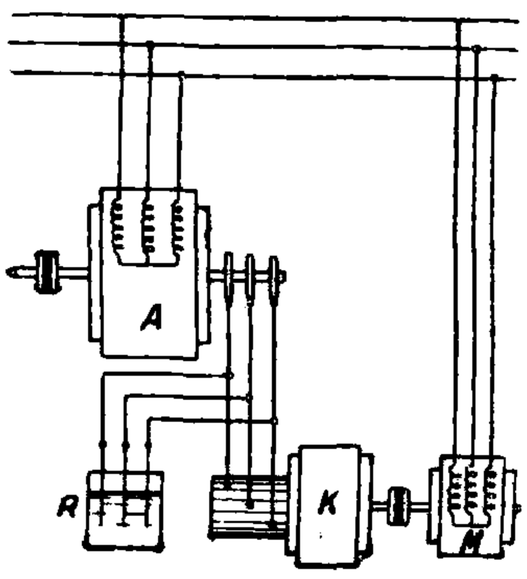
получена в системах, подобных применяемым для регулировки скорости, с помощью соответствующей регулировки сдвига фаз между этими эдс. Так как эта добавочная эдс должна преодолевать практически лишь активное сопротивление вторичной цепи двигателя, вызывая в ней необходимую намагничивающую мдс, то эта добавочная эдс может быть создана в весьма малой по своим размерам машине. Т. о., преобразователь частоты и коллекторные машины по системе Кожисека и Шербиуса м. б. использованы в качестве возбудителей или т. н. фазовых компенсаторов для асинхронных двигателей. Т. к. при этих применениях вышеописанных систем отсутствует необходимость в получении регулировки скорости, то системы эти в своем выполнении получаются значительно проще, будучи предназначены только для режима работы при одной скорости. Изменение нагрузки в этом случае не вызывает необходимости в дополнительной регулировке. На фиг. 44 представлена схема SSW, выполняемая по системе Кожисека, а на фиг. 45—схема с шунтовым фазовым компенсатором, выполняемая фирмой ВВС по системе Шербиуса. Эти системы дают возможность асинхронному двигателю работать по круговой диаграмме с увеличенным диаметром. Благодаря этому, вместе с улучшением $\cos\varphi$ одновременно достигается и увеличение перегрузочной способности двигателя, что в нек-рых случаях (напр. при прокатных станах) может иметь особо важное значение. На фиг. 46 представлены круговая диаграмма I — для асинхронного двигателя без компенсатора и диаграмма II — при наличии шунтового компенсатора Шербиуса с отмеченными на них величинами опрокидывающих моментов M_1 и M_2.



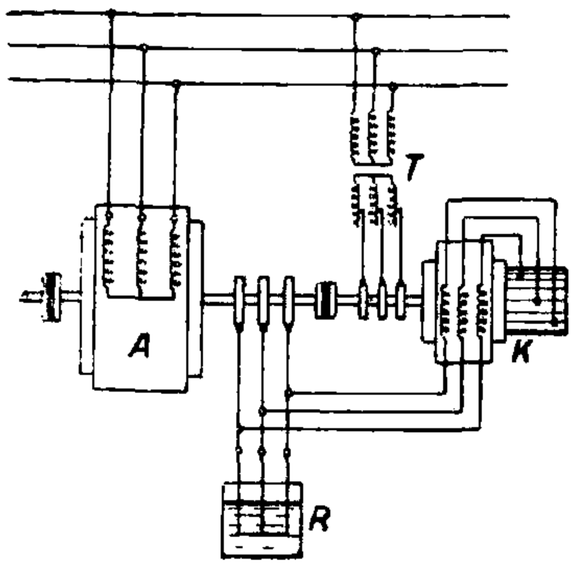
Фиг. 46.

Фазовые компенсаторы по системе периодопреобразователя и системе Кожисека являются механически связанными с валом главного двигателя посредством соединительной муфты в случае равенства чисел полюсов двигателя и компенсатора и посредством зубчатой передачи, если числа полюсов этих машин не равны. Шунтовой компенсатор не имеет необходимости в механической связи с валом главного двигателя и может быть приводим в движение отдельным небольшим двигателем любой системы, что дает этому компенсатору значительное преимущество перед двумя первыми.

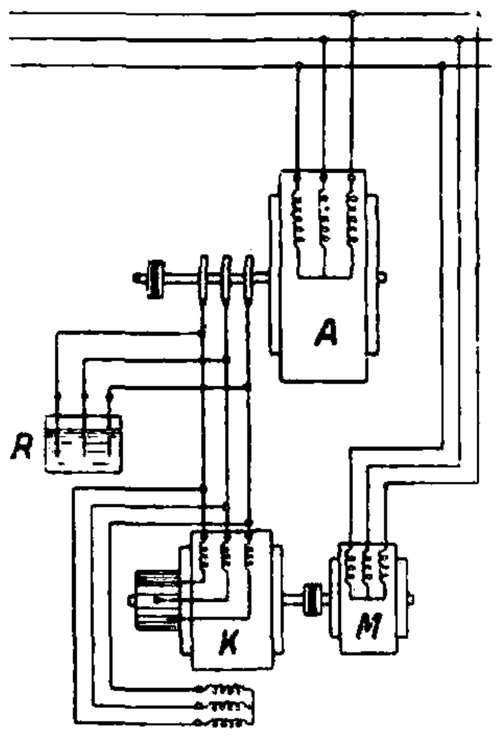
в) Фазовый компенсатор системы Леблана-Шербиуса. Особый интерес по своей простоте и дешевизне представляет фазовый компенсатор Леблана-Шербиуса, который может применяться только в схемах для улучшения $\cos\varphi$. Этот компенсатор имеет якорь с обмоткой, соединенной с коллектором, щетки которого соединяются с кольцами асинхронного двигателя. В системе Леблана статор компенсатора не имеет обмотки и служит лишь магнитопроводом для поля якоря, а при системе Шербиуса статор заменен железным кольцом, насаженным на якорь и вращающимся вместе с ним. Компенсатор K приводится во вращение небольшим двигателем M, скорость которого не связана со скоростью главного двигателя A (фиг. 47). При холостом ходе главного двигателя A компенсатор K не оказывает никакого действия на его работу и служит для замыкания вторичной цепи, играя в ней роль лишь нек-рого добавочного сопротивления. При нагрузке двигателя A его вторичный ток проходит через якорь компенсатора и создает вокруг него магнитное поле, медленно вращающееся в пространстве соответственно с частотой вторичной цепи f_2. Если компенсатор неподвижен, то его эдс самоиндукции отстает на 90° по фазе от тока. Если якорь компенсатора вращается в



Фиг. 47.



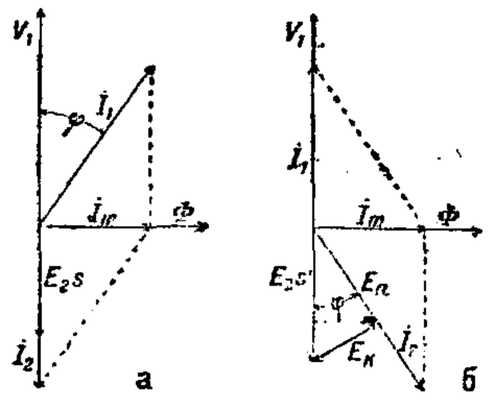
Фиг. 44.



Фиг. 45.

направлении вращения поля, то при синхронной скорости вращения эдс компенсатора равна нулю. Если вращать якорь компенсатора выше синхронной скорости, то эдс компенсатора изменяет свой знак на 180° и поэтому опережает ток по фазе на 90°. Благодаря этому вторичный ток двигателя начинает опережать его основную эдс, и двигатель улучшает свой $\cos\varphi$.

На фиг. 48,а представлена приближенная диаграмма асинхронного двигателя без компенсатора. Т. к. частота f_2 очень мала, то можно считать, что ток I_2 совпадает по фазе с создающей его эдс, и потому $sE_2 \cong I_2R_2$. Первичный ток I_1 равен геометрическ. сумме приведенного вторичного тока I_2' и намагничивающего тока I_m, поэтому ток I_1 отстает по фазе от напряжения V_1 на угол φ. На фиг. 48,б представлена диаграмма при наличии компенсатора для случая, когда добавочное напряжение E_k позволяет получить полную компенсацию двигателя до $\cos\varphi=1$. В этом случае ток I_1 опережает эдс sE_2 на тот же угол φ и создается геометрич. суммой эдс sE_2 и E_k; поэтому при неизменном вращающем моменте, согласно ф-ле (22), величина вторичного тока должна измениться и будет равна



Фиг. 48.

$$I_{21}=\frac{I_2}{\cos\varphi_2}.$$

Величина основной эдс двигателя

$$s'E_2=\frac{E_k}{\cos\varphi}=\frac{I_2R_2}{\cos\varphi}\cdot\frac{1}{\cos\varphi}\cong\frac{sE_2}{\cos^2\varphi},$$

откуда $s'=\frac{s}{\cos^2\varphi}$. Напряжение компенсатора

$$E_k=s'E_2\sin\varphi=\frac{sE_2}{\cos\varphi}\cdot\operatorname{tg}\varphi.$$

Мощность одной фазы компенсатора

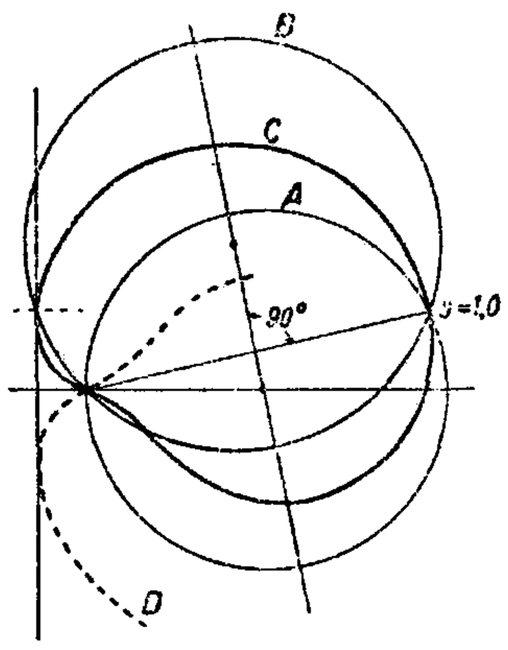
$$E_kI_{21}=\frac{sE_2}{\cos\varphi}\cdot\operatorname{tg}\varphi\cdot\frac{I_2}{\cos\varphi}=E_2I_2\cdot\frac{s}{\cos^2\varphi}\cdot\operatorname{tg}\varphi.$$

Т. к. можно считать, что мощность двигателя на фазу равна $\frac{E_2I_2}{\eta}$, то при компенсации $\cos\varphi$ со стороны ротора

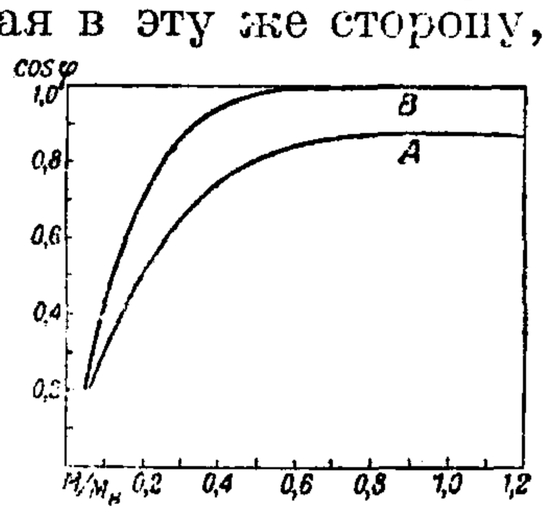
$$KVA_k=KVA_A\cdot\frac{s}{\eta\cos^2\varphi}\cdot\operatorname{tg}\varphi.$$

На фиг. 49 представлена круговая диаграмма A двигателя без компенсатора, B—круговая диаграмма с ненасыщенным компенсатором, дающим $\cos\varphi=1$ при полной нагрузке, и C—уплощенная диаграмма конца вектора первичного тока двигателя, дающего также $\cos\varphi=1$ при полной нагрузке. В последнем случае улучшение $\cos\varphi$ начинает наступать при меньших нагрузках, чем в случае ненасыщенного компенсатора. В обоих случаях кривая тока проходит выше, чем в круговой диаграмме A без компенсатора, поэтому наличие компенсатора повышает перегрузочную способность двигателя. На фиг. 50 представлены кривые $\cos\varphi$ двигателя при изменении нагрузки: кривая A—при отсутствии компенсатора, а кривая B—при наличии компенсатора.

13. Однофазный асинхронный двигатель. а) Принцип действия. Однофазный асинхронный двигатель имеет пульсирующую мдс, к-рая м. б. разложена на две мдс, вращающиеся в противоположные стороны и имеющие равные амплитуды. Поэтому однофазная обмотка м. б. заменена двумя другими, питаемыми трехфазным током и соединенными т. о., что одна дает поле, вращающееся в одном направлении, а другая—в противоположном. При неподвижном двигателе обе мдс действуют на ротор одинаковым образом, создавая в нем вращающие моменты, направленные в противоположные стороны и взаимно уравновешивающиеся. Если привести ротор во вращение в одну сторону, то мдс, действующая в эту же сторону,



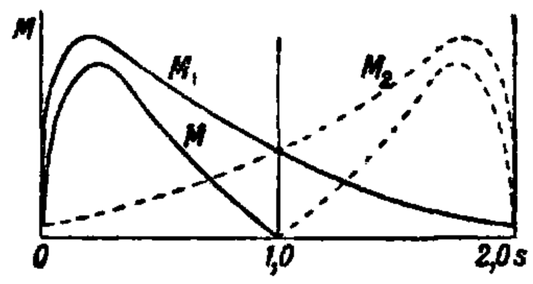
Фиг. 49.



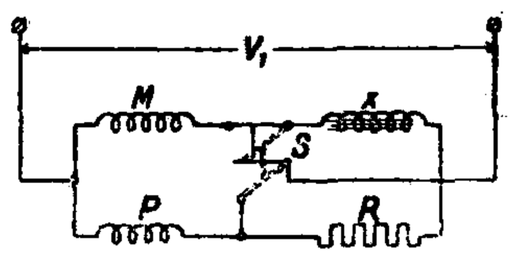
Фиг. 50.

создает в нем ток с частотой sf_1 и образует момент M_1, который действует в направлении вращения ротора. Другая обмотка будет иметь мдс, действующую против направления вращения ротора и создающую в нем режим тормоза. Ток от этой обмотки будет иметь частоту $(2-s)f_1$, которая образует момент M_2, действующий против направления вращения ротора. На фиг. 51 представлены кривые вращающих моментов M_1 и M_2, построенные для скольжений от $s=0$ до $s=2$ относительно поля первой обмотки. Из этих кривых видно, что при $s=1{,}0$ оба момента уравновешивают друг друга; если же двигатель вращается в какую-либо сторону, то момент, увлекающий ротор в этом направлении, превышает обратный момент.

При замкнутом роторе намагничивающий ток однофазного двигателя почти вдвое больше, чем при разомкнутом; поэтому $\cos\varphi$



Фиг. 51.



Фиг. 52.

однофазного двигателя ниже, чем трехфазного. Т. к. обратное поле создает обратный момент и вызывает добавочные потери в роторе, то кпд однофазного двигателя также меньше, чем трехфазного.

б) Пуск в ход однофазного двигателя. Т. к. однофазный двигатель не развивает начального момента, то для пуска его в ход применяется вспомогательная пусковая обмотка, сдвинутая в пространстве относительно основной на 90°. Для получения сдвига токов во времени в обеих обмотках, в главную обмотку P включается при пуске омич. сопротивление R, а во вспомогательную M—самоиндукция x (фиг. 52). Т. к. обе обмотки сдвинуты в пространстве на 90°, а токи в них сдвинуты на угол, меньший 90°,

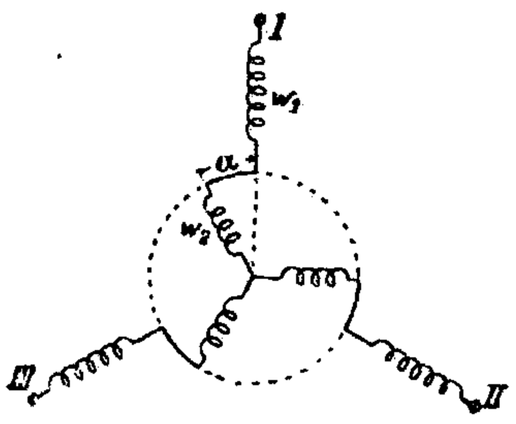
то в результате образуется эллиптическое вращающееся поле, создающее вращающий момент в направлении его движения. При пуске рубильник S ставится в верхнее положение, а при работе—в нижнее, обозначенное пунктиром.

Однофазный двигатель имеет также круговую диаграмму, дающую возможность получать его характеристики. Однофазные двигатели получаются заводским путем из моделей трехфазных, при чем $^2/_3$ пазов заполнены основной обмоткой и $^1/_3$ — пусковой. Поэтому тип однофазного двигателя позволяет получать из данной модели приблизительно $^2/_3$ мощности трехфазного.

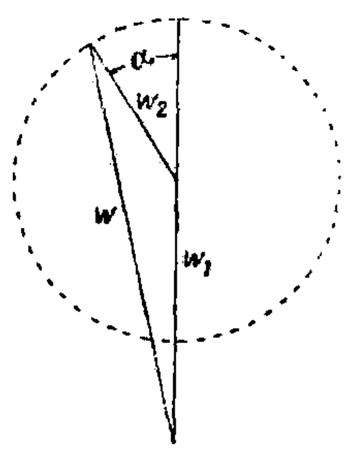
14. Трехфазный асинхронный двигатель как катушка самоиндукции. Если соединить статор и ротор трехфазного двигателя т. о., чтобы поля их вращались в одном направлении, то при повороте ротора и закреплении его в неподвижном положении получается симметричная регулируемая катушка самоиндукции (фиг. 53). Результирующее число витков такой катушки будет равно

$$w = \sqrt{(w_1k_1)^2 + (w_2k_2)^2 + 2w_1k_1w_2k_2\cos\alpha},$$

где w_1k_1 — действующее число витков статора, w_2k_2 — число витков ротора и α — угол

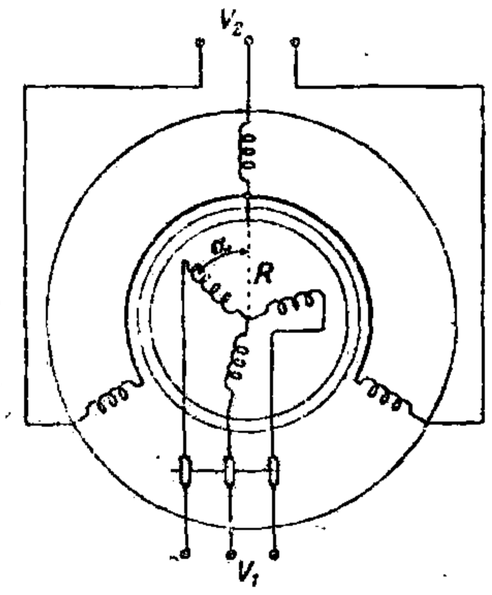


Фиг. 53.

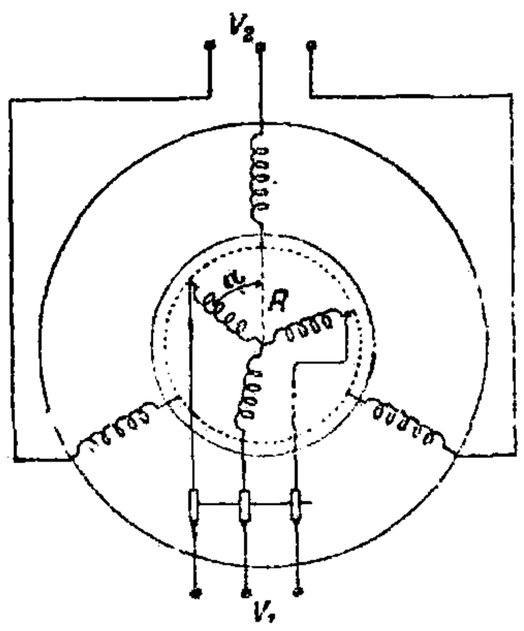


Фиг. 54.

сдвига между соответствующими осями катушек (фиг. 54). Магнитный поток Φ такой катушки самоиндукции будет приблизительно равен $\frac{V_1}{\frac{2\pi}{\sqrt{2}} f_1 w_1}$ и будет изменяться вместе с углом α. Соответственно будет изменяться и намагничивающий ток, создающий поток Φ; поэтому такая катушка будет потреблять различный реактивный ток, при изменении к-рого будут одновременно изменяться и поля рассеяния статора и ротора. При $\alpha=0°$ система будет иметь наибольшее реактивное результирующее сопротивление



Фиг. 55.



Фиг. 56.

и потому будет потреблять наименьший реактивный ток. При $\alpha=180°$, наоборот, система будет иметь наименьшее реактивное сопротивление и соответственно будет потреблять наибольший реактивный ток. Описанный выше тип трехфазной катушки самоиндукции особенно распространен в лабораторной практике.

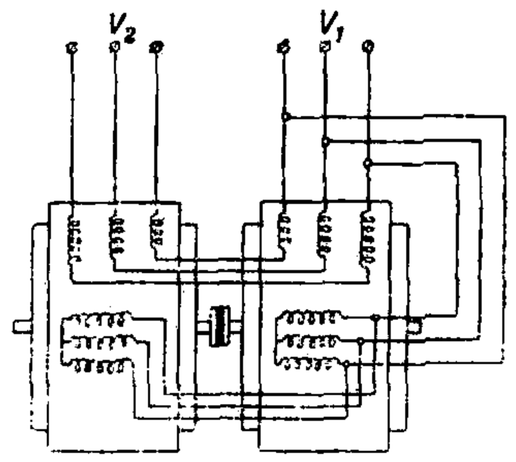
15. Потенциальный регулятор. Если присоединить статор асинхронного двигателя к одной сети, а ротор—к другой, то при повороте ротора и закреплении его в неподвижном положении можно создавать любой сдвиг фазы эдс ротора относительно эдс статора (фиг. 55), благодаря чему двигатель превращается в трансформатор фазы. Если присоединить обмотку статора или ротора к сети, а три фазы обмотки, помещенной на другой части машины, соединить последовательно с фазами первой, то получится схема потенциального регулятора (фиг. 56). Первая обмотка w_1 создает в машине вращающееся магнитное поле, которое индуктирует во второй обмотке добавочное напряжение E_2, геометрически складывающееся с напряжением первой обмотки E_1. Т. о. можно получить максимальное напряжение $E_{n_{max}} = E_1 + E_2$ и минимальное $E_{n_{min}} = E_1 - E_2$. Если обмотка w_2 сдвинута от оси обмотки w_1 на угол α, отличный от 0 и 180°, то результирующее напряжение E_n получится как геометрическая сумма напряжений E_1 и E_2:

$$\overline{E}_n = \overline{E}_1 + \overline{E}_2.$$

Потенциальный регулятор рассчитывается на отдаваемую им кажущуюся мощность:

$$KVA_n = 3I \cdot \frac{E_{max} - E_{min}}{2 \cdot 10^3}.$$

Так же, как в трехфазном асинхронном двигателе, в потенциальном регуляторе получается нек-рый вращающий момент, соответствующий мощности, к-рая передается из первичной цепи во вторичную. Для уничтожения момента на валу регулятора, а также сдвига по фазе между первичным и вторичным напряжением применяется сдвоенный потенциальный регулятор по схеме фиг. 57. В этом регуляторе при всех угловых положениях ротора эдс E_1 и E_n практически совпадают по фазе, а т. к. моменты обеих частей направлены навстречу, то в этом случае отсутствует общий момент на валу. Регулятор фаз применяется в лабораториях для проверки приборов при различных $\cos\varphi$ и в каскадных установках для добавочного поворота фазы коллекторной машины, напр. в схеме Кожисека. Потенциальный регулятор применяется для регулирования напряжения у приемников в сетях с большим колебанием напряжения.

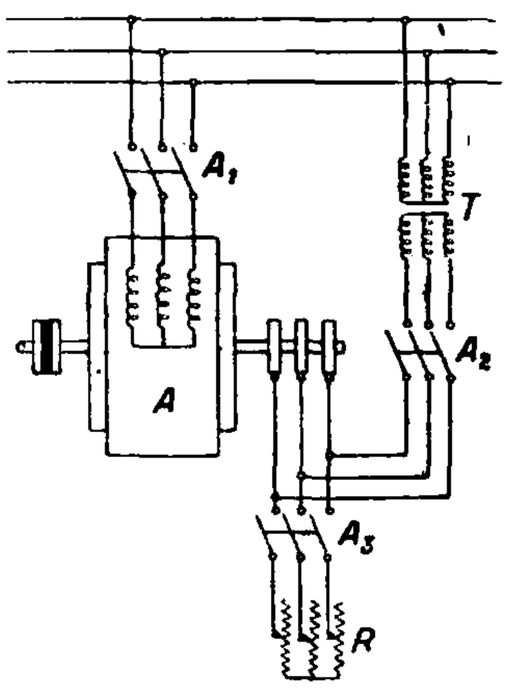


Фиг. 57.

16. Асинхронная машина двойного питания. Асинхронная машина, у к-рой статор и ротор выполнены с одинаковым числом витков, м. б. обращена в синхронную. Для этого фазы статора и ротора соединяют в обратном порядке так, чтобы при неподвижном роторе поля статора и ротора вращались в противоположн. направлениях. Если при помощи внешн. силы довести ротор до двойной

синхронной скорости и включить статор на сеть, то поле статора начнет вращаться относительно ротора в обратном направлении; поэтому, если после совпадения фаз присоединить к той же сети и ротор, то машина будет вращаться синхронно независимо от нагрузки. Намагничивающий ток будет доставляться поровну статором и ротором. При нагрузке машины как двигателя ротор несколько отстает по фазе от вращающегося поля, но будет продолжать вращаться синхронно. При генераторном режиме ротор, наоборот, несколько опередит по фазе поле. Подобно асинхронному генератору машина двойного питания получает намагничивание из сети и поэтому должна работать параллельно с синхронной машиной.

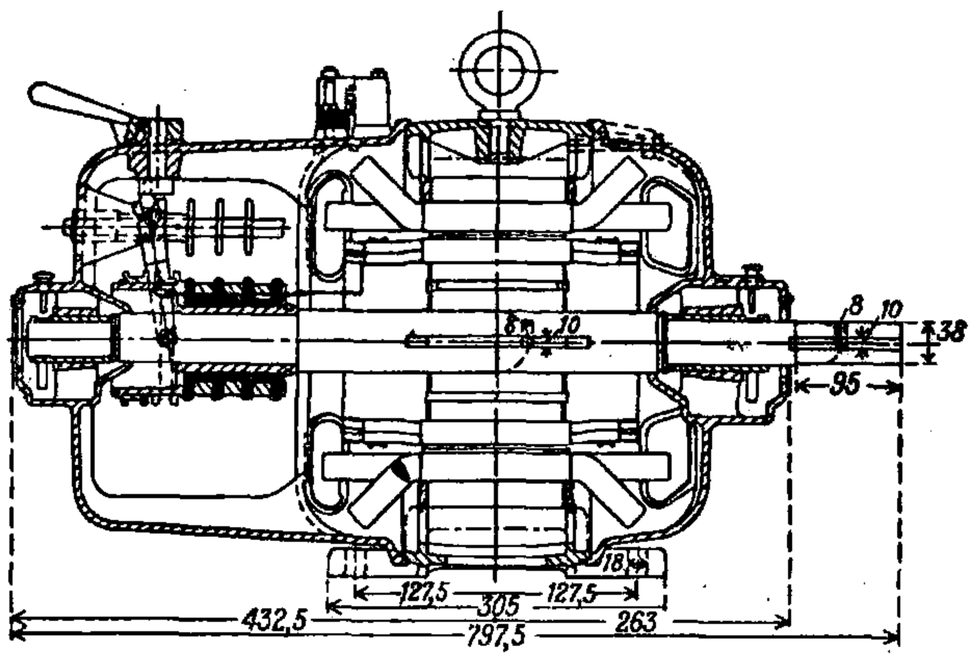
Двойное питание м. б. осуществлено и при нормальной, а не двойной, скорости вращения по схеме Толвинского. Для этого фазы статора и ротора, как было уже сказано, соединяются в обратном порядке. Сначала с сетью соединяется только статор, и двигатель доводится до синхронной скорости или близкой к ней, после чего к сети присоединяется и ротор. Т. к. в этом случае ротор вращается в направлении, обратном направлению вращения его собственного поля, то это поле будет вращаться относительно статора с таким же малым скольжением, с каким поле статора вращается относительно ротора. Если числа витков статора и ротора не равны, то в этом случае ротор присоединяется к сети через трансформатор T с соответствующим коэфф-том трансформации (фиг. 58). При включении такого двигателя сначала присоединяется через рубильник A_1 к сети статор, и двигатель запускается в ход пусковым реостатом R при включенном A_3 и выключенном A_2. По достижении двигателем нормальной скорости рубильник A_3 размыкается, а рубильник A_2 немедленно замыкается, после чего двигатель переходит на режим работы асинхронного двигателя двойного питания. При работе двигателя по этой схеме в цепи его статора протекают одновременно токи основной частоты f_1 и частоты скольжения $sf_1 = f_2$. Максимальная мощность такого двигателя, при условии незначительного сопротивления сети, возрастает почти в 2 раза, т. к. момент вращения образуется как полем статора, так и главным полем ротора, но продолжительная мощность двигателя изменяется весьма мало.

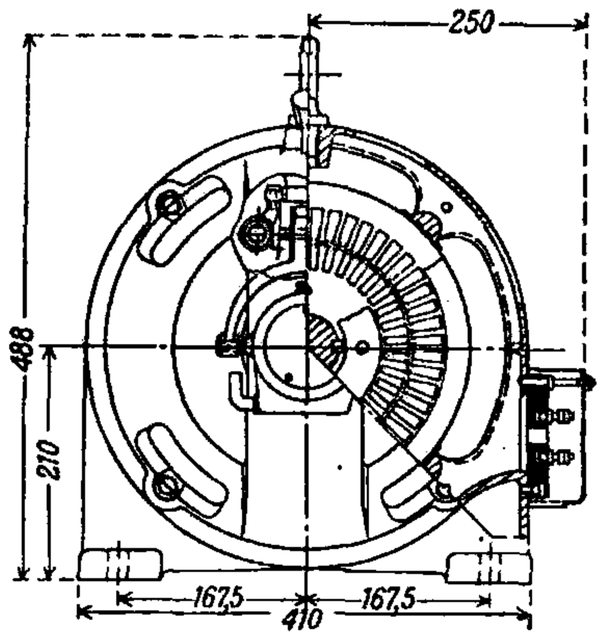


Фиг. 58.

17. Конструкция И. м. Конструкция И. м. в сильной степени определяется системой ее о х л а ж д е н и я и способом з а щ и т ы от попадания внутрь ее посторонних тел: капель дождя, пыли и т. п.

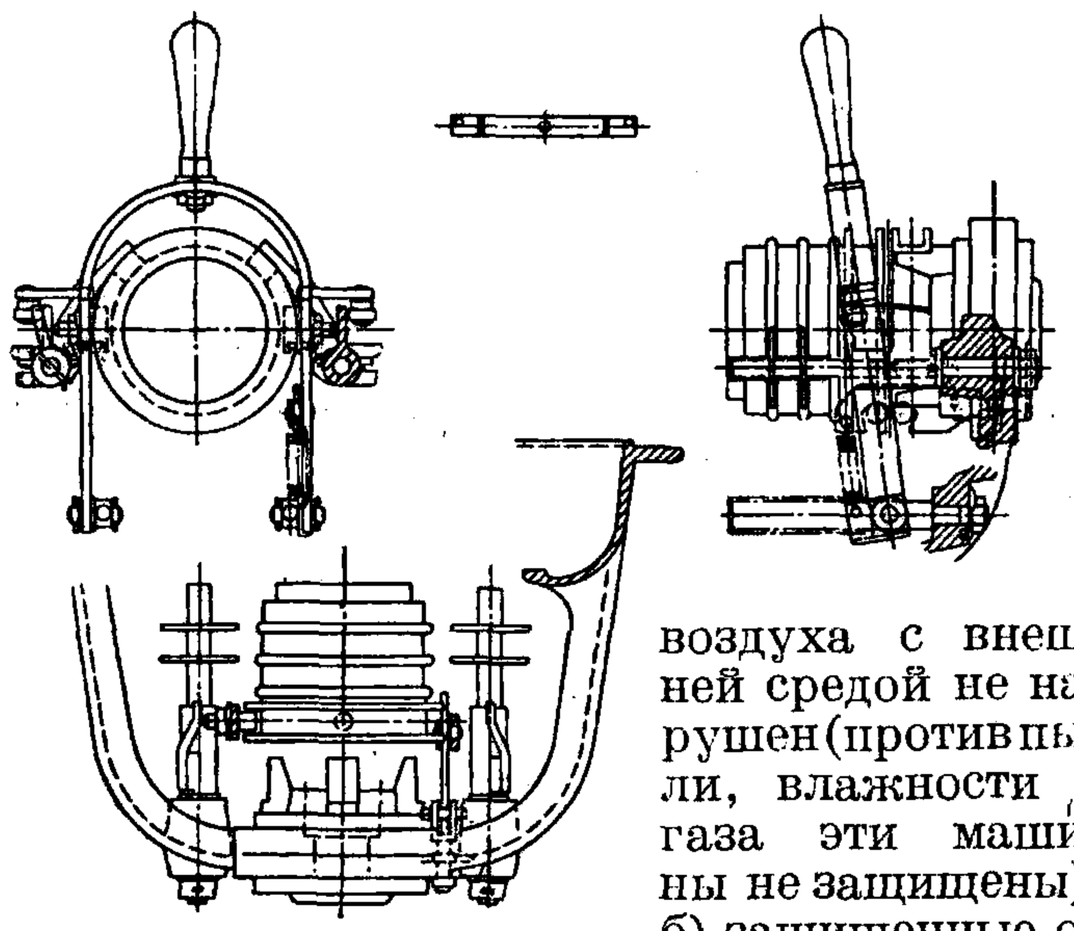
По способу охлаждения И. м. разделяются на следующие типы. 1) Машины с естественным охлаждением, не имеющие никаких приспособлений для охлаждения. 2) Машины с самовентиляцией, охлаждение которых достигается вентилятором, составляющим одно целое с вращающейся частью. 3) Машины с посторонним охлаждением, к к-рому охлаждающая среда подается вентилятором, работающим независимо от машины.





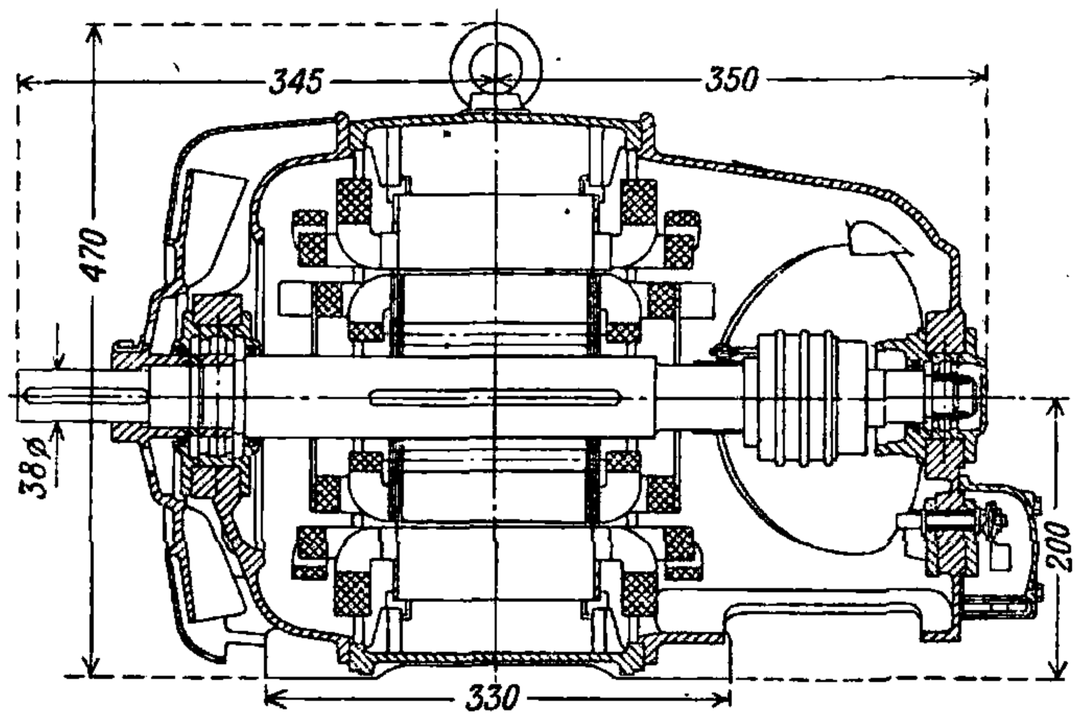
Фиг. 59.

По способу защиты И. м. разделяются на следующие типы. 1) Открытые машины, в к-рых все вращающиеся и токопроводящие части не имеют специальных защитных приспособлений. 2) Защищенные машины, к-рые в свою очередь разделяются на: а) защищенные машины, у к-рых обмотки и другие части, находящиеся под напряжением или в движении, защищены от случайного прикосновения или проникновения внутрь посторонних тел, но т. о., что свободный обмен


Фиг. 60.

воздуха с внешней средой не нарушен (против пыли, влажности и газа эти машины не защищены); б) защищенные от падения капель сверху (капежа); в) защищенные от дождя и брызг; имеют приспособления от проникновения водяных капель и брызг любого направления. 3) Закрытые машины, которые в свою очередь разделяются на: а) закрытые, которые, не будучи абсолютно герметическими, не имеют других отверстий, кроме отверстий для скрепляющих болтов и выводов; б) закрытые вентилируемые с независимым охлаждением, к которым воздух подводится посредством труб или каналов; в) герметические, к-рые имеют плотно закры-

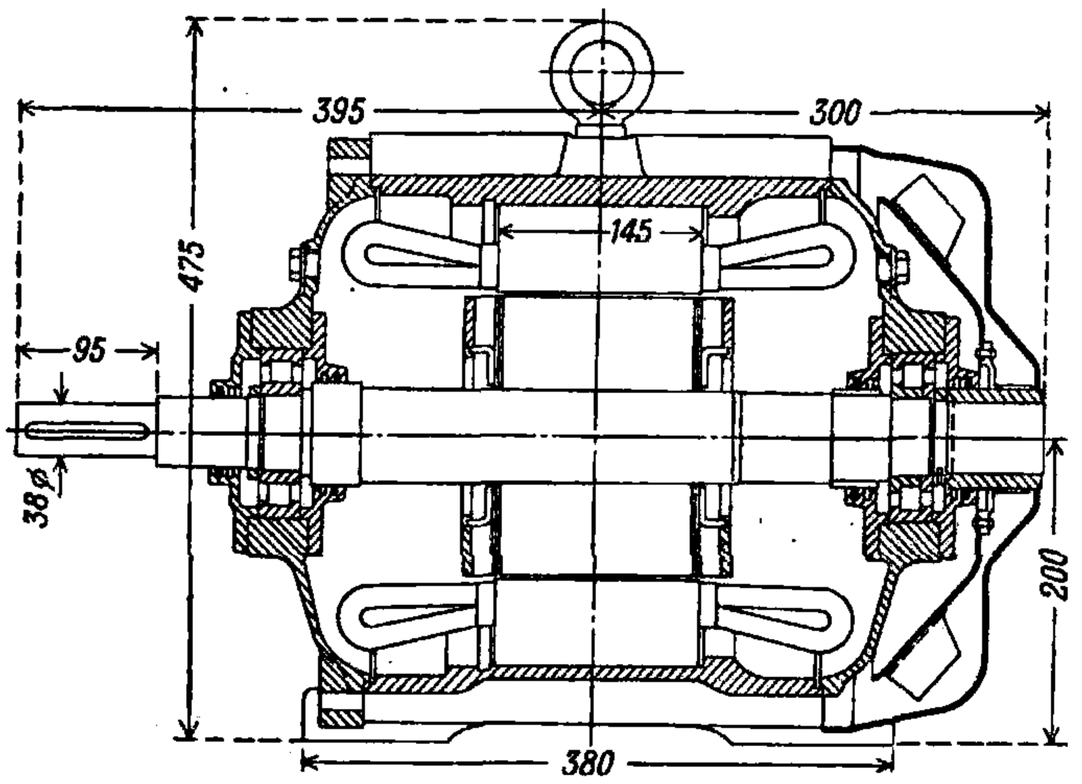
тый корпус, не допускающий проникновения внутрь влаги даже при погружении в воду. 4) Машины с защитой против взрыва, к-рые в свою очередь разделяются на: а) машины с защитой против взрыва, к-рые имеют специальный кожух достаточно прочный, чтобы



Фиг. 61.

противостоять взрыву газа внутри машины; б) машины с противовзрывной защитной оболочкой для контактных колец.

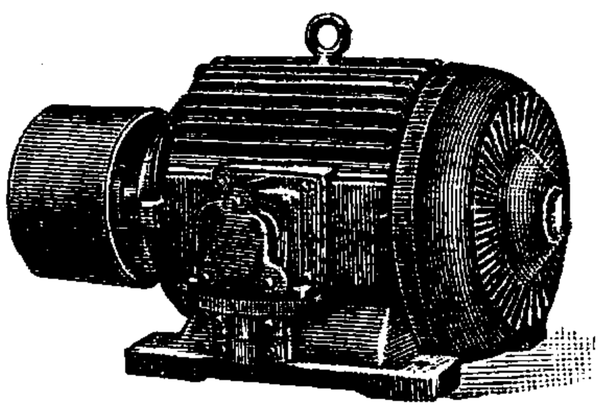
Асинхронные двигатели в зависимости от их назначения выполняются в форме всех вышеперечисленных типов. Наиболее распространенным является открытый самовентилирующийся двигатель. На фиг. 59 представлены продольный и поперечный разрезы открытого самовентилирующегося асинхронного двигателя з-да «Электросила» с контактными кольцами. В зависимости от числа полюсов, на к-рые выполнена обмотка, этот тип дает различную мощность: при 1 500 об/м. 10 kW, при 1 000 об/м. 6,8 kW, при 750 об/м. 4,5 kW. Двигатель имеет специальное приспособление для подъема щеток и замыкания ротора накоротко. На фиг. 60 представлен отдельно конструктивный чертеж приспособления для подъема щеток фирмы SSW, применяемого этой фирмой в маломощных двигателях. На фиг. 61 представлен продольный разрез закрытого с вентиляцией двигателя фирмы SSW в 11 kW, 1 500 об/м., с контактными кольцами без подъема щеток.



Фиг. 62.

Охлаждение закрытых двигателей достигается или обдуванием внешней ребристой поверхности с помощью вентилятора, посаженного на вал с внешней стороны корпуса, или же с помощью установленного в нем небольшого воздухоохладителя, внешняя и внутренняя поверхности к-рого обдуваются специальными вентиляторами. На фиг. 62 представлен поперечный разрез двигателя SSW с обдуваемой оболочкой в 10 kW при 1 500 об/м. с высоким пазом для получения большого пускового момента. Внешний вид двигателя представлен на фиг. 63. Двигатели этого типа применяются для работы в газовых шахтах, так как они не имеют контактных колец, могущих быть источником искры и взрыва при проникновении газа внутрь двигателя.

Асинхронные двигатели могут выполняться на весьма значительную мощность, особенно в прокатных установках. Наибольшие по мощности асинхронные двигатели построены в настоящее время американской фирмой GEC. Эти двигатели обладают мощностью в 16 600 kW, 317 об/м., и предназначены для электрического привода гребных винтов военного корабля.



Фиг. 63.

Асинхронные двигатели строятся в СССР в настоящее время на Харьковском электромеханическом заводе и на заводе «Электросила» в Ленинграде.

Потенциальные регуляторы. Благодаря отсутствию непрерывно вращающейся части потенциальные регуляторы обычно имеют или усиленную вентиляцию с помощью отдельного вентилятора или систему масляного охлаждения.

Лит.: Круг К. А., Асинхронные двигатели, М.—Л., 1929; Бенишке Г., Асинхронные двигатели трехфазного тока, СПБ, 1912; Холуянов Ф. И., Асинхронные двигатели однофазного и трехфазного тока, 2 изд., М.—Л., 1927; Шенфер К. И., Асинхронные машины, М.—Л., 1929; Пиотровский Л. М. и Попов В. К., Испытание машин переменного тока, вып. 2—Испытание индукционных машин и преобразователей, Л., 1927; Курбатов С. И., Сдвиг фаз в электрич. установках и средства для его уменьшения, М., 1925; Arnold R.—la Cour E., Wechselstromtechnik, B. 5, T. 1, B., 1909; Sallinger F., Die asynchronen Drehstrommaschinen, B., 1928; Biermanns J., Überströme in Hochspannungsanlagen, B., 1926; Fowle F., Standard Handbook for Electrical Engineers, 5 ed., N. Y., 1922; Heubach J., Der Drehstrommotor, 2 Aufl., B., 1923; Hobart H., Electric Motors, v. 1, London, 1923; Schait H., Der Drehstrominduktionsregler, Berlin, 1927; Zabransky H., Die wirtschaftliche Regelung von Drehstrommotoren durch Drehstrom-Gleichstrom-Kaskaden, Berlin, 1927.

М. Костенко.

ИНДУКЦИЯ. I. И. электростатическая (влияние)—перемещение электрич. зарядов в материальных телах под влиянием электростатич. поля. Если поместить диэлектрик в электростатич. поле, напряженность к-рого определяется вектором $\boldsymbol{E}$, то протоны и электроны, из к-рых состоит это тело, испытывают нек-рое смещение: протоны перемещаются в направлении поля, электроны—в противоположном направлении. Однако, это смещение достигает только ничтожных размеров, т. к. более заметное смещение повело бы к разрушению молекул диэлектрика. В результате на поверхности тела образуются заряды, т. е. недостаток электронов с одной стороны и избыток—с другой. Если поместить проводник в электростатич. поле, то свободные электроны, находящиеся в проводнике, будут до тех пор перемещаться в

поле и накопляться на поверхности проводника, пока поле, образованное этими свободными зарядами, не будет в точности компенсировать внешнее поле внутри диэлектрика, так что результирующее поле в каждой точке будет равно нулю. Количественное выражение этих соотношений см. *Электростатика*. Практически электростатич. И. пользуются для создания сильных электрич. полей (см. *Электростатическая машина* и *Электрофор*). В литературе также приходится встречать термин электростатической И. для обозначения вектора электрического смещения.

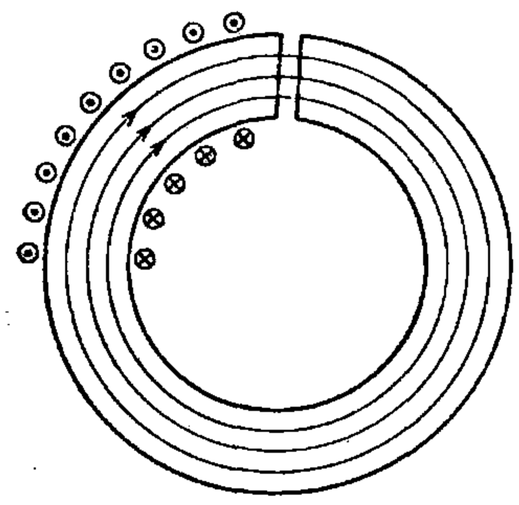
2. И. магнитная—вектор $\boldsymbol{B}$, определяемый тем условием, что скорость уменьшения потока этого вектора через любую поверхность равняется электрич. напряжению, индуктируемому вдоль замкнутой линии, окаймляющей эту поверхность:

$$\oint_K \boldsymbol{E}\,d\boldsymbol{r} = -\frac{d}{dt}\int_S \boldsymbol{B}\,d\boldsymbol{S}\,.$$

В дифференциальной форме эта зависимость выражается в виде ур-ия Максвелла:

$$\operatorname{rot}\boldsymbol{E} = -\frac{d\boldsymbol{B}}{dt}\,,$$

где $\boldsymbol{E}$—напряженность электрич. поля. Для большинства тел вектор $\boldsymbol{B}$ пропорционален напряженности магнитного поля $\boldsymbol{H}$, т. е. $\boldsymbol{B}=\mu\boldsymbol{H}$, при чем коэфф. пропорциональности μ, называемый магнитной проницаемостью, весьма мало изменяется от одного тела к другому. Если измерять $\boldsymbol{B}$ в гауссах, а $\boldsymbol{H}$ в А/*см*, то для вакуума $\mu=\mu_0=1{,}256$. Для парамагнитных тел $\mu>\mu_0$, для диамагнитных тел $\mu<\mu_0$, но во всяком случае разность $\mu-\mu_0$ остается очень маленькой величиной—порядка 10^{-5}. Если измерять $\boldsymbol{H}$ и $\boldsymbol{B}$ в гауссах, то для вакуума будет $\boldsymbol{H}=\boldsymbol{B}$, т. е. $\mu_0=1$. В однородной среде можно было бы описать магнитное поле при помощи одного только вектора $\boldsymbol{H}$. В неоднородной среде это сделать не удается. Если пропустить электрич. ток через кольцевую катушку (см. фиг.), то внутри этой



катушки возникает магнитное поле, напряженность к-рого $\boldsymbol{H}$, по закону полного тока, зависит исключительно от ампервитков, помещаемых на катушке. Следовательно, $\boldsymbol{H}$ не должно измениться, если поместить железное кольцо внутри катушки. Однако, если выпилить узкую щель в одной из меридианных плоскостей кольца, то в этой щели можно наблюдать поле $\boldsymbol{H}'$, значительно большее, чем $\boldsymbol{H}$. Это объясняется тем обстоятельством, что молекулярные токи внутри железа, т. е. электроны, вращающиеся по круговым орбитам, ориентируются под влиянием поля $\boldsymbol{H}$, так что по мере возрастания $\boldsymbol{H}$ все большее число орбит поворачивается, и их ось вращения становится параллельной $\boldsymbol{H}$. Вместо беспорядочного распределения орбит все большее число их располагается т. о., что усиливает ампервитки катушки. Следовательно, к полю $\boldsymbol{H}$, создаваемому ампервитками катушки, прибавляется новое поле, обычно обозначаемое при помощи магнитной восприимчивости $\varkappa$: $4\pi\varkappa\boldsymbol{H}$. Таким образом, поле катушки и поле молекулярных токов создают вместе результирующее поле, равное вектору индукции

$$\boldsymbol{B} = \boldsymbol{H} + 4\pi\varkappa\boldsymbol{H} = (1+4\pi\varkappa)\boldsymbol{H},$$

откуда $\mu = 1+4\pi\varkappa$, или $\varkappa = \frac{\mu-1}{4\pi}$.

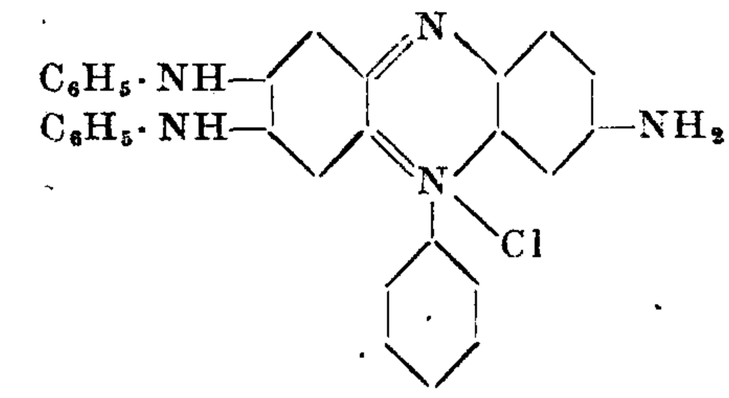
Часто называют вектор $\varkappa\boldsymbol{H}$ намагничиванием и обозначают его буквой J: $J=\varkappa\boldsymbol{H}$, так что $\boldsymbol{B}=\boldsymbol{H}+4\pi J$. Для тел парамагнитных $\varkappa>0$, для тел диамагнитных $\varkappa<0$. Для этих тел $\varkappa$ имеет величину порядка 10^{-6}. Совершенно иначе обстоит дело с ферромагнитными телами (Fe, Ni и т. д.), для к-рых $\varkappa$ может равняться нескольким сотням, при чем $\varkappa$, а следовательно, и μ не только зависят от $\boldsymbol{H}$, но также и от предыдущей истории тела. В настоящее время еще нет возможности дать исчерпывающие объяснения для различия между диамагнитными, парамагнитными и ферромагнитными телами. На практике редко применяют магнитную И. свыше 20 000 гауссов, т. к. при таких размерах И. уже наступает насыщение и дальнейшее увеличение $\boldsymbol{B}$ происходит за счет внешних ампервитков, а не за счет ампервитков молекулярных токов. Т. о., приходится затрачивать много энергии на потери в обмотке возбуждения, да и потери на гистерезис и токи Фуко при переменном токе сильно возрастают. Для научных целей Капице удалось получать на весьма короткий промежуток времени магнитную И. до 300 000 гауссов.

Следует заметить, что вектор $\boldsymbol{B}$ не имеет источников, $\operatorname{div}\boldsymbol{B}=0$, так что линии вектора $\boldsymbol{B}$ всегда замкнуты или, во всяком случае, не имеют ни начала ни конца.

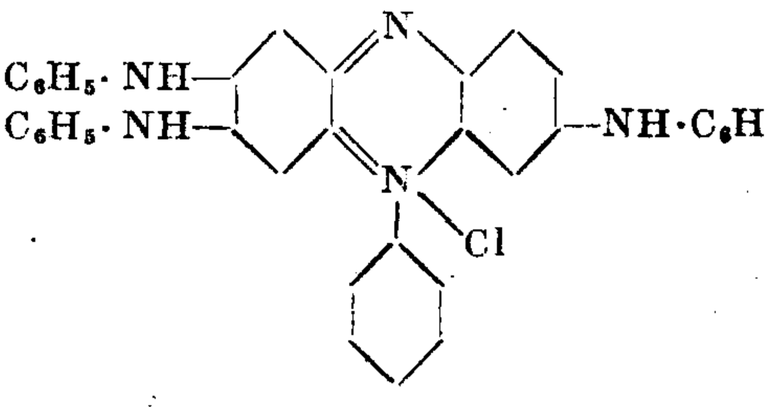
Лит.: Тамм И. Е., Основы теории электричества, т. 1, М.—Л., 1929; Cohn E., Das elektromagnetische Feld, B., 1927. **Я. Шпильрейн.**

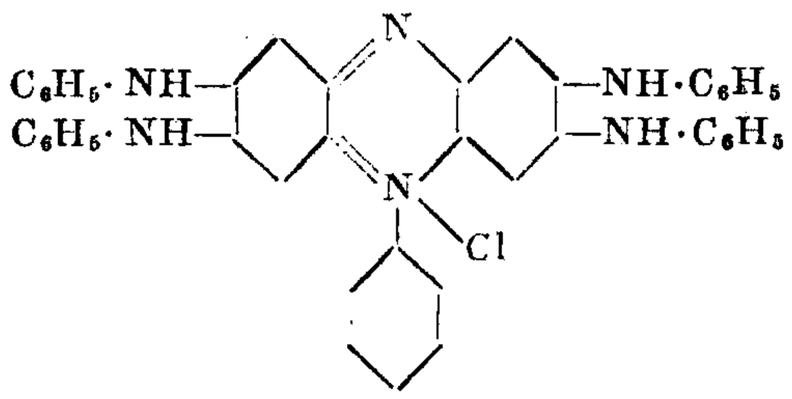
ИНДУЛИНЫ, красящие вещества, по своему химич. строению относящиеся к классу азониевых красителей, получаемые при сплавлении аминоазобензола с анилином и хлористоводородной его солью. И. не представляют собой химических индивидуумов и являются смесью производных феносафранина, преимущественно анилидофенилфеносафранина (I), анилидодифенилфеносафранина (II) и дианилидодифенилфеносафранина (III):

I.



II.



III. 

И. поступает в продажу либо в виде спиртового или ацетинового И., представляющего собой приведенные выше, получаемые непосредственно из плава хлористоводородные соли азониевых оснований, либо в виде жирового И., являющегося смесью оснований красителя с воском, парафином или жиром, либо в виде водяного И., представляющего натриевые соли сульфокислот красителей. Спиртовой И. применяется для получения спиртовых лаков и отчасти в ситцепечатном деле, для набивки хл.-бумажных тканей по таннинной протраве (ацетиновый голубой). Жировой И. применяется для приготовления мази для обуви, водяной И. находит некоторое применение в окраске шелка, протравленного фосфорнокислым цинком. Конкурентами И. являются более дешевые нигрозины, получаемые сплавлением анилина и хлористоводородного анилина с нитробензолом в присутствии железных опилок и также дающие марки, растворимые в спирте, жирах и воде.

Лит.: Fierz-David H. E., Künstliche organische Farbstoffe, B., 1926; Rowe F., Colour Index, N. Y., 1925.

И. Иоффе.

ИНДУСТРИАЛИЗАЦИЯ, перевод на новейшую машинную технику всего хозяйства страны, в том числе и земледелия; процесс, характеризующийся огромным ростом производительности труда. Целью капиталистич. И. является извлечение наибольших прибылей. Когда буржуазия находит другие, более простые и выгодные способы повышения прибылей, она отказывается от пути И. (процесс деиндустриализации Англии, процесс загнивания капитализма в эпоху монополий). Социалистич. И.—метод хозяйственной политики пролетариата, направленной на преобразование старого и построение нового социалистич. общества (см. *Социалистическое строительство*), выражение процесса производственно-технич. реконструкции народного хозяйства.

Научный анализ развития капитализма, данный Марксом и Лениным, показывает невозможность для капитализма существовать без кризисов, войн, крахов отдельных частей системы и неизбежность конечной гибели капиталистич. общества с приходом на смену ему в результате ряда революций нового общественного строя. Чтобы уяснить себе направление советской социалистической И., необходимо с определенной ясностью представить черты того нового общественного порядка, к-рый из «призрака, бродящего по Европе», превращается руками рабочего класса в самую доподлинную реальность. Каковы же черты этого нового общества? Социалистический строй—низшая фаза коммунизма—характеризуется таким развитием производительности труда на основе растущей техники, которое дает возможность целиком обобществить производство как в промышленности, так и в сел. х-ве, при чем все хозяйство страны начинает вестись по плану. Ликвидируются в связи с этим рыночные отношения. Исчезает разница между городом и деревней. Делается невозможной эксплоатация человека человеком. Ликвидируется классовое деление общества. Государство отмирает, но еще не отмерло. В индивидуальной психике и в общественных отношениях сохраняются еще черты буржуазного права. Производительность труда, развитая настолько высоко, чтобы обобществить все производства, еще недостаточна, чтобы уничтожить различие между физическим и умственным трудом (задача, решаемая при коммунизме). Принципом распределения является: «от каждого по способностям, каждому по труду» (следы некоторого неравенства). Труд является еще обязанностью членов общества. Но, освобожденное от рабства капиталистического строя человечество, его умственные и нравственные способности получают мощный толчок для своего развития, продуктом к-рого является быстрейший рост технич. и научных завоеваний. Все это позволяет производительным силам общества уйти неизмеримо далеко вперед по сравнению с развитием их в капиталистич. эпоху.

Каких же количественных выражений должны достичь основные показатели народного хозяйства, в первую очередь обобществленного сектора, чтобы можно было перейти собственно к социалистич. строю? Здесь имеются определенные подсчеты, данные т. Сабсовичем в его гипотезе генерального плана (принятые Госпланом в качестве ориентировки), к-рые говорят о том, что обобществление всего народного хозяйства м. б. проведено за счет промышленности. Основа расчета — 20%-ный ежегодный прирост промышленной продукции. Это дает возможность за 15 лет, к 1942/43 году, увеличить промышленную продукцию по сравнению с 1927/28 г. в 27,5 раз, реальную заработную плату—в 4—6 раз, уменьшить продолжительность рабочего дня и в промышленности и в сельском х-ве до 5 час., обобществить целиком сельское х-во на основах крупной машинной техники, вложив из промышленных накоплений в другие отрасли народного хозяйства 35,4 млрд. за последний год, а за 15 лет—140 млрд. рублей, и увеличив действующий основной капитал промышленности до 137 млрд. а валовую продукцию—до 243 млрд. руб. Сумма всех капитальных работ за 15 лет определяется в 201 млрд., а за 20 лет—в 740 млрд. рублей. Хозяйственные результаты первого года пятилетки и контрольные цифры второго далеко опережают эту смелую гипотезу—они показывают прирост продукции на 24,3 и 32,3% вместо 21,4 и 21,5%, предполагавшихся по оптимальному варианту пятилетки. Это позволяет т. Сабсовичу делать новые наметки гипотезы генерального плана, исходящие из роста по годам пятилетки в 24—32—42,5 — 46,5— 49% (увеличение за 5 лет со 100 до 512% вместо предполагавшихся 279%). Если к концу первого пятилетия мы повысим ежегодный прирост продукции, до вполне возможных при новой технике 50%, а на следующее пятилетие оставим этот прирост стабильным, то запроектированные на 15 лет размеры продукции народного хозяйства будут достигнуты в 10 лет. Будет создан совершенно новый основной капитал промышленности по последнему слову мировой науки и техники, будут достигнуты и отчасти превзойдены размеры американской промышленности. Что такие перспективные подсчеты в настоящее время по ходу нашего хозяйствен. развития назрели и совершенно необходимы, показывает обсуждающийся сейчас в Госплане вопрос: составлять ли после пятилетки генеральный 15-летний план или же прямо надо давать план построения развернутого социализма.

Решающим фактором самостоятельности и мощи страны являются ее энергетические

ресурсы. Изменения по пятилетке произойдут в СССР такие: если первичные установки (электростанции общего пользования, фабрично-заводская промышленность, транспорт, с. х-во, мелкая промышленность) в 1927/28 г. дают 13 930 млн. kWh, то в 1932/33 г. это будет уже 31 490 млн. kWh (рост до 226,1%), а с учетом скота—32 130 и 53 793 млн. kWh (рост до 162,4%). Энерговооруженность на 1 жит. в СССР для 1926 г. (выражающаяся энергетич. показателем) ниже, чем в С. Ш. А., в 11,2 раза, ниже Германии в 5,2, ниже Англии в 4,4, ниже Франции в 2,7 раза. За пятилетие энерговооруженность у нас сильно возрастет. На 1 рабочего в 1927/28 г. и в 1932/33 г. потребление всей энергии (в том числе и электроэнергии) в промышленности равно 2 421 и 4 677 kWh—рост до 193,2% (в том числе электрич. энергии 1 203 и 3 600 kWh—рост на 229,3%); на транспорте потребление энергии на 1 рабочего 4 032 и 6 250 kWh—рост до 155%; в сел. х-ве потребление всей энергии 324 и 391 kWh—рост до 120,7%, в том числе механическ. энергии 27,0 и 74,0 kWh—рост до 274,1%, и в частности электрич. энергии 0,54 и 3,0 kWh—рост до 555,6%. Запасы энергии в нашей стране характеризуются следующ. цифрами (в условном топливе) в млрд. *m*: каменного угля имеется всего 531,0 (100%), в том числе: Кузнецкий бассейн — 396,0 (74,5%), Донбасс—64,5 (12,2%), Иркутский бассейн—45,5 (8,6%), Минусинский — 12,3 (2,3%), Подмосковный—3,8 (0,7%). В 1932/33 г. из всей разработки в 100% на долю Донбасса падает 75,5%, Кузбасса—8,3%, Подмосковного—3,1%, Иркутского—1,1% и Минусинского — 0,3%. Торфодобыча возрастает с 7,2 млн. *m* в 1927/28 до 16 млн. *m* в 1932/33 г., добыча нефти — с 11,7 до 21,7 млн. *m*, дров — с 50,5 до 59,8 млн. *м*³, каменного угля—с 35,4 до 75,0 млн. *m*. Наличные запасы водной энергии в группах, сосредоточивающих больше 10 тыс. ⅌, составляют 39,4 млн. ⅌, сосредоточивающих меньше 10 т. ⅌—25,5 млн. ⅌; всего с округлением—65 млн. ⅌. Из этого запаса использовано всего 960 тыс. ⅌ (больше всего в Сев.-Зап. и Кавказском районе—по 110 тыс. ⅌, в Центрально-Промышленном районе—90 тыс. ⅌, в Западном, Средне-Волжском и Юго-Восточном—по 80 тыс. ⅌).

В области правильного использования энергии в плане И. следует отметить: теплофикацию—использование отходящего тепла с электростанций для целей отопления фабричных зданий, учреждений и жилищ (теплофикация целых городских районов); газификацию (дальний газ)—переработка далеко отстоящих от промышленных центров низкосортных видов топлива в газ и передача его на большие расстояния (в Германии уже на 400—500 *км*) для сжигания в двигателях внутреннего сгорания и для бытового потребления; использование пылевидного топлива (тоже с передачей по трубопроводам на значительные расстояния); коллоидное топливо (находящаяся во взвешенном состоянии в жидком топливе примесь пылевидного) с передачей по трубопроводам; наконец, нефтепроводы. Ко всем этим видам энергетич. сети присоединяется электрическ. сеть и быстро работающая «ткань транспорта». Это—энергетическая база индустриализации.

Основные тенденции развития самой промышленности в процессе И. таковы: 1) новое строительство с преимущественным ростом тяжелой промышленности; из суммы капитальных вложений за 5 лет в 18 640 млн. руб. (в ценах 1926/27 г.) 78% вкладывается в тяжелую, 22%—в легкую промышленность, а по отраслям первое место получает металл (31,8% всех вложений в промышленность), затем топливо (17,6%), текстиль (12,9%), химия (10,4%), строительные материалы(7,1%); 2) реконструкция — в узком смысле (расширение, переоборудование, деконсервирование), где—по стоимости работ за 5 лет—вместо одного Урала мы получаем как бы два новых Урала (753,7 млн. руб. вложений в реконструкцию в сравнении с 302,4 млн. основного капитала на 1 октября 1928 г.), получаем новую Центрально-Промышленную область (1 571,3 млн. руб. вложений по сравнению с 2 182,3 млн. руб. основного капитала), имеем новый Ленинград (639,0 млн. руб. по сравнению с 705,4 млн. руб. основного капитала) и новую Украину (2 662,0 млн. руб. по сравнению с 1 735,0 млн. руб. нынешнего основного капитала); 3) развитие новых производств—организация ряда таких производств, к-рые раньше или вовсе отсутствовали или существовали в зачаточном состоянии; таковы тракторостроение, вело-, авто- и авиастроение, ряд химич. и электротехнич. производств, производство новых строительных материалов, нового сырья в текстильной промышленности, производство точных и сложных машин и наиболее важного оборудования для разных отраслей промышленности (машины обувные, полиграфические, строительные, пишущие, врубовые, комбайны, сложные молотилки, часовое производство, велосипедное производство, машины для бумажной промышленности и т. д.), что освобождает нас от импорта и дает возможность учесть в строительстве все имеющиеся у нас и за границей достижения техники (специализация, стандартизация, рационализация, кооперирование предприятий и концентрация производства); 4) преимущественное строительство в течение пятилетия крупных объектов: на постройку з-дов, стоимостью от 20 до 50 млн. руб. каждый, вкладывается 19,2% всех вложений, на строительство, стоимостью свыше 100 млн. руб.—20,2% вложений; во всем новом строительстве предприятий стоимостью выше 20 млн. руб.—всего лишь 72 объекта, но на их долю приходится 3 824 млн. руб. из 7 833 млн. руб., т. е. 2,9% предприятий поглощают 49% вложений; из предприятий, стоимостью свыше 150 млн. руб. каждое, строится 9 металлургич. з-дов, к-рые обойдутся свыше $1^1/_2$ млрд. руб., т. е. больше, чем все капитальное строительство 1927/28 г. (=1 306 млн. руб.); каждый из этих з-дов по стоимости равен Днепрострою, Волховстрою, Турксибу; не исключается, однако, строительство мелких объектов в отдельных областях и в отсталых районах; 5) изменения в самой структуре промышленности: выдвижение на первый план, вместе с электрификацией, группы А в промышленности; иное, чем раньше, географич.

размещение промышленности, изменение ее технич. физиономии, организационной структуры, социальной структуры, внутренней структуры отдельного предприятия (мощность силовых установок, соотношение отдельных цехов, рост доли оборудования в основном капитале с 30 до 35%, и т. д.), изменение структуры отрасли; 6) изменение удельного веса районов, в чем отражается идея И. более отсталых районов и создания новых индустриальных центров; вырастает удельный вес восточного, юго-восточного и северо-восточного районов; Урал, имея 4% основных капиталов, получает в 3 раза больший удельный вес (12%) во вложениях по Союзу; Сибирь с 1,1% доводится до 4%, а по новому строительству даже до 6%; некоторые старые районы, наоборот, снижают свой удельный вес: Центрально-Промышлен. область, имеющая 30% основного капитала всей промышленности Союза, получает лишь 18% капитальных вложений за 5 лет; Ленинград, имея 10%, получает лишь 6%; 7) создание промышленных комбинатов, где «находит свое выражение стремление советского хозяйства с наибольшей полнотой, рациональностью и быстротой развернуть производительные силы и освоить богатства природы»; комбинирование обусловливает возможность посредством выхода за пределы основного производства развертывать производства новые — подсобные (кирпичные, столярные и т. д.) и побочные (по использованию отбросов; в этом—разрешение проблемы потерь), сокращать обслуживающий аппарат, ускорять оборот капитала, повышать эффективность капитальных затрат и снижать себестоимость продукции; при государственной собственности на средства производства комбинатами становятся целые районы: Урал, Донбасс, Днепрострой, Ленинград, Кузнецкий и Подмосковный бассейны.

И. ставит задачу подготовки новых технич. кадров. Пятилетний план предписывает доведение общего числа инженеров, занятых в основных отраслях народного хозяйства и культурного сектора, до 75 000 чел. (вместо занятых в 1927/28 г. 30 000); из них 50 000 должно работать в промышленности и 8 000 на транспорте. Общее число техников д. б. доведено к концу пятилетия до 110 000 чел. (против 38 000, занятых в 1927/28 году). В целях ускорения подготовки высшего технического персонала для промышленности, сельского хозяйства и транспорта и в развитие решений июльского 1928 г. пленума ЦК ВКП(б) в настоящее время реконструируется вся система высшего технич. образования на началах сокращения срока обучения до 4 лет, приема в высшие технич. учебные заведения 3 раза в год, введения непрерывной производственной недели, непрерывного производственного года, производственного обучения на ф-ках и з-дах, отмены дипломного проектирования с перенесением образовательных его элементов в учебные планы четырехлетки, приноровления программ к требованиям новейшей науки и техники, специализации с первого года обучения.

В И. с. х-ва надо различать несколько процессов: 1) рост отраслей сел. х-ва, занятых первичной обработкой с.-х. продукции (маслодельные, хлопкоочистительные, крахмалопаточные, бэконные, картофелетерочные, маслобойные, фруктово- и овощесушильные, консервные з-ды), при чем исторически здесь в результате разделения труда в сел. х-ве—постепенное превращение ряда с.-х. работ в самостоятельные отрасли, не отличающиеся по типу от других отраслей промышленности; 2) перестройка самого основного процесса в сел. х-ве—полеводства—путем машинизации и применения науки (введение машин, орудий, тракторов, электрич. энергии, удобрений, агрономических мероприятий, мелиорации и т. д.); 3) применение машин в остальных отраслях сел. х-ва—в животноводстве (крупном и мелком), садоводстве, огородничестве, рыбоводстве, куроводстве (сортировка, очистка, упаковка, сушка, солка, варка, консервирование, переработка и т. д. мяса, кож, шерсти, пера, пуха, яиц, рыбы, икры, овощей, фруктов, ягод и т. д.); 4) разделение труда между районами и специализация отдельных районов на определенных отраслях с. х-ва: хлопок, пшеница, свекла, картофель, овощи, фрукты, животноводство, шерсть, бэкон и т. д. В последнее время в области И. сельского хозяйства буквально произведена и продолжается целая техническая и экономическая революция. Речь идет о машино-тракторных станциях.

Как в промышленности, так и в сел. х-ве действительным оказывается основной экономический закон производства, говорящий о меньшей затрате труда на единицу продукции в крупном производстве по сравнению с мелким. В применении к с. х-ву это означает, что трактор в мелком крестьянском хозяйстве совершенно не м. б. применен в силу своей там убыточности, в небольшом хозяйстве—в силу своей неполной использованности; что трактор может полностью себя оправдать только тогда, когда одновременно и совместно работает группа тракторов порядка 200—300—500 штук, на участке в 50—100 тыс. *га*, имея при себе крупную центральную мастерскую (стоимостью оборудования в 70—150 тыс. руб., включающую даже литейный цех, кроме ремонтно-сборочного, механическ., столярного и кузнечного). Тогда трактор может обработать до 450 *га* за сезон (америк. фермер обрабатывает в этих условиях 150 *га*). Эффект от введения машино-тракторных станций в сел. х-ве исключительный. Станция, имеющая кроме названных тракторов, достаточное количество всех с.-х. машин и прицепных орудий, договаривается с крестьянством ряда сел (на участке радиусом 13—15—20 верст) о том, что станция берет на себя ведение всех полевых работ, включая вспашку, уборку, молотьбу, перевозку и т. д., обеспечивает своевременность производства полевых работ, применение всех указаний агрономической науки, засев чистосортными семенами и требует от крестьянства отказа от межей, участия в работе станции личным трудом, пропорционально имевшемуся земельному наделу, согласия на получение продукции с полей пропорционально этому же наделу, выплаты за машинную обработку в пользу станции 25—30% продукции. В результате работ оказывается: время, затраченное крестьянством на сел.-хоз. работу, уменьшается на 50%, урожай увеличивается на 25—30%, освобождается инвентарь и скот, получается определенная страховка от неурожая (одни и те же неблагоприятные метеорологич. условия понижают урожай у нас на 90%, в Германии, благодаря хорошей машинной обработке,—на 10%). Кроме того, станция берет на себя обучение молодежи управлению машинами и тракторами, берет на себя постепенное обобществление других, кроме полеводства, с.-х. процессов (животноводства, первичной обработки с.-х. продуктов и т. д.) и ставит перед крестьянством вопрос о выкупе им в свою пользу всего имущества станции. Благодаря быстрому росту материального благосостояния, экономически осуществить это для крестьянства становится возможным. Персонал станции в большей части переходит на другой участок, оставляя машины крестьянам и приобретая новую партию машин на доход от взимания тех 25% продукции, которые в течение ряда лет накапливаются. Этот переворот в технике с.-х. производства пошел от опыта Шевченковской машино-тракторной станции в Одес-

ском округе, которой руководил т. А. М. Маркевич. План намечает к концу пятилетия доведение числа машино-тракторных станций до 1 000 с 200 000 тракторов (в 1929 году действует 103 станции), которые обработают до 40 млн. *га* земли (34,8% всей пашни 1927/28 г.) и дадут в 1932/33 г. в полтора раза больше товарного хлеба, чем в 1928/29 году получено по всему Союзу ССР.

Надо сказать, что в последнее время рост успеха машино-тракторн. станций и наглядность выгод обобществления сел. х-ва в крупных масштабах открывают новую полосу в настроениях крестьянства: в колхозы пошел середняк, пошел массами, коллективизация начинает охватывать не только отдельные села, но и целые районы. Огромное содействие индустриализации и коллективизации сел. хозяйства оказывает развивающаяся в значительных размерах контрактация. Все это ведет к росту машинной техники в деревне. Этот рост рисуется так: ежегодный выпуск тракторов в 1932/33 г. будет доведен до 450 000 (в С. Ш. А. в 1927/28 г.—400 000); выпуск автомобилей с Нижегородского з-да 280 000 в год; на полях в 1933 г. будет работать 70 000 комбайнов (в С. Ш. А. в 1929 г.—60 000)—машин, соединяющих в себе жатку и молотилку одновременно (у нас в проекте два з-да комбайнов). Теперь, на 2-м году пятилетия, становится уже совершенно очевидным, что, в результате проведения индустриализации таким темпом, за пятилетие целиком будут ликвидированы: товарный голод на предметы потребления, безработица и неграмотность.

Против политики И. имеются три группы возражений. Возражения буржуазных идеологов и неонародников (Кондратьев, Вайнштейн, Никитский, Хауке, Чаянов, Макаров) в теоретич. части представляют собою обоснование преимуществ капиталистич. способа хозяйствования перед социалистическим, в практич. части—ряд предложений, к-рые нельзя иначе характеризовать, как программу капиталистич. реставрации в СССР. Они рекомендуют: снизить темп И. страны, сократить капитальное строительство, «непосильное и нереальное» (Вайнштейн), увеличить удельный вес легкой промышленности за счет тяжелой, предоставить «свободу экспорта» для крепкого хозяйства «в пределах превышения плана экспорта» (Кондратьев), прекратить разговоры о классовых группах в деревне: нет кулака, есть крепкие растущие слои деревни (Чаянов, Макаров), отказаться «от филантропии» в отношении немощных хозяйств, заменить ставку на бедноту ставкой на крепкое хозяйство («сдерживая рост мощных слоев... лишаемся возможности оказывать реальную помощь самой бедноте»—Кондратьев), дать права кулаку («законодательно уточнить понятие кулачества»—Кондратьев), «признать безусловную свободу кооперативных объединений в сельск. х-ве», «создать кредит, обеспечиваемый имуществом хозяйства» (преимущества для кулака), отменить государственное регулирование рынка, снизить цены за счет снижения номинальной заработной платы рабочих (Вайнштейн), допустить «компенсацию» за оставляемую крестьянами землю (Хауке) и т. д. Понятно, что проведение такой программы дало бы в результате резкое расслоение в деревне, быстрое снижение темпа социалистич. строительства, ослабление и последующую отмену монополии внешней торговли, разрыв с крестьянством, снижение ведущей роли пролетариата и, в конце концов, полный возврат капитализма.

Исходя из других теоретич. и политич. взглядов, правые оппортунисты в практич. части своих предложений очень близко сходятся с предложениями буржуазных идеологов и неонародников, а иногда и прямо их повторяют. Это и понятно, если принять во внимание, что правый уклон в партии «тянет по линии приспособления к буржуазной идеологии, по линии приспособления нашей политики ко вкусам и потребностям „советской“ буржуазии» (Сталин).

Возражения правых (группа Бухарина) против политики И. базируются: по политич. линии—на неправильном распространении лозунга о союзе со всем крестьянством (первого из трех лозунгов партии по крестьянскому вопросу) на весь период хозяйственного строительства советской власти; по философской линии—на замене диалектики механистич. толкованием законов общественного развития по типу равновесия. Отсюда—объявление принципа равновесия «высшим критерием в деле планирования», предложение равняться на узкие места, защита кулака, заявления против ускорения строительства совхозов и колхозов, против ускорения темпа И., обвинение партии в том, что она осуществляет троцкистскую политику сверхиндустриализации, заявления против преимущественного роста тяжелой промышленности, неправильное толкование явлений диспропорции в народном хозяйстве и причин товарного голода, обвинение в военно-феодальной эксплоатации крестьянства, и т. д. В действительности мы имеем полный провал всех политич. прогнозов правой оппозиции (их утверждения о том, что колхозный и совхозный секторы в течение многих лет будут играть ничтожную роль в зерновом хозяйстве, что крестьянство в колхозы не пойдет, что мы должны будем в ближайшее время резко снизить темпы строительства из-за недостатка строительных материалов, и т. д.).

Возражения троцкистов, предсказания к-рых также провалились, базируются на неправильной оценке движущих сил революции, на неверии в революционные возможности крестьянства, на непонимании роли крестьянства в революции, на неверии в революционные силы пролетариата, якобы неспособного повести за собой крестьянство к социализму без «государственной» помощи победившего пролетариата развитых капиталистич. государств. Отсюда—объяснение хозяйственных затруднений не из диспропорций в народном хозяйстве, данных нам от прошлого и нами изживаемых, а из политики снижения цен, к-рая, по мнению троцкистов, выгодна только капиталистич. хозяйству; отсюда—рекомендуемая троцкистами при изыскании средств на И. политика повышения товарных цен; отсюда—утверждение, что борьба идет не между частнокапиталистич. хозяйством и социалистич. государством, а между социалистич. государством и частным хозяйством вообще (куда включается и трудовое крестьянство и кооперация), и утверждение, что социализм победит, когда государственное хозяйство победит частное (в 1923 г. Преображенский писал: «пожрет»); отсюда—невключение в социалистич. сектор кооперации, для к-рой отпускные цены надо, по мнению троцкистов, установить наравне с частником: отсюда—теория перекачки средств из крестьянского в государственное хозяйство; отсюда—сверхиндустриализация, т. к. надежда у них только на мировую революцию, а не на союз рабочего класса с крестьянством, и т. д. Партия не пошла по линии троцкистов, к-рая привела бы к размычке с крестьянством, к понижению покупательной способности рубля, к расстройству финансовой системы, к задержке роста крестьянского хозяйства, к уменьшению емкости внутреннего рынка, к срыву социалистич. строительства.

Конечно, партия, ведущая победоносное социалистическ. строительство, испытанная в ряде историч. боев с царем, помещиками и капиталистами, разбившая ряд идейных шатаний и уклонов от своей генеральной линии, вскрывшая теоретич. несостоятельность и практическую реакционность предложений как откровенно-буржуазных идеологов, так и представителей правого и левого уклонов, уберет с своей дороги всех мешающих итти вперед, не чувствующих подъема энтузиазма рабочих и крестьянских масс и пафоса социалистич. строительства, и будет попрежнему, как указал XIV Съезд партии,

«вести экономич. строительство под таким углом зрения, чтобы Союз Советск. Социалистич. Республик из страны, ввозящей машины и оборудование, превратить в страну, производящую машины и оборудование, чтобы таким образом СССР в обстановке капиталистич. окружения отнюдь не мог превратиться в экономич. придаток капиталистич. мирового хозяйства, а представлял бы из себя самостоятельную экономич. единицу, строящуюся по-социалистически и способную, благодаря своему экономическому росту, служить могучим средством революционизирования всех стран и угнетенных народов колоний и полуколоний».

Социализм не маячит уже как «прекрасное далёко», а ощущается как непосредственная реальность, растущая ежедневно, ежечасно. Социализм уже не за горами. Каких-нибудь 10—15 лет отделяют нас от нового общественного строя, если война и интервенция не отдалят от нас этого об-

щественно-экономич. чуда, о к-ром в ряде веков мечтало все трудящееся человечество.

Лит.: Маркс К. и Энгельс Ф.; Коммунистич. манифест, М.—Л., 1926; Программа и Устав Всесоюзной коммунистич. партии (б), 7 изд., М.—Л., 1928; Ленин Н., Собрание сочинений, т. 14, ч. 1—2, М., 1924, т. 15, М.—Л., 1925, т. 16 и 17, М.—Л., 1925, т. 18, ч. 1, М., 1924, ч. 2, М.—Л., 1925; Сабсович Л., СССР через 15 лет. Гипотеза генерального плана как плана построения социализма в СССР, 2 изд., М., 1929; Пятилетний план народно-хозяйственного строительства СССР, 2 изд., т. 1, т. 2, ч. 1 и 2, т. 3 и доп. к 3 т., М., 1929; Контрольные цифры на 1929/30 г., Москва, 1929; Сабсович Л., Проблема города, «ПХ», 1929, 7; Маркевич А. М., Межселенные машино-тракторные станции, 2 изд., Москва, 1929; Материалы к пятилетнему плану промышленности ВСНХ СССР на 1928/29—1932/33 гг., т. 1—Проблемы энергетики; т. 2—Основные линии технич. реконструкции промышленности СССР, М., 1929; Сталин И. В., Вопросы ленинизма, 6 издание, М.—Л., 1929; его же, Год великого перелома, М.—Л., 1929; Президиум ВСНХ СССР, Рационализация промышленности СССР, М.—Л., 1928; Кржижановский Г., Пятилетний план народно-хозяйственного строительства СССР. Доклад и заключительное слово на V Съезде Советов СССР, Москва, 1929; Рыков А., Кржижановский Г., Куйбышев В., Пятилетний план развития народного хозяйства. Доклады на XVI партконференции, М.—Л., 1929; Молотов В., Социалистич. строительство и противоречия роста, М.—Л., 1929; Леонтьев А., Социалистич. строительство и его критики, 2 изд., М.—Л., 1929; Леонтьев и Хмельницкая, Советская экономика, 2 изд., М., 1929; Крылов С. и Зыков А., О правой опасности, 2 изд., М.—Л., 1929; Стрельцов Г., «Политическое завещание Ленина» в изображении т. Бухарина, «Большевик», М., 1929, *19*; Борилин Б., Ленин об «Экономике переходного периода», там же, 1929, *20*; Бессонов С., Накопления и резервы (о «Заметках экономиста» т. Бухарина), там же, 1929, *20*; Кон А., О содержании понятия «равновесие производства», «Проблемы экономики», М., 1929, *1*; Гессен Б. и Подволоцкий И., Философские корни правого оппортунизма, «Под знаменем марксизма», М., 1929, *9*; Леонтьев А., Закон трудовых затрат, М., 1929; Стенографич. отчеты: XIV съезда ВКП (б), 2 изд., М.—Л., 1926; XV съезда ВКП (б), М.—Л., 1928; XIV партконференции, М.—Л., 1925; XV партконференции, М.—Л., 1927; XVI партконференции, М.—Л., 1929; «Проблемы экономики», М.; «ПХ», «Пути индустриализации», М.; «Большевик», М.; «Под знаменем марксизма», М.; «Социалистическое хозяйство», М.; «Экономическое обозрение», М.; «Экономическая жизнь», М.; «Торгово-промышленная газета», М.; «Правда», М.; «Известия», М.; «Сельскохозяйственная газета», М.; «Кооперативная жизнь», М.; «Труд», М.

ИНЕРТНЫЕ ГАЗЫ, общее название газообразных элементов нулевой группы периодической системы. См. *Благородные газы.*

ИНЕРЦИЯ, свойство массы удерживать свое состояние покоя или прямолинейного равномерного движения.

1-й закон Ньютона гласит: «Всякое тело удерживает свое состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения, если оно не понуждается приложенными силами изменять это состояние» [1]. Т. о., неподвижная масса сопротивляется переходу в состояние движения, а двигающаяся масса сопротивляется изменению: а) направления и б) величины своей скорости. Появляющаяся при этом сила сопротивления массы есть сила И. Она пропорциональна и противоположно направлена ускорению движения массы. Т. к. при изменении скорости по направлению получается центростремительное ускорение $j_c = \frac{v^2}{r}$, то масса m проявляет центробежную силу И. $И_c = -m\frac{v^2}{r}$. При изменении же величины скорости возникает тангенциальное ускорение $j_t = \frac{dv}{dt}$ и тангенциальная сила И. $И_t = -m\frac{dv}{dt}$. Здесь v—скорость центра массы, а r—радиус кривизны его траектории. Полное ускорение точки складывается геометрически из переносного, относит. и поворотного (Кориолиса). Поэтому возможны: тангенциальная и нормальная (центробежная) силы И. тела в переносном или относительном движении, сила И. его в поворотном движении $И_k = m \cdot 2u\omega \cdot \sin\alpha$ (см. *Ускорение Кориолиса*) и т. п.

Хотя силы И. возникают во время движения системы, однако, по д'Аламберу, они уравновешиваются со всеми остальными силами, действующими на систему, и поэтому их можно включать в уравнения равновесия:

$$\sum\left(X_i + m\frac{d^2x_i}{dt^2}\right) = 0, \quad \sum\left(Y_i + m\frac{d^2y_i}{dt^2}\right) = 0,$$

$$\sum\left(Z_i + m\frac{d^2z_i}{dt^2}\right) = 0.$$

Здесь X, Y и Z обозначают силы, действующие на систему по осям x, y и z, а индекс i сокращенно изображает ряд однородных величин с индексами $1, 2, 3$ и т. д. Если сила И. $И$ имеет плечо ϱ по отношению к данной точке, то $И \cdot \varrho$ называется моментом силы И. Интегралы

$$\int_0^l dm \cdot \varrho^2 = \theta_x \quad \text{и} \quad \int_0^l dF \cdot \varrho^2 = I_x$$

выражают соответственно моменты И. массы и площади относительно оси x.

Пусть рычаг AB (фиг. 1) вращается вокруг оси O неравномерно, при чем имеется угловое ускорение $\frac{d^2a}{dt^2}$. На расстоянии ϱ от оси вращения выделим элемент массы dm. Так как дифференциальное перемещение этой массы $ds = \varrho \cdot da$, то элементарная тангенц. сила И.

$$dИ = dm \cdot \frac{d^2s}{dt^2} = dm \cdot \varrho\frac{d^2a}{dt^2}.$$

Дифференциальный момент этой силы относительно оси вращения

$$dM_{и.} = dИ \cdot \varrho = dm \cdot \varrho^2\frac{d^2a}{dt^2},$$

откуда

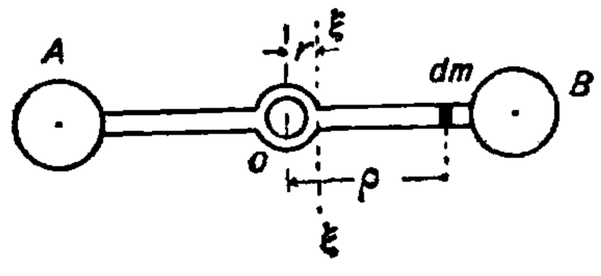
$$M_{и.} = \int_0^l dm \cdot \varrho^2 \cdot \frac{d^2a}{dt^2} = \theta \cdot \frac{d^2a}{dt^2} = \theta\frac{d\omega}{dt}.$$

Ур-ие прочности относительно сечения ξ—ξ:

$$M_{и.} = W \cdot \sigma = \frac{I}{e}\sigma = \frac{d\omega}{dt}(\theta - mr^2).$$

Здесь видна конкретная связь между моментом силы И., моментом И. поперечного сечения бруса и моментом И. массы его. Пусть $\theta = m \cdot a^2$; в таком случае a называется радиусом инерции.

И. в машинах проявляется во всей сложности, в особенности в периоды разгона и торможения машин. Кроме того, у большинства механизмов, даже при равномерном движении приводного вала, звенья двигаются с пульсирующими скоростями, вследствие чего имеет место непрерывная игра сил И. Вычисление И. в машинах приходится вести особо для каждой детали, имеющей свое собственное движение, при чем можно отметить три



Фиг. 1.

характерных случая: а) все точки звена перемещаются параллельно друг другу с равными ускорениями, б) все точки вращаются около одной оси и в) каждая точка звена имеет свое ускорение по величине и по направлению. Случаи (а) и (б) встречаются, наприм., в экипажах, когда корпус экипажа перемещается поступательно, а колеса его вращаются; так, напр., решается вопрос об инерционном сопротивлении поезда. Пусть G—вес состава, $v=\frac{ds}{dt}$—его скорость, R—радиус колес, n—число осей, θ—момент И. массы одной оси вместе с двумя колесами. Тогда И. поступательного движения

$$И=\frac{G}{g}\cdot\frac{d^2s}{dt^2}=\frac{G}{g}\cdot\frac{dv}{dt}.$$

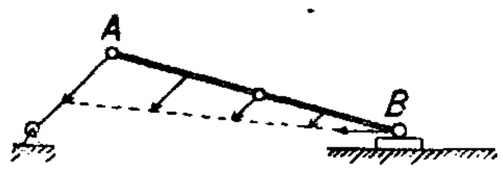
Суммарный вращающий момент от сил инерции колес

$$M_{и.}=n\cdot\theta\cdot\frac{d\omega}{dt}=n\cdot\frac{\theta}{R}\cdot\frac{dv}{dt}.$$

Следовательно, сила тяги, потребная на преодоление И. поезда,

$$P_{и.}=\left(\frac{G}{g}+n\frac{\theta}{R^2}\right)\cdot\frac{dv}{dt}.$$

Примером для случая (в) может служить обыкновенный шатун механизма паровой машины. Каждая точка такого шатуна (фиг. 2) имеет свое собственное ускорение по величине и по направлению, благодаря чему И. приходится учитывать по поступательному движению центра массы и по вращению шатуна около этого центра. В последнее время особенно часто применяется метод замены распределенных масс шатуна группой масс сосредоточенных. Эти последние, очевидно, должны удовлетворять условиям статики и динамики. Именно, для плоских механизмов имеем 4 таких условия, и, следовательно, достаточно взять 4 сосредоточенные массы на шатуне. Пусть M—масса всего шатуна, M_1, M_2, M_3, M_4—сосредоточенные массы, к-рыми заменяется распределенная масса M. Координаты 4 масс: x_1, y_1; x_2, y_2; x_3, y_3; $x_4=y_4=0$. Расстояния их до ц. т. соответственно: a, b, c и 0. Тогда



Фиг. 2.

$$M_1+M_2+M_3+M_4=M,$$
$$M_1x_1+M_2x_2+M_3x_3=0,$$
$$M_1y_1+M_2y_2+M_3y_3=0,$$
$$M_1a^2+M_2b^2+M_3c^2=\theta,$$

где θ—момент И. массы шатуна относительно его ц. т. При симметричных шатунах одно из ур-ий этой группы выпадает, благодаря чему остаются только три ур-ия, и, следовательно, достаточно брать всего три сосредоточенные массы. В этом случае получается:

$$M_1+M_2+M_4=M,$$
$$M_1a+M_2b=0,$$
$$M_1a^2+M_2b^2=\theta.$$

Обычно M_1 помещают в пальце кривошипа, M_2—в головке крейцкопфа, а M_4—в ц. т. шатуна. Скорости и ускорения этих трех точек определяются при любом расположении механизма при помощи планов скоростей и ускорений. Таким образом, получаются силы И. этих масс.

В нек-рых случаях, когда движение детали координируется не по времени, а по пространству, удобно устанавливать связь силы И. с кинетической энергией этой детали. Действительно, кинетическая энергия

$$E=\frac{mv^2}{2}.$$

Дифференцируя это выражение:

$$dE=mv\cdot dv=m\cdot\frac{ds}{dt}\cdot dv,$$

где v—скорость, а s—путь исследуемой точки, получаем:

$$\frac{dE}{ds}=m\cdot\frac{dv}{dt}=m\cdot j=И.$$

Т. о., сила И. равна производной кинетич. энергии по пройденному пути.

У современных быстроходных машин силы И. достигают нередко очень больших величин. Для примера определим силу И. паровой турбины. Пусть масса ее имеет по отношению к оси вращения эксцентриситет всего в 1 *мм*, вес диска 20 *кг*, а число оборотов $n=20\,000$. Тогда

$$И_c=m\cdot\omega^2\cdot\varrho=\frac{20\pi^2\cdot20\,000^2}{981\cdot30^2}\cdot0{,}1\cong9\,000\ кг.$$

Сила эта настолько велика, что, очевидно, даже самый малый эксцентриситет в 1 *мм* создает непреодолимые трудности в построении прочных размеров для таких быстроходных валов. Как известно, вместо прочных валов в таких случаях конструируют гибкие валы (см. *Вибрации*). Известно не мало случаев взрыва маховиков под действием центробежной силы. Поверочный расчет на разрыв по диаметральному сечению в этом случае дает:

$$\sigma=\frac{R^2\cdot\delta\cdot\omega^2}{g}.$$

Так, при $R=200$ *см*, $n=300$ и $\delta=7{,}2$, получим $\sigma\cong250$ *кг/см²*. Такое напряжение для чугуна нужно считать недопустимым. Обратно, из той же ф-лы при $\sigma=100$ *кг/см²* получается предельная окружная скорость маховика $v=36$ *м/сек*.

Лит.: [1]) Newton I., Philosophiae naturalis principia mathematica, 2-й вариант перев. А. Крылова, «Известия Морской академии», II., 1915. **А. Малышев.**

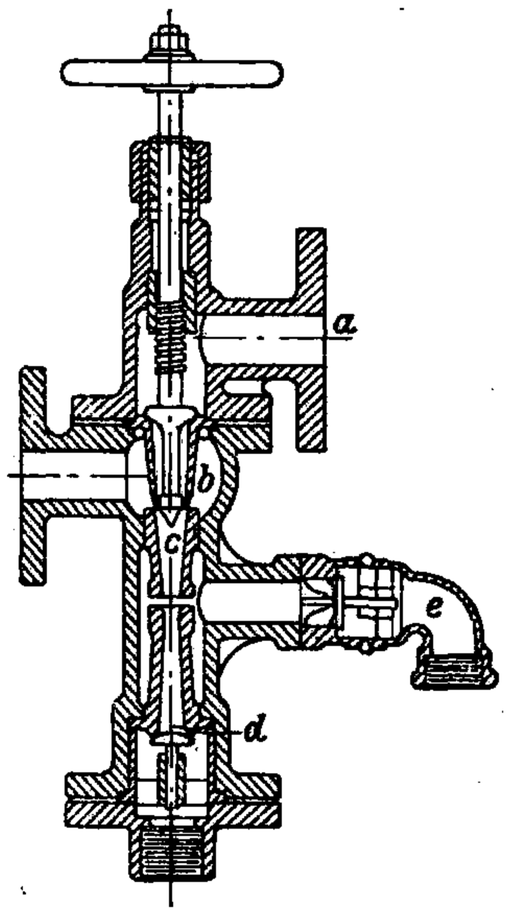
ИНЖЕКТОРЫ, струйные насосы, применяемые для нагнетания (инжекторы), подъема (элеваторы), отсасывания (эксгаустеры) и вообще перемещения жидких и газообразных тел.

Рабочим телом в струйном насосе м. б. жидкое, паро- или газообразное тело. Рабочий процесс струйного насоса может протекать без изменения или, наоборот, с изменением физич. состояния рабочего тела, напр. с конденсацией рабочего пара, приходящего в соприкосновение с холодной перемещаемой жидкостью. В последнем случае располагаемым для совершения нужной работы количеством энергии будет не только живая сила струи, но и та работа, к-рую производит внешнее давление при сокращении объема конденсирующегося рабочего пара. Поэтому-то паровыми И., предназначенными для питания водой паровых котлов, можно создавать в напорной водяной линии давление большее, чем давление рабочего пара. Другими словами, беря пар из котла, можно этим паром нагнетать воду в этот же котел, преодолевая добавочные сопротивления в питательном трубопроводе. Механический кпд струйного насоса вообще очень низок; поэтому такие насосы применимы или там, где

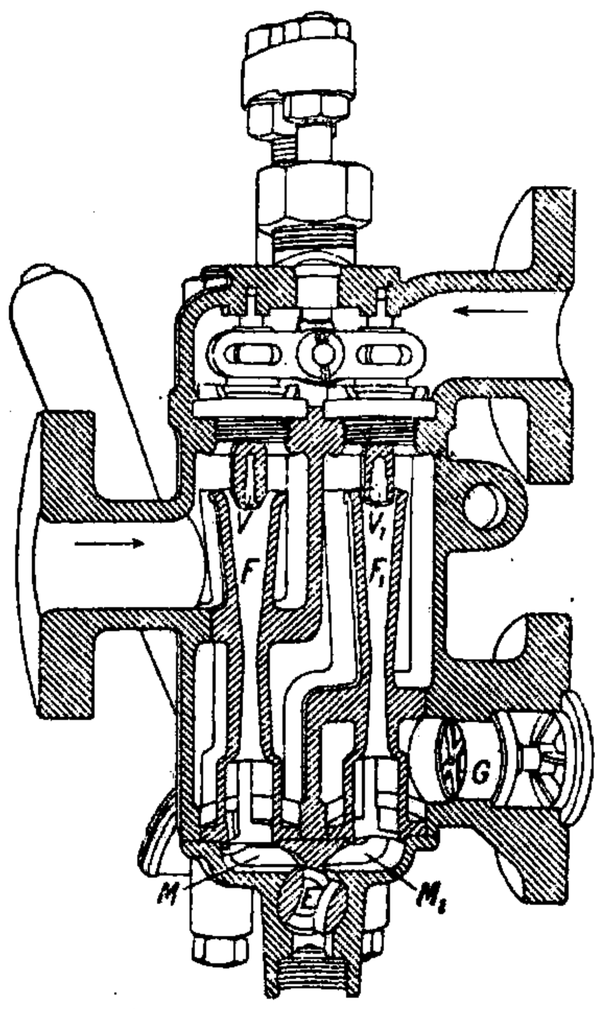
есть в избытке паровая энергия, или же там, где удобство применения отодвигает на задний план их неэкономичность.

Струйные насосы благодаря надежности их действия незаменимы в качестве резервных установок, всегда готовых к действию (напр. на судах для откачки воды из трюмов). Там же, где одновременно с механич. работой нужно или можно с пользой для дела нагреть перемещаемое вещество путем прямого смешивания его с рабочим телом, струйный насос приобретает все преимущества, так как в этом случае его низкий механический кпд не играет никакой роли, в виду полного использования всей остаточной энергии рабочего тела.

Паровой питательный И. в простейшем его виде изображен на фиг. 1. Через штуцер *a* к И. из котла подводится пар, который, пройдя через сопло *b*, поступает с большой скоростью в смесительный насадок *c*. Благодаря засасывающему действию струй пара, а также конденсации пара, в смесительном насадке создается разрежение, заставляющее воду из коробки И. устремляться в насадок. Из смесительного насадка струя смеси воды и конденсата с большой скоростью входит в расширяющееся сопло или диффузор *d*, к-рый служит для преобразования энергии скорости (кинетич. энергии) в энергию давления (потенциальную энергию). Давлением струи, выходящей из диффузора, приподнимается питательный обратный клапан, и вода получает доступ в котел. Между смесительным насадком и диффузором оставляется щель, через к-рую при пуске И. будут иметь выход избыточные пар и вода; для удаления их предназначена труба *e* с имеющимся на ней обратным клапаном. При пуске И. требуется меньше пара, чем при работе последнего полным ходом, поэтому сопло *b* снабжают регулирующим приспособлением.

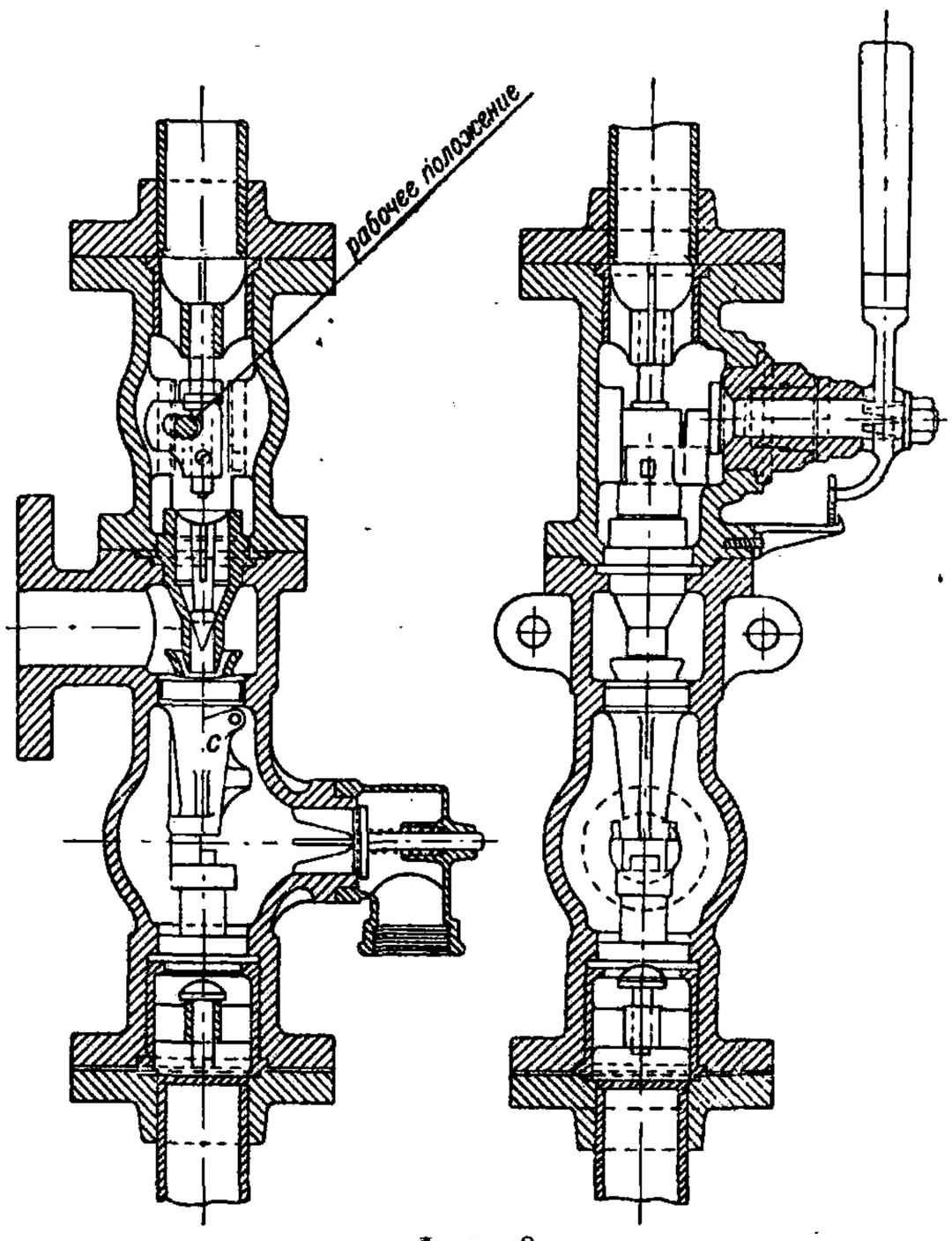


Фиг. 1.



Фиг. 2.

Универсальный паровой И. Особенной надежностью отличается универсальный паровой И. з-да бр. Кертинг в Ганновере (Германия), изображенный на фиг. 2. Все операции по приведению этого И. в действие производятся движением одной рукоятки. Начиная перемещать рукоятку из крайнего ее положения, соответствующего нерабочему состоянию И., приоткрываем сперва малый паровой клапан *V* и т. о. включаем левый, вспомогательный И., которым производится всасывание воды из приемного резервуара. Всосанная вода выбрасывается обратно в



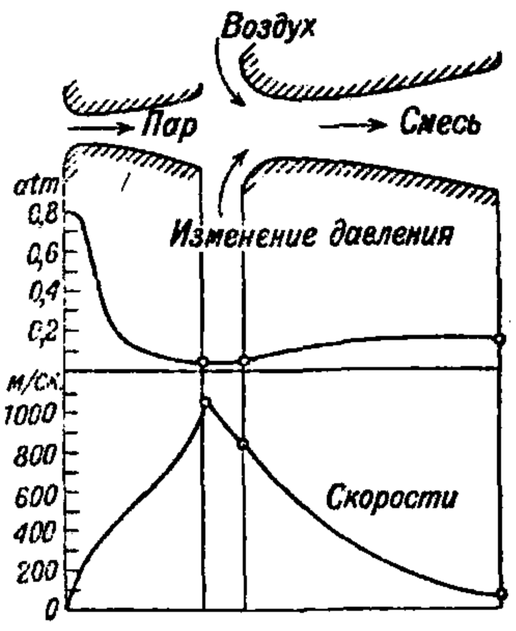
Фиг. 3.

приемный резервуар через канал *M* и открытый кран *E*. Двигая рукоятку далее, закрываем канал *M*. Тогда вода устремляется по обводному внутреннему каналу ко второму паровому И., входит в насадок F_1 с нек-рым давлением и вытекает из И. через канал M_1 и кран *E*. В то же время начинает приоткрываться большой паровой клапан V_1, чем вводится в действие второй, правый И. Полное открытие вентиля V_1 будет связано с полным закрытием краном канала M_1, через к-рый всосанная вода выливалась в приемный резервуар. После этого для воды останется один только выход в напорную трубу через обратный клапан *G*.

Саморегулирующийся И. фирмы Шеффер и Буденберг в Магдебурге (Германия) изображен на фиг. 3. Особенностью этого И. является клапан *C* на смесительном насадке. Клапан этот висит на шарнире и присасывается к смесительному насадку только при наличии разрежения в последнем. Если вследствие попадания воздуха во всасывающую трубу прекращается подсасывание воды И., то клапан *C* отпадает от смесительного насадка и открывает боковое отверстие для выхода пара и воздуха через обратную трубу. Если подсасывание воды возобновляется, то клапан *C* опять присасывается к смесительному насадку, а И. автоматически начинает работать нормально. Таким образом нарушение всасывания не влечет за собой необходимости выключать и снова включать И.

В качестве питательных приборов паровые И. применяются в паровозах, локомобилях и мелких стационарных котельных

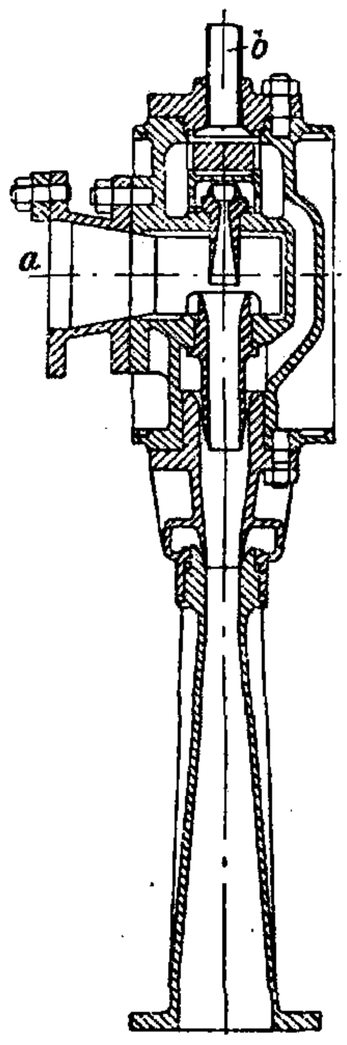
установках. В крупных котельных установках питательная вода обычно подогревается за счет тепла отходящих газов, а потому применение И. становится нецелесообразным.



Фиг. 4.

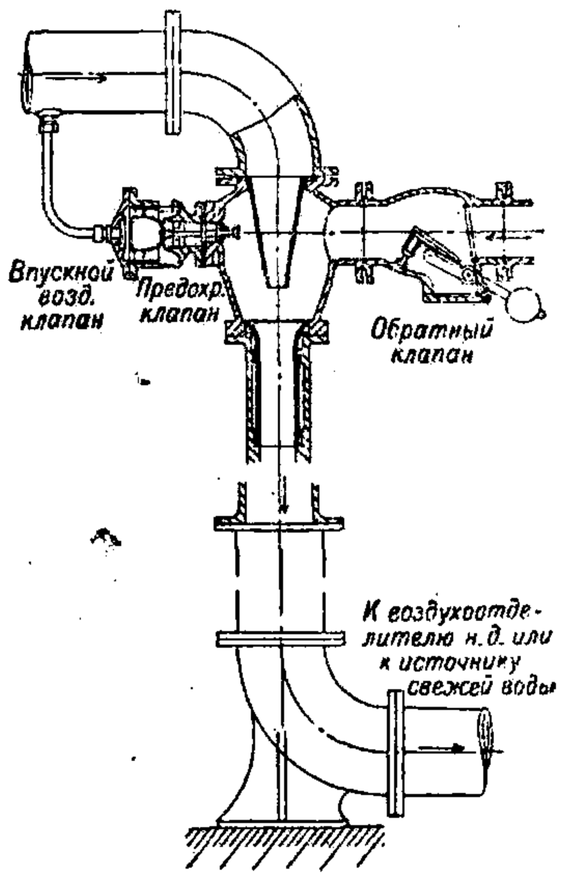
Паровыми И. довольно широко пользуются для нагнетания воздуха в топочные поддувала при сжигании антрацита. Расход пара на инжектор нередко достигает при этом 6—8% от общей паропроизводительности котлов. Такое применение паровых И. оправдывается только в тех случаях, когда антрацит, вследствие легкоплавкости золы, на сухом дутье сжигать невозможно. В паровозах паровым И., или т. н. конусом, создается сильная тяга в трубе. Неэкономичность парового И. в этом случае не играет роли, т. к. мятый пар из машины паровоза другого назначения не имеет.

Пароструйные аппараты в последнее время с успехом применяются в качестве воздушных насосов в конденсационных установках при паровых турбинах. Рабочим паром в этом случае служит или мятый пар от вспомогательной турбины, с давлением ок. 1 *atm*, или даже свежий пар. Тепло пара, прошедшего И., используется для нагревания конденсата, идущего на питание котлов. На фиг. 4 дана диаграмма рабочего процесса пароструйного И. На фиг. 5 представлен двойной пароструйный воздушный насос системы Гофера. Пар, поступая через трубку b, протекает последовательно через два сопла, из к-рых первое имеет круглое, а второе—кольцеобразное сечение. В первом сопле пар расширяется до давления p_1, под которым притекает воздух. После того как в первом диффузоре давление переходит в $p_2 > p_1$, выходящий из кольцевого сопла пар засасывает воздух, поступающий из патрубка a, и нагнетает его во второй диффузор, в котором достигается конечное давление p_3. Коробка из листового металла, вставленная в камеру всасывания, имеет задачей изолировать всасываемый воздух от горячих стенок корпуса инжектора. Между коробкой и стенками инжектора во время работы инжектора образуется разреженное пространство, которое также оказывает изолирующее действие.

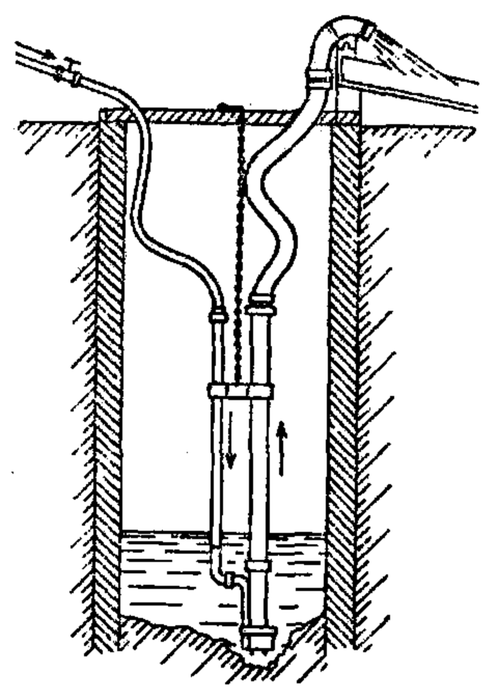


Фиг. 5.

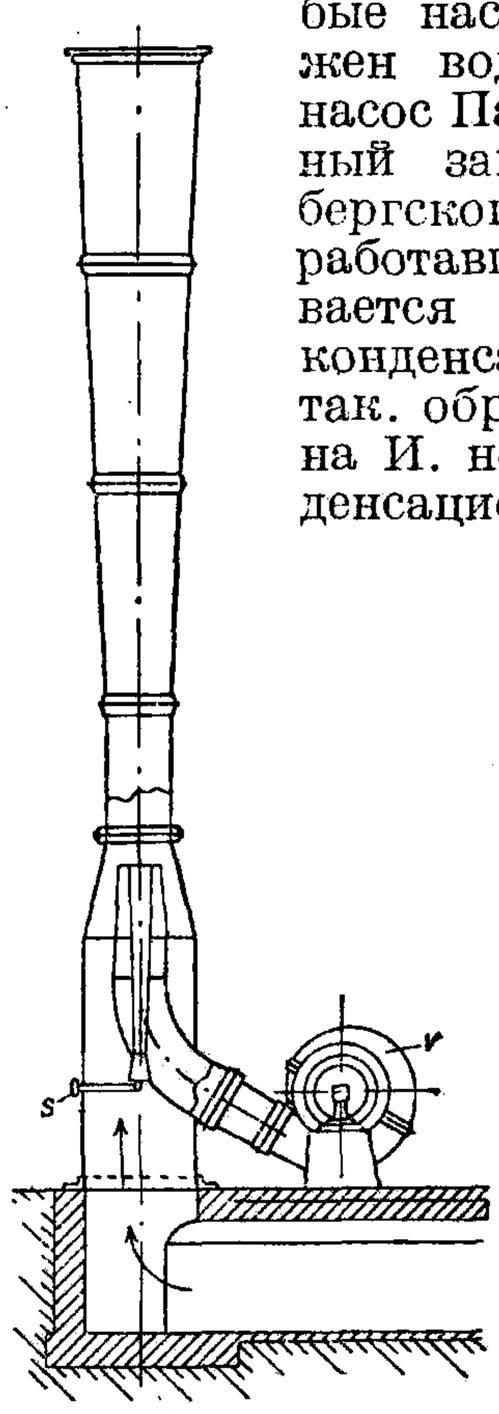
Водоструйные инжекторы применяются в качестве воздушных насосов в конденсаторных установках при паровых турбинах. Смесь пара и воздуха всасывается водяной струей, выходящей из насадка со скоростью 20—30 *м/ск*. Так как вследствие конденсации пара, а также преобразования в тепло энергии вихревых движений в струе, возникающих при прохождении воды через центробежный насос и диффузор, $t°$ рабочей воды повышается, то при необходимости пользоваться ограниченным количеством циркулирующей воды следует принимать меры к ее охлаждению. Даже при небольшом повышении температуры рабочей воды существенно падает производительность И. и ухудшается разрежение в конденсаторе. Если через И. пропустить всю воду, протекающую через конденсатор, то вода к И. может быть подведена с небольшой скоростью—ок. 25 *м/ск*; особого насоса при этом не требуется, и вода прокачивается через И. циркуляционным насосом. При малых количествах рабочей воды требуются большие скорости (порядка 60 *м/ск*), для создания к-рых требуются особые насосы. На фиг. 6 изображен водоструйный воздушный насос Пауля Мейера, выполненный заводом Аугсбург-Нюрнбергского об-ва (Германия). Отработавшая в И. вода выбрасывается в канал, подводящий к конденсатору свежую воду, и, так. обр., особого расхода воды на И. не требуется. Если конденсационная установка работает с обратным охлаждением, то напора, требующегося для подачи воды на градирню (обычно ок. 6 *м*) и создаваемого циркуляционным насосом, бывает достаточно для действия И. Отработавшая в И. вода направляется в этом случае в трубу, отводящую воду из конденсатора. Отсосанный И. воз-



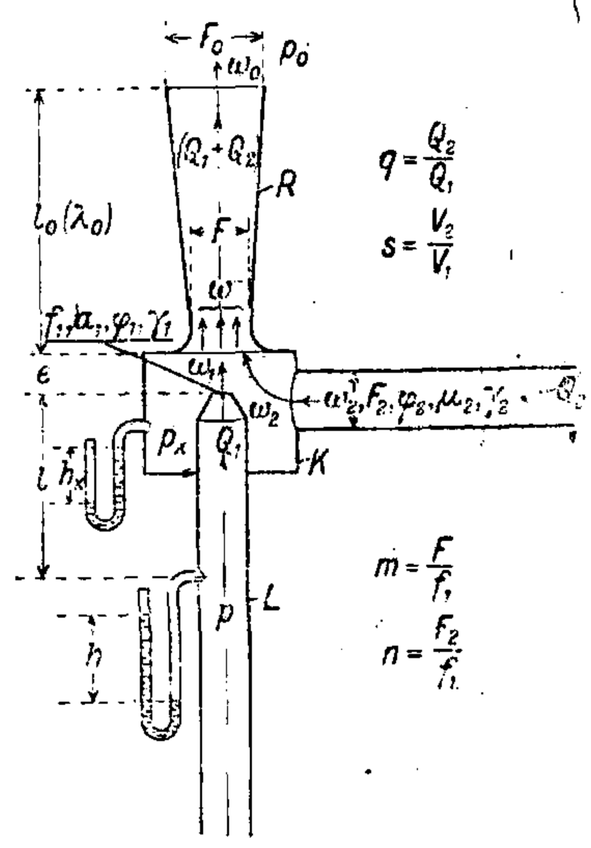
Фиг. 6.



Фиг. 7.



Фиг. 8.



Фиг. 9.

дух выделяется из воды уже на градирне. Другое практич. применение (очищение колодцев) водоструйных И. показано на фиг. 7.

Газоструйные И. Простейший пример представляет широко распространенная в лабораторной практике газовая горелка Бунзена. Газоструйные И. находят также применение при устройстве дымососов т. н. непрямого действия (фиг. 8); здесь работа производится воздухом от вентилятора V, но предусмотрена запасная паровая тяга S.

Основные уравнения рабочего процесса струйного И., работающего без изменения физич. состояния рабочего тела, даются ниже по Пфотенгауеру. В приводимых ф-лах приняты обозначения, указанные на фиг. 9 и в следующей таблице:

Места, к которым относятся обозначения	Диаметр в свету в *м*	Площадь попер. сеч. в $м^2$	Средняя скорость в *м/сж*	Коэфф. сжатия струи	Коэфф. потери скорости	Коэфф. расхода
Отверстие сопла	d_1	f_1	ω_1	a_1	φ_1	μ_1
Отверстие всасыв. трубы	D_2	F_2	ω_2	a_2	φ_2	μ_2
Входное отверстие диффузора	D	F	ω	—	—	—
Выходное отверстие диффузора	D_0	F_0	ω_0	—	—	—

при чем p, p_0—абс. давления в $кг/м^2$ или *мм* вод. ст.; v—удельный объем в $м^3/кг$; γ—вес 1 $м^3$ в *кг*; l—длина в *м*, λ_0—коэффициент трения о стены в диффузоре; Q—секундный расход вещества по весу в *кг*; V—секундный расход вещества по объему в $м^3$; β—коэффициент потерь.

1) Относительный вес перемещаемого вещества

$$q=\frac{Q_2}{Q_1}=\frac{-\frac{\beta}{2}\left(1+\frac{\gamma_2}{\gamma_1}\right)}{\beta+\frac{1}{2}\left(\frac{m}{n\cdot\mu_2}\right)^2-\frac{m}{m-1}}+$$

$$+\sqrt{\left[\frac{\frac{\beta}{2}\left(1+\frac{\gamma_2}{\gamma_1}\right)}{\beta+\frac{1}{2}\left(\frac{m}{n\cdot\mu_2}\right)^2-\frac{m}{m-1}}\right]^2+\frac{\frac{\gamma_2}{\gamma_1}\left(\frac{m}{a_1}-\beta\right)}{\beta+\frac{1}{2}\left(\frac{m}{n\cdot\mu_2}\right)-\frac{m}{m-1}}};$$

относительный объем перемещаем. вещества

$$s=\frac{V_2}{V_1}=\frac{Q_2\cdot\gamma_1}{\gamma_2\cdot Q_1}=\frac{\gamma_1}{\gamma_2}\cdot q.$$

2) Относительное разрежение всасывания

$$\frac{h_x}{\gamma_1\int_{p_x}^{p}v\,dp}=\left(\frac{\mu_1}{n\cdot\mu_2}\right)^2\cdot\left\{\frac{-\frac{\beta}{2}\left(\sqrt{\frac{\gamma_1}{\gamma_2}}+\sqrt{\frac{\gamma_2}{\gamma_1}}\right)}{\beta+\frac{1}{2}\left(\frac{m}{n\cdot\mu_2}\right)^2-1}+\right.$$

$$\left.+\sqrt{\left[\frac{\frac{\beta}{2}\left(\sqrt{\frac{\gamma_1}{\gamma_2}}+\sqrt{\frac{\gamma_2}{\gamma_1}}\right)}{\beta+\frac{1}{2}\left(\frac{m}{n\cdot\mu_2}\right)^2-1}\right]^2+\frac{\frac{m}{a_1}-\beta}{\beta+\frac{1}{2}\left(\frac{m}{n\cdot\mu_2}\right)^2-1}}\right\}^2.$$

3) Удельный расход силы на 1 *кг* перемещаемого веса, на 1 *мм* вод. ст. (или 1 $кг/м^2$) разрежения всасывания и на 1 $м^3$ удельного объема рабочего вещества

$$N=\frac{N_e\cdot\eta\cdot\gamma_1}{Q_2\cdot h_x}=$$

$$=\frac{1}{75q}\left\{\frac{\left(\frac{m}{a_1}\right)^2}{2\varphi_1^2\left[\left(\frac{m}{a_2}-\beta\right)-q^2\cdot\frac{\gamma_1}{\gamma_2}\left(\beta-1\right)-q\beta\left(1+\frac{\gamma_1}{\gamma_2}\right)\right]}-1\right\}.$$

4) Кпд И., предназначенного для сообщения ускорения перемещаемому телу,

$$\eta_b=\frac{Q_1+Q_2}{Q_1}\left(\frac{\omega_0}{\omega_1}\right)^2=\left[\frac{F}{F_0}\cdot\frac{1+s}{\frac{m}{a_1}}\right]^2\cdot(1+q).$$

Кпд И., предназначенного для подъема или нагнетания перемещаемого тела,

$$\eta_p=\frac{V_2\cdot h_x}{Q_1\int_{p_0}^{p}v\,dp}=\frac{\gamma_1}{\gamma_2}\cdot q\cdot\frac{h_x}{\gamma_1\int_{p_0}^{p}v\,dp}=s\cdot\frac{h_x}{\gamma_1\int_{p_0}^{p}v\,dp}.$$

Коэффициент потерь

$$\beta=\frac{1}{2}\left[1+\left(\frac{F}{F_0}\right)^2+\frac{\lambda_0 l_0}{2(D+D_0)}\left(1+\frac{F}{F_0}\right)^2\right].$$

Коэфф. β увеличивается под влиянием процессов превращения работы в тепло, имеющих всегда место в выкидной трубе. Явление это парализуется тем, что этой трубе придают форму расширяющегося конуса. С увеличением β быстро растет затрата работы, которая при прочих равных условиях будет тем меньше, чем больше уд. в. рабочей массы.

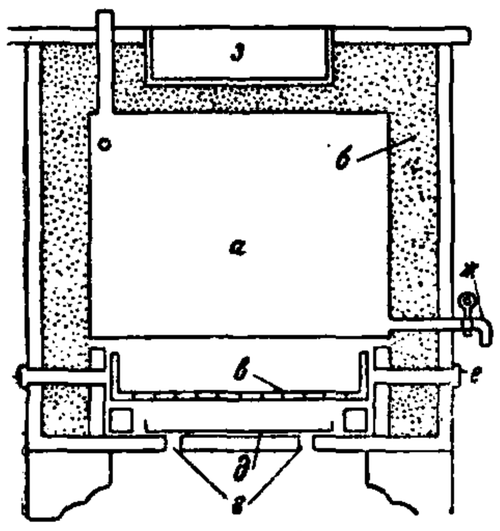
Лит.: Pfotenhauer H., Der Energiebedurf v. Injektoranlagen, «Ztschr. d. Bayer. Dampfkesselrevisionsvereines», 1913, H. 16—20; Zenner Gr., Kolorimetrische Untersuchung d. Giffardschen Dampfstrahlpumpe. Techn. Thermodynamik, B. 2, Leipzig, 1906; Schrauff, Untersuchungen über d. Arbeitsvorgang im Injektor, «Mitt. Forsch.», B., 1909. **П. Соловьев.**

ИНКРУСТИРУЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА, название, впервые введенное французским ученым А. Раденом (1824 г.) для обозначения всей органической части растительной ткани, удаляемой при выделении чистой клетчатки (целлюлозы). Последняя, в противоположность И. в., получила название основного вещества (Grundsubstanz). К числу И. в. следует отнести прежде всего лигнин, а также пектины и гемицеллюлозы (пентозаны, метилпентозаны и гексозаны). E. Schmidt (1921 год) предложил классификацию, основанную на отношении растительного вещества к растворам двуокиси хлора (ClO_2) в воде или уксусной к-те. Он различает инкрусты, растворимые в этом реактиве, и скелет, нерастворимый в нем. Однако, такое деление, основанное на действии одного специфического реактива, вряд ли имеет преимущества перед определением И. в., данным А. Раденом в связи с их ролью—связывающих и наполняющих веществ в тканях растений. Это определение находится в полном соответствии с новейшими исследованиями Г. Амброна, К. Гесса и Р. Герцога, показавшими, что И. в. связаны с клетчаткой механически (не химически), как бы покрывая ее пленкой.

Лит.: Fuchs W., Die Chemie d. Lignins, B., 1926; Hess K., Die Chemie d. Zellulose und ihrer Begleiter, Lpz., 1928. **В. Комаревский.**

ИНКУБАТОРЫ, приборы, предназначенные для вывода птенцов из яиц без наседок. Сущность их действия сводится к тому, что яйца подогреваются до известной $t°$, что и вызывает развитие заключенного в яйце зародыша. Существует множество систем И., к-рые различаются между собою лишь деталями, но в которых неизменно повторяются основные черты, свойственные всем системам. Основными частями И. являются деревянный ящик и находящиеся внутри его: плоский ящик для яиц, обогреватели в виде бака или труб, термометр, овлажнитель и регулятор $t°$. Последние две части могут отсутствовать. По характеру обогревателей, нагревающих воздух внутри И., последние делятся на И. водяные (или гидроинкубаторы), гидровоздушные и воздушные. Гидроинкубаторы в свою очередь делятся на два типа: в одних источник тепла, нагревающий воду, находится вне инкубатора; в других он находится при И.

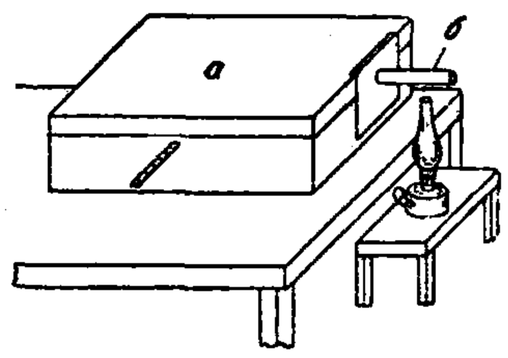
Типичным и наиболее простым гидроинкубатором с источником тепла, находящимся вне его, является И. системы Арну-Рулье (фиг. 1). Главную часть И. составляет бак *а* из оцинкованного железа емкостью в 5—6 ведер. Бак изолирован 10-*см* слоем *б* какого-либо плохого проводника тепла (опилки, просяная лузга). Бак наполняется кипятком, при чем $t°$ воды, вливаемой в бак, обычно при переливании бывает равной 95—96°. Этот запас горячей воды и служит источником тепла для инкубируемых яиц, которые помещают непосредственно под баком в один ряд в плоском ящике *в*, выдвигающемся через боковые дверцы. Дно ящика сделано решетчатым, для того чтобы CO_2, образующаяся как результат обмена веществ зародышей, могла беспрепятственно вытекать из ящика. Для удаления ее из теплой камеры И. в дне последней просверлено несколько отверстий *г*. Непосредственно под ящиком для яиц находится на низеньких подставочках плоский жестяной противень *д*, на к-рый насыпают слой чистого песка, прокаленного для обеззараживания, всегда поддерживаемого во влажном состоянии с целью овлажнения воздуха окружающего яйца. Для притока свежего воздуха в теплую камеру в боковых стенках имеются отверстия *е*, снаружи прикрываемые подвижной линейкой с соответствующими отверстиями. Для выпуска воды имеется кран *ж*. Термометр кладут между яйцами на брусочек так, чтобы ртутный шарик находился на одном уровне с верхними поверхностями яиц. Над баком устроена сушилка *з* для цыплят.



Фиг. 1.

Гидроинкубаторы, в к-рых одна и та же вода постоянно подогревается в самом И., имеют бак гораздо меньший и источники тепла при самом И.

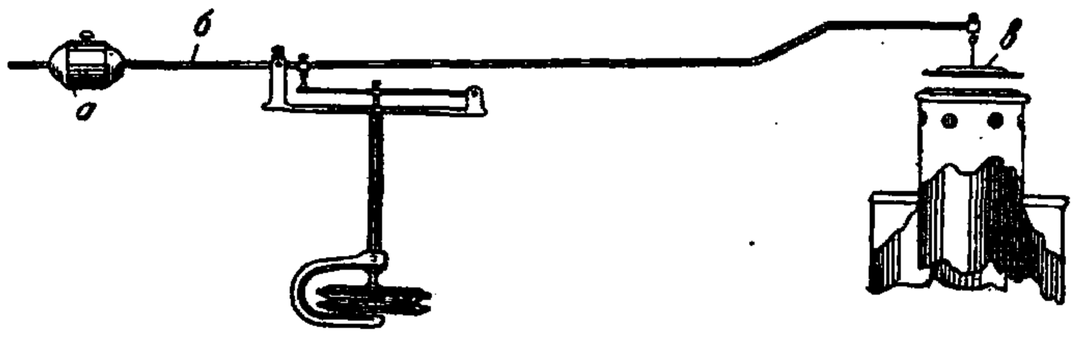
В И. сист. Дробышевского (фиг. 2) вместо бака имеется плоская коробка *а* такой величины, как ящик с яйцами, высотой 4—5 *см*. С одной стороны этой коробки имеется выходящий из наружного ящика выступ *б* длиной 20—25 *см* и шириной 10 *см*; под него ставят керосиновую лампу. Непрерывно циркулируя из выступа в коробку и обратно, вода все время поддерживается теплой и греет помещенные под коробкой яйца. Опуская лампу ниже или выше, увеличивая или уменьшая огонь, можно установить в ящике для яиц необходимую $t°$ (около 37°). Лампа должна гореть непрерывно в течение всего времени высиживания. Таким способом можно устроить лишь небольшой и самый примитивный И. на 50—70 яиц. При бóльших размерах нужны более сложные устройства выступа бака и самой лампы.



Фиг. 2.

Описанные здесь два И. являются прототипами очень многих систем и настолько просты, что их сделает по рисунку любой столяр, а жестяник может спаять бак. У всех прочих систем с подогревателями простой выступ бака развивается в кольцеобразный сосуд (наподобие самовара), через внутреннюю трубу к-рого проходят продукты горения и горячий воздух от расположенной ниже лампы. Сверху эта внутренняя труба прикрывается крышкой, соединенной с регулятором. Во всех ламповых гидроинкубаторах источник тепла (лампа, печь) расположен при самом И., в противоположность И., построенным по типу Арну-Рулье, где источник тепла с И. не связан (самовар, русская печь, котел и т. п.). Наиболее распространены И. с трубами, наполненными водой, так как вода, нагреваясь медленнее, чем воздух, медленнее и остывает, благодаря чему, в случае неисправности лампы, $t°$ воздуха внутри И. не так быстро падает.

В больших инкубаторах на несколько тысяч яиц источником тепла служит обычно угольная печь или даже несколько печей. Все эти И. с подогревателями нуждаются в т. н. регуляторах, потому что лампа или печь дают тепло неравномерно и, главное, могут поднять температуру в И. настолько, что вместо высиживания вызовут гибель всех зародышей. Чтобы этого не случилось,



Фиг. 3.

устанавливают внутри И. регулятор (например системы Сарториуса, фиг. 3), и именно там, где находится ящик с яйцами. Главною частью регулятора является небольшой барабанчик *а*, сделанный из очень тонкой меди с рифлеными стенками. В нем налита смесь из эфира и спирта, к-рая при соответствующей температуре вскипает. При этом стенки вздуваются, и движение это передает-

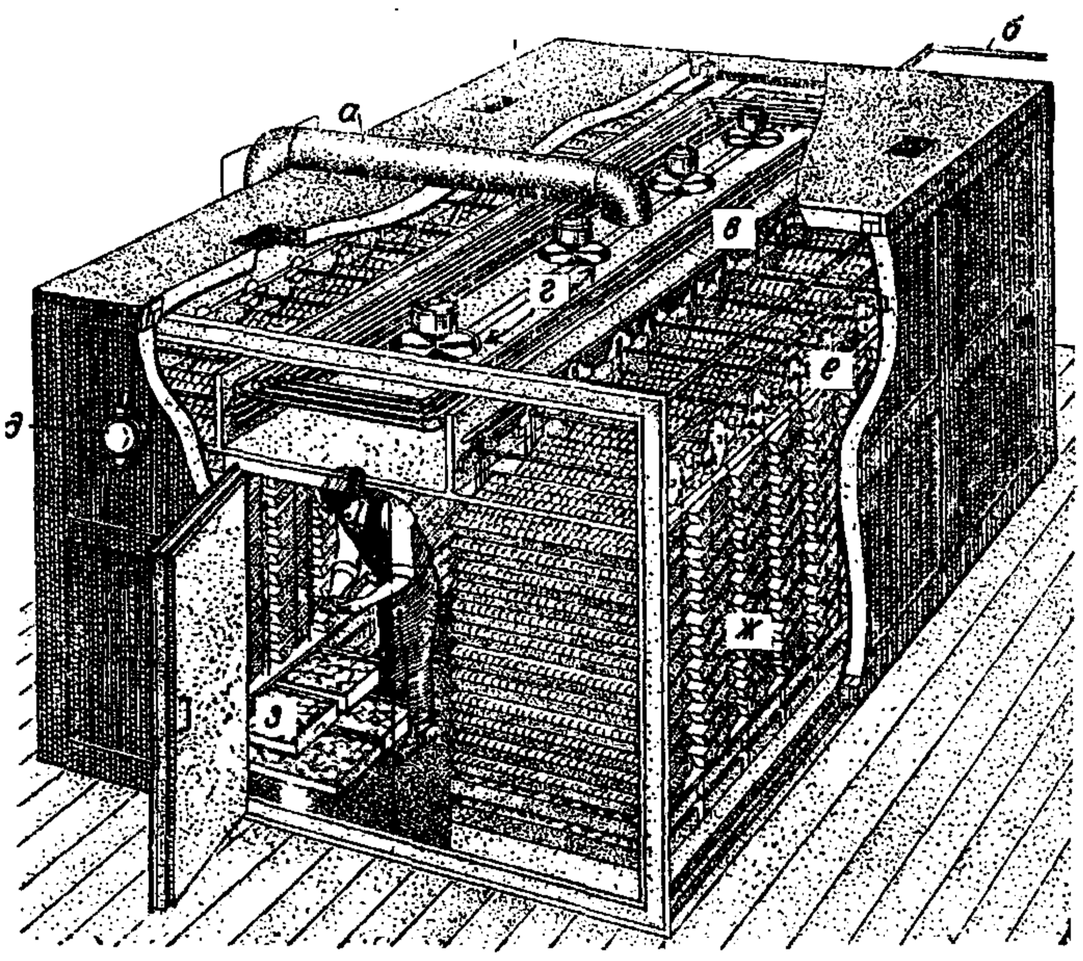
ся упирающемуся в барабан стерженьку *б*, связанному с целым рядом сочлененных рычажков, при помощи которых регулируется открывание крышки *в* над лампой. Сложность регуляторов, их хрупкость, благодаря чему всегда возможны поломка или просто неисправность действия, заставляют считать регуляторы наиболее слабой частью каждого инкубатора.

В Америке в настоящее время б. ч. употребляют систему регуляторов, устроенных так.обр.: две пружины, из стали или другого металла, согнутые под углом, соединяются так, что приходятся вместе или углы или, наоборот, свободные концы; один конец этой двойной пружины укрепляется неподвижно, другой остается подвижным. Когда пружина нагревается, то вследствие расширения металла она удлиняется, и концы ее начинают расходиться; это движение свободного конца передается крышке над лампой. Такие регуляторы гораздо прочнее. Большие, на много тысяч яиц И., изготовляемые гл. образом в Америке, состоят из группы сравнительно небольших И., соединенных общим основанием и обогреваемых от одного источника тепла. Применяется обычно угольная топка. Регулировка тепла в этих И. (т. н. м а м о н т о в ы х) происходит двумя путями: с одной стороны, в каждом отдельном маленьком И. (секции) имеется свой пружинный регулятор, действующий, однако, не на источник тепла, а просто открывающий или закрывающий широкое вентиляционное отверстие, через которое и выходит излишек теплого воздуха; с другой стороны, регулировка источника тепла происходит при посредстве самой горячей воды, циркулирующей по трубам, проходящим по всем секциям И. При нагревании воды в И. в открытых вертикально стоящих концах труб уровень ее, в зависимости от нагрева, изменяется. Движение уровня воды при помощи поплавков передается системой рычагов к поддувалу печи, к-рое соответственно открывается или прикрывается. В зависимости от притока воздуха усиливается или уменьшается жар печи, вследствие чего изменяется $t°$ воды в трубах, а затем и $t°$ внутри секций И.

Наконец, существуют еще регуляторы электрические, сущность к-рых сводится к следующему. В трубочку термометра, помещенного в камеру И., впаяны платиновые проволочки-контакты против деления шкалы, соответствующего предельной $t°$. Когда столбик ртути подходит к этим контактам, ток от батареи замыкается, электромагнит притягивает свой якорь, и движение это передается крышке над лампой. Когда $t°$ падает, ток размыкается и регулятор возвращается в свое первоначальное положение. Регулятор этот очень сложен, дорог, кроме того, несовершенен и часто портится (столбик ртути часто застревает на контактах и не падает).

В очень многих системах И. имеются так назыв. увлажнители, назначение к-рых поддерживать внутри камеры И. достаточную степень влажности. Яйца путем испарения выделяют довольно большое количество влаги, значительная часть к-рой уносится через вентиляторы, и воздух в И. становится чрезмерно сухим. Это обстоятельство влечет за собой или чрезмерное испарение влаги из яиц и сгущение белка или высыхание подскорлупной пленки, что делает ее негазопроводной и лишает зародыш необходимого ему кислорода. Увлажнение воздуха достигается тем, что внутри камеры И., обычно под ящиком с яйцами, ставится низкий противень (лист оцинкованного железа с загнутыми краями), наполненный чистым, предварительно прокаленным в печи песком, к-рый всегда поддерживается влажным путем поливки теплой водой. Так устроены увлажнители у водяных инкубаторов, у некоторых ламповых, воздушных, напр. системы Преери. Иногда влага доставляется в камеры И. особым испарителем с широким фитилем, получающим нагрев непосредственно от лампы (И. системы Стефенса). Многие И. увлажнителя не имеют, и влажность воздуха в них достигается помещением такого И. в достаточно влажном воздухе специального подвального помещения, так наз. и н к у б а т о р и я (большинство современных американских систем). В очень многих И. в ящиках для яиц имеются различные очень простые и остроумные приспособления для одновременного переворачивания всех яиц. В настоящее время наибольшее распространение получили америк. И. Среди них следует отметить наиболее хорошо работающие И. системы Сайферса, нагреваемые воздухом. Характерно для них то, что труба, к-рая проходит над яйцами, заключена в свою очередь в деревянную трубу, имеющую две узких прорези, через к-рые воздух опускается вниз, и нагревание происходит равномерно. Большое распространение в последнее время получил гидровоздушный И. сист. Бокей. В нем нагревается лампой вода, распределяющаяся над ящиками с яйцами по целой сети труб, к-рые могут покрывать собой значительное пространство. Поэтому эти И. можно строить на большое количество яиц—на 600, 900, 1200 шт. У них совершенно отсутствует увлажнитель, потому что в Америке пользуются достаточно влажным помещением для инкубатория. Однако, у нас они работают очень плохо, если не поддерживать влажность в помещении искусственно, накладывая под И. слой песка (в 10 *см*), к-рый поливается водой. Можно также под каждое решето с яйцами поставить увлажнитель обычного типа. При таких дополнениях эти И. работают хорошо. Фабрика Бокей в С. Ш. А. (Огайо, Спрингфильд) строит громадные многоэтажные (до 10 этажей) инкубаторы по совершенно оригинальной системе. На фиг. 4 дана установка многоэтажного И. Подача свежего воздуха в нем осуществляется через специальную подводящую трубу *а*. Согревание воздуха в И. производится теплой водой, циркулирующей по трубам *б*, расположенным в центральной части И. В случае необходимости понижения $t°$ воздуха в И. может быть произведено охлаждение при помощи охлаждающей установки *в*, по трубам которой циркулирует холодная вода. Регулировка $t°$ в И. достигается применением электрич. вентиляторов *г*. На наружной

стене камеры для наблюдения за темп-рой внутри И. имеется контрольный аппарат *д*, весьма чувствительный к изменениям *t*°. В этом инкубаторе совершенно оригинальным является приспособление *е* для одновременного наклона на 45° ящиков *жс*, в которых размещены яйца, что заменяет ручное



Фиг. 4.

переворачивание яиц. В нижних этажах И. располагают ящики-сушилки *з* для вылупившихся птенцов. Такие многоэтажные И. строятся на разные размеры: от 2 440 до 10—12 тысяч яиц одновременной закладки.

Из больших И. америк. происхождения в СССР в настоящее время ввозятся И., изготовленные компанией «Ньютон», одноэтажные на тысячу яиц. Изготовляются они и двух- и трехэтажные, при чем каждый из этажей является совершенно самостоятельным повторением и связан с другими лишь общей топкой. По существу, это не что иное, как 20—50 обычных инкубаторов на 150 яиц каждый, собранных вместе и отапливаемых трубами с водой, проходящими через них от общей печи. Печь напоминает обычные комнатные печи для каменного угля или кокса; она обогревает бак с водой, от которого идут внутрь секций трубы; в вертикально стоящей части труб помещается поплавок, регулирующий приток воздуха к поддувалу. Сверху секций видны крышки вентиляторов, открывающиеся обычными, расположенными в каждой секции пружинными регуляторами.

Таковы основные части большинства И. с подогревателями. Все они отличаются друг от друга различными деталями, размерами, но по существу устройства они совершенно похожи друг на друга. Все они требуют ухода за яйцами в смысле предоставления им того режима, тех движений, которые осуществляются в гнезде наседки. В нек-рых системах И. это выполняется целиком человеком, ухаживающим за И.; перемещение яиц совершается вручную (И. водяные америк. небольшие). В других — часть этой работы несколько механизирована; яйца перекатываются, напр. при помощи особого механизма, приводимого, однако, в движение обслуживающим персоналом (И. сист. Стефенса, новейшие модели Сарториуса и пр.). Во всяком случае при всех системах и типах современных И. человек принимает самое непосредственное участие в их работе. Автоматичность работы достигнута только в области регулирования *t*°.

Работами птицеводного отдела Воронежской обл. сел.-хоз. опытной станции установлено, что во время высиживания наседками яйца подвергаются чрезвычайно закономерным колебаниям *t*°. Колебания эти трех родов: 1) периодич. повышения и понижения *t*° происходят за 21 день инкубации у каждой наседки семь раз, в пределах от 33,4 до 38,8°, 2) три раза в сутки происходят повышения и понижения *t*° на 2,8° и 3) каждые полчаса каждое яйцо м. б. перекачено наседкой из центра гнезда к периферии его, при чем разница *t*° в этом случае получается в 8° (с физиологич. точки зрения эти постоянные колебания *t*° имеют целью изменение внутрияйцевого давления, в свою очередь облегчающего газообмен зародыша с окружающей средой, т. е. дыхание яйца). В И. же стремятся при помощи регулятора держать *t*° совершенно постоянной, и только случайно, помимо воли конструкторов, температура в разных точках ящика для яиц оказывается неодинаковой, почему при обязательном двукратном перекладывании яиц каждое отдельное яйцо два раза в сутки попадает в разные *t*°-ные условия; кроме того, при всех системах И. обязательным является двукратное в сутки остуживание яиц, для чего ящики с яйцами или вынимают или лишь выдвигают из И. Этими двумя обстоятельствами достигается нек-рое случайное и незакономерное колебание *t*°, к-рому подвергается каждое яйцо в И. Случайность и незакономерность *t*°-ных условий влекут за собой совершенную неуверенность в результатах работы. При случайном совпадении кривой *t*° с кривой при естественном высиживании выводы получаются хорошие, в обратном случае—плохие. В работе с этими И. остается большой простор для проявления личных качеств—внимания, наблюдательности и аккуратности—лицом, ведущим инкубационные работы. Вместе с тем, все изложенное в достаточной мере обусловливает вывод, что рекомендовать какую-либо систему И. совершенно невозможно, ибо все они в высокой степени повторяют друг друга, все работают в зависимости от целого комплекса окружающих условий и все одинаково далеки от совершенства. До тех пор пока не будет построен, так сказать, «нормальный» инкубатор, работать приходится с имеющимися системами, а потому необходимо познакомиться с побочными приспособлениями, обусловливающими наиболее удачный вывод птенцов.

Благодаря незащищенности И. от внешних условий и решающему влиянию этих последних (температура, влажность) на результаты инкубации, на первое место надо поставить значение помещения для И.—и н к у б а т о р и я. Требования для инкубаториев, по Льюису, кратко определяются так: 1) постоянная темп-ра комнаты; 2) хорошая вентиляция; 3) обилие влаги. Наиболее удовлетворяет этим требованиям помещение полуподвальное. В строении, воздвигаемом

специально для целей инкубации, пол д. б. ниже поверхности земли на 1—1,5 *м*, а потолок—на высоте 2,5—3 *м* от пола. Стены ниже поверхности земли—лучше всего цементированные или каменные, тогда как наружные стены над поверхностью земли можно делать деревянные, обшивая их изнутри и снаружи досками в 5 *см* толщиною. Можно построить стены из пустотелых кирпичей, к-рые являются плохими проводниками тепла. Нет необходимости устраивать дорогую вентиляционную систему в инкубаторном подвале. Лучше всего прорезать в стенах одностворчатые окна размером 1×1 *м*, одно на каждые 27 $м^3$ воздуха. Эти окна должны иметь двойные рамы; для открывания наружную раму поднимают кверху, от себя, а внутреннюю раму открывают книзу, на себя. Ни та ни другая рама не должна открываться больше, чем на 45°, что позволит воздуху циркулировать свободно через подвал, не создавая сквозняка прямо на И. Сквозняк над И., особенно во время больших ветров ранней весной, заставляет лампу коптить или тушит ее совсем. Система двойных рам в комнате может удержать $t°$ и влажность в комнате постоянными. Хорошо устроить вестибюль с двойной на петлях дверью при входе в подвал, чтобы предохранить его от внезапного притока внешнего воздуха при открывании двери. Инкубаторий должен иметь цементированный пол. Это позволяет опрыскивать его, что также помогает поддерживать правильную влажность. Часть инкубаторного подвала должна быть отведена для двух небольших комнат с тем, чтобы одну из них легко было затемнить для миража яиц, а другая могла служить для хранения керосина, оправления ламп и т. п. В центре инкубатория ставят длинный стол для переворачивания и охлаждения яиц, хотя необходимость в этом столе зависит от типа И.: некоторые из них устроены так, что лотки с яйцами можно ставить на верх И.

Лит.: Хинцинский Н. Н., Искусственная инкубация, М., 1911; Фердинандов В. В., Птицеводный отдел Воронежской обл. с.-х. станции. Результаты трехлетних работ, «Итоги работ опытных учрежд. Центр.-Черноземн. области», Воронеж, 1923; Никитин В. П., Вывод цыплят под наседкой и в инкубаторе, П., 1923; Кириллов А. М., Основы искусства выводить цыплят без наседок, М., 1913; Орлова О. М., Естеств. и искусств. вывод птенцов, Калуга, 1909; Иванов М. Ф., Сельскохоз. птицеводство, Харьков, 1919; Льюис Г. Р., Промысловое птицеводство, пер. с 40 американского изд., М.—Л., 1927; Фердинандов В. В., Как выводить птицу без наседок, М.—Л., 1927; Lee A., Natural and Artificial Incubation of Hens Eggs, New York, 1925; Blancke B., Unser Hausgeflügel, Berlin, 1908.

В. Фердинандов.

ИНСЕКТИСИДЫ, насекомоотравляющие химич. вещества. По действию на насекомых И. разделяются на внутренние, или кишечные, и наружные, или контактные. Первые, проникая с пищей, отравляют насекомых через пищеварительные органы; вторые умерщвляют насекомых, действуя на дыхательную систему или на железистые поры в коже насекомых, а через них и на другие их органы. Указанное различие обусловливает коренную разницу в методе применения и в выборе инсектисидов для истребления вредителя в каждом отдельном случае (см. *Вредители*).

В большинстве случаев внутренние И. пригодны только для борьбы с грызущими насекомыми и не пригодны для уничтожения насекомых в стадии яйца и куколки, а также в период линьки и для борьбы с сосущими насекомыми, ибо колюще-сосущие насекомые, вонзая хоботок в ткань растения, минуют внутренний яд, распределенный на поверхности растения. В практике имеются лишь редкие исключения, когда сосущих насекомых, например мух, отравляют приманочными ядовитыми растворами. Наружные И., действующие на дыхательную систему и через кожу, применимы против всех насекомых и во всех стадиях, следовательно более универсальны. Для того чтобы подействовал какой-либо контактный инсектисид, необходимо, чтобы он непосредственно соприкоснулся с телом насекомого. Если насекомые, обитающие открыто в природе, держатся рассеянно, живут одиночно, применение контактного И. будет нерентабельным; если насекомые живут в природе под сделанными ими защитными приспособлениями (под паутиной, в свернутых листьях, в стеблях и т. д.) или густо покрыты волосками, контактные И. также не всегда могут оказать свое действие. Наоборот, при применении внутренних И. (кишечных ядов) преследуется возможно экономное и равномерное распределение их по растениям (не по насекомым), изгрызаемым насекомыми. В этих случаях насекомые, проглатывая твердую пищу, неминуемо вместе с нею проглотят приставший к поверхности растений внутренний инсектисид.

При условии истребления насекомых на живых растениях, какой бы И. ни применялся, неизбежно возникает вопрос о дозировке. В интересах борьбы необходимо, чтобы И. действовал быстро и полно, что ведет к увеличению порций употребляемого И., а это идет в разрез с требованиями экономии и может отразиться на жизни защищаемого растения. В каждом случае опытным путем д. б. установлены: минимальная доза И., успешно действующая на насекомое, и максимальная доза, переносимая безболезненно растением. Влияние одного и того же И. на один и тот же вид насекомого меняется в зависимости от метеорологич. условий, возраста насекомого и т. п.; например, во влажную погоду И. обладают меньшим токсическим (ядовитым) действием, молодые личинки менее выносливы и т. д. Одна и та же доза И. различно влияет на один и тот же вид растения в зависимости от его сорта, возраста, географической широты распространения и т. д. Чем моложе растение, чем моложе листва растения, тем доза инсектисидов должна быть меньше; чем южнее растет данное растение, тем грубее его листва и тем выносливее оно к воздействию инсектисидов.

А) Наружные, или контактные, инсектисиды употребляются паро-газообразные и жидкие.

1) Паро-газообразные инсектисиды отравляют насекомых, проникая в дыхательные органы или сквозь оболочку яиц последних. Применяются только против вредителей, живущих в закрытых помещениях.

Сероуглерод, CS_2 — бесцветная или желтоватая жидкость с неприятным запахом, кипящая при 46°, быстро испаряющаяся (пары его в 2,6 раза тяжелее воздуха); легко воспламеняется и в смеси с воздухом взрывает. Поэтому при работе с ним запрещается курение и всякое присутствие огня, выключаются электрич. провода (могущие нагреваться или искриться); CS_2 применяется: а) при борьбе с грызунами, живущими в земле в норках с 1—2 выходами (суслики и хомяки); в их норки опускают пропитанные CS_2 шарики из пакли, величиной с лесной орех, после чего отверстия затыкают соломой, присыпают сверху землей и притаптывают; пары CS_2 умерщвляют обитателей норок; б) при борьбе с подземными насекомыми и их личинками, для чего CS_2 вводят в почву при помощи особых шприцов или вливают в ямки, сделанные колом, из расчета от 30—70 до 200—300 *г* на 1 *м²*, при 2—4 уколах на нем; большие дозы применяются лишь при так называемой радикальной борьбе с виноградной филлоксерой, когда убивается не только вредитель, но и растение; в) широко применяется при дезинсекции различн. помещений или при работе в особых дезинсекционных камерах (см. *Дезинсекция* продуктовых хранилищ).

Сернистый газ, SO_2—бесцветный газ, вдвое тяжелее воздуха, растворимый в воде. В газообразном виде SO_2 действует разрушительно на металлич., окрашенные, текстильные и другие предметы; зерну и муке сообщает неприятный привкус, поэтому им окуривают только пустые помещения.

Хлорпикрин, CCl_3NO_2,— светложелтая тяжелая жидкость; пары его тяжелее воздуха в 5,6 раза и вдвое тяжелее паров CS_2; очень ядовит, вызывает слезоточивость от присутствия в воздухе (1 : 200 000 000). Металлы повреждаются хлорпикрином только при большой влажности воздуха; ткани, краски, кожа, пищевые продукты не портятся; хлебное зерно значительно теряет лишь всхожесть. Хлорпикрин употребляют при борьбе с амбарными вредителями: дозировка—до 20 *см³* на 1 *м³* помещения, при выдержке в 24 часа. Для лучшего испарения хлорпикрин разбрызгивают пульверизаторами по верху помещения. Особенно ценно применение его в элеваторах для обеззараживания больших партий зерна. Применяется также при борьбе с вредителями в трюмах пароходов.

Никотин, $C_{10}H_{14}N_2$—применяется или жидким, при опрыскивании насекомых, или в виде табачного дыма. Последнее широко практикуется при борьбе с яблонной медяницей. Табачным дымом также борются в подвалах с зимующими в них малярийными комарами (30 *г* табачной пыли на 1 *м³* помещения).

Цианистый водород, HCN—легче воздуха и получается при действии серной кислоты на цианистый калий или натрий (см. *Дезинсекция* продуктовых хранилищ). Цианизация применяется в широких размерах в Америке для обеззараживания от насекомых ценных плодовых или декоративных растений, для чего их накрывают шатрами из парусины, пропитанной олифой, с присыпкой нижних краев землей. HCN широко применяется также при дезинсекции пустой тары, вагонов, музеев, книжных хранилищ и проч. Дозировка в разных случаях 2—70 *г* цианистой соли на 1 *м³* помещения.

Парадихлорбензол, $C_6H_4Cl_2$—белое кристаллич. вещество, нерастворимое в воде, но растворимое в бензине, керосине, эфире и т. п. веществах. Испаряется медленно, пары его в 5 раз тяжелее воздуха, не воспламеняются. Применяется при борьбе с подземными вредителями, для чего вносится в почву на глубину несколько выше нахождения главной массы насекомых, из расчета 6—12 *г* на каждое пересечение полуметровой сетки.

2) Жидкие контактные И. закупоривают дыхательные отверстия на теле насекомых, а также действуют на поры кожи, при обязательном условии их непосредственного контакта с телом насекомых. Задачей опрыскивания контактными И. является покрытие не растения, а самого насекомого, открыто сидящего на растении. Наиболее распространенные из жидких контактных И. следующие.

Железный купорос, $FeSO_4$—применяют при борьбе с полевыми слизнями, путем опрыскивания ранним утром водным раствором купороса (от 1,2 до 1,6 *кг* на 10 *л* воды) участков, зараженных слизнями. Раствором 1 *кг* на 10 *л* опрыскивают ранней весной (до набухания почвы) или осенью (после опадения листвы) плодовые деревья для умерщвления яиц медяниц, тли, а также лишайников.

Зеленое мыло жидкое—по своим контактирующим свойствам стоит в первом ряду жидких наружных И. Разведением мыла в теплой воде приготовляют И., по расчету 200—400 *г* на 10 *л*. Применяется при борьбе с всевозможн. сосущими насекомыми и грызущими, малоподвижными личинками.

Керосин—в чистом виде применяется для обмазки на стволах и толстых ветвях яиц непарного шелкопряда, монашенки и др. Еще практичнее применять более дешевую черную нефть. Керосин и нефть льют также на поверхность стоячих вод, заселенных личинками малярийных комаров. Из керосина и мыла для опрыскивания сосущих насекомых приготовляют мыльно-керосиновую эмульсию.

Карболинеум—служит для смазывания им весною стволов и ветвей плодовых деревьев, покрытых червецами (щитковой тлей). Летом им смазывают побеги плодовых деревьев, заселенные кровяной тлей.

Табак. Из табачных отбросов приготовляется жидкий экстракт с 8—10%-ным содержанием никотина. Для опрыскивания насекомых на зеленых растениях 1 *л* экстракта разводится в 50 *л* воды. В виду слабого его смачивающего свойства к нему прибавляют зеленого мыла из расчета 400 *г* на 100 *л* разведенного экстракта. Это—распространенный И. против всевозможных сосущих насекомых и малоподвижных голых грызущих личинок насекомых.

Б) Внутренние И., или кишечные, существуют жидкие и твердые (порошкооб-

разные). Парижская (швейнфуртская) зелень; для приготовления И. берется 7—14 *г* зелени и удвоенное количество негашеной извести на 10 *л* воды. Известь перед употреблением гасят и размешивают в воде (известковое молоко). Отвешенную парижскую зелень размешивают сначала в небольшом количестве воды, чтобы лучше смочить ее, затем раствор вливают в известковое молоко, тщательно размешивают и переливают в опрыскиватель для производства работ. Во время опрыскивания И. необходимо раствор чаще взбалтывать, чтобы зелень не оседала. Известь можно заменять окисью цинка, ZnO (сухие цинковые белила), к-рой берется по весу вдвое меньше количества взятой зелени. Известь или окись цинка, кроме нейтрализации свободной к-ты (к-рой ожигаются растения), способствует хорошему прилипанию яда к растениям (после испарения воды), а также оставляет белый след, который указывает на опрыснутые растения. При опрыскивании грубых, выносливых растений известь и окись цинка с успехом заменяют черной сахарной патокой (мелассой) в количестве от 100 до 200 *г* на 10 *л* воды. Не обладая щелочными свойствами, патока хороша тем, что не засоряет наконечников опрыскивателя, делает жидкость более связной, обеспечивает лучшее прилипание частичек парижской зелени к листьям, меньше смывается дождями и своим запахом привлекает вредителей, к-рые охотно нападают на опрыснутую растительность. Широко применяется при борьбе с грызущими насекомыми и их личинками.

Мышьяковисто-кислый натрий, Na_2HAsO_3—употребляется при борьбе с полевыми грызущими насекомыми. И. готовится растворением Na_2HAsO_3 в воде, в пропорции 400—800 *г* на 300 *л* с прибавлением удвоенного по весу количества негашеной извести или равного с ним количества окиси цинка. Это—более грубый И. и применяется в полевых условиях к более грубым растениям; особенно употребителен в борьбе с саранчовыми.

Джипсин, или мышьяковокислый свинец, $PbAsO_4$—не содержит в себе свободных к-т и не делает ожогов на растениях, в каких бы дозах его ни брали. При жидком употреблении его берут 400—1 200 *г* на 500 *л* воды. Употребляется и в сухом виде для опыливания.

Хлористый барий, $BaCl_2$—употребляется в виде 3—5%-ного раствора (350—500 *г* на 10 *л* воды). Для лучшего прилипания и меньшего смывания его дождем прибавляется черная патока. Употребляется в сухую и жаркую погоду, так как его действие на организм заключается в отнятии воды из тела. В сырую же погоду или на влажной растительности насекомые могут восстановить воду в организме и действие бария значительно ослабить. Применяется особенно широко на свекловичных плантациях.

Углекислый барий, $BaCO_3$—успешно применяется в борьбе с крысами и мышами в отравляющих приманках (из крошеного хлеба, теста, каши, творога и пр.), из расчета 1 часть на 4 части приманки. В этих случаях заменять его хлористым барием нельзя, так как последний обладает резким металлическим привкусом и грызуны отказываются от приманок. Опрыскивание производится в сухую погоду, в утренние или в вечерние часы. Во время палящего солнца опрыскивать не рекомендуется, так как через жидкие двояковыпуклые капельки лучи солнца на растениях производят ожоги; если вскоре после опрыскивания прошел дождь (средний или сильный), опрыскивание надо повторить; опрыскивание прекращается за 2—3 недели до уборки урожая, чтобы дать время растениям очиститься от ядов; на 1 *га* полевых и огородных культур при сплошном опрыскивании требуется 500 *л* жидкости.

Метод отравленных приманок особенно тщательно разработан в борьбе с саранчовыми. В местах, заселенных саранчовыми, разбрасывается отравленное ядом, увлажненное и издающее запах вещество, которое для них более привлекательно, чем окружающая растительность. Ядом для приманок служит наиболее обладающий токсичностью, легко растворимый и дешевый мышьяковистокислый натрий, хотя можно употреблять и другие мышьяковистые препараты (парижскую зелень, белый мышьяк и проч.). Обычно 350—400 *г* мышьяковистого натрия растворяют в 10 *л* воды и раствором смачивают наиболее дешевые в данной местности приманочные материалы—отруби, древесные опилки (последние смачивают горячим раствором), сухой и измельченный конский навоз, раздробленные жмыхи. Размешанную влажную рассыпчатую массу разбрасывают по земле, из расчета 30—45 *кг* сухих приманок на 1 *га*. Преимущество отравленных приманок в борьбе с саранчовыми громадное: отпадают дорого стоящие опрыскиватели, их ремонт, большое количество воды, и сохраняется растительность.

Метод опыливания (сухие И.) заключается в распылении в сухом виде порошкообразных И. как против грызущих, так и сосущих насекомых. Из кишечных ядов против грызущих насекомых применяются гл. обр. мышьяковистокислый кальций, джипсин, парижская зелень, мышьяковистокислый натрий. Особенно удобны первые две соли, как нерастворимые в воде и не вызывающие от дождя ран и ожогов на растениях. Яды смешивают с дешевыми нейтральными порошками (гипс, тальк, мука и др.). Пропорции смесей колеблются от 1:1 до 1:10. Расход ядов при опыливании полевых низкорослых культур достигает 8—16 *кг* на *га*. Опыливание порошками цианистого кальция и никотина применяется против сосущих и грызущих насекомых. Цианистый кальций от влаги в воздухе разлагается, выделяя пары синильной к-ты, убивающие вредителей. Этот И. распыляют по свободно стоящим растениям или последние предварительно покрывают шатрами, и порошок вдувают специальными приборами. Для опыливания дерева средних размеров требуется 500—900 *г* порошка. Для опыливания никотином приготовляют

сухие смеси: выбирают какой-либо поглотитель никотина, чаще всего гашеную известь или углекислый магний, и пропитывают их 40%-ным раствором сернокислого никотина. Поглотитель высушивают, размельчают в тонкий порошок и распыливают по растениям. Для приготовления берут 95% извести и 5% никотина. Опыливание сухими И. производится через особые распылители или с аэропланов; опыливание рекомендуется производить в безветренную погоду, утром по росе (для лучшего прилипания) или вечером, при большей влажности воздуха. Для работы с сухими И. требуется весьма тонкий размол их.

Лит.: Холодковский Н. А., Курс энтомологии, т. 1, 4 изд., М.—Л., 1927; Адрианов А. и Буров С., Химия в борьбе с вредителями, М., 1925; Парфентьев И., Химия в борьбе с вредными насекомыми, Москва, 1925; Пухов Б., Отравленные приманки в борьбе с кобылками, Петроград, 1917; Бородин Д., Самолеты в сельском хозяйстве, Нью Иорк, 1925; Стельмахович Е., Инсектисиды, фунгисиды, гусеничный клей и опрыскиватели, Петербург, 1906; Wardle P. and Buckle P., The Principles of Insect Control, Manchester, 1923.

В. Модестов.

ИНСОЛЯЦИЯ, освещение какого-нибудь объекта лучами солнца или какого-либо искусственного источника света. И. применяется для испытания светопрочности красителей. Красящие вещества на ткани, подвергаясь действию солнечного света, постепенно химически изменяются, что сопровождается иногда изменением тона окраски, иногда побледнением или потускнением оттенка (см. *Выцветание красящих веществ*). Каждый краситель характеризуется известной степенью устойчивости к действию солнечных лучей, при чем светопрочность колеблется в чрезвычайно широких пределах, начиная от красителей, выцветающих в течение нескольких часов, и кончая светопрочными, почти не изменяющимися даже в течение месяца. Для установления светопрочности красителя окрашенную ткань подвергают И. обычно параллельно с контрольным опытом, в к-ром применяются стандартные красители, обладающие установленной светопрочностью. Происходящие при этом фотохимич. процессы обусловливаются гл. образом действием химически активной части спектра, к-рая начинается лишь от лучей с длиной волны ок. 3 300 Å и простирается обычно до 2 900 Å. Поэтому естественная И. должна производиться в таких условиях, чтобы химически активная ультрафиолетовая часть солнечного спектра имела доступ к ткани; искусственная же И. только тогда сможет претендовать на замену естественной, когда в спектре источника искусственного света удастся добиться распределения энергии, тождественного имеющему место в солнечном спектре.

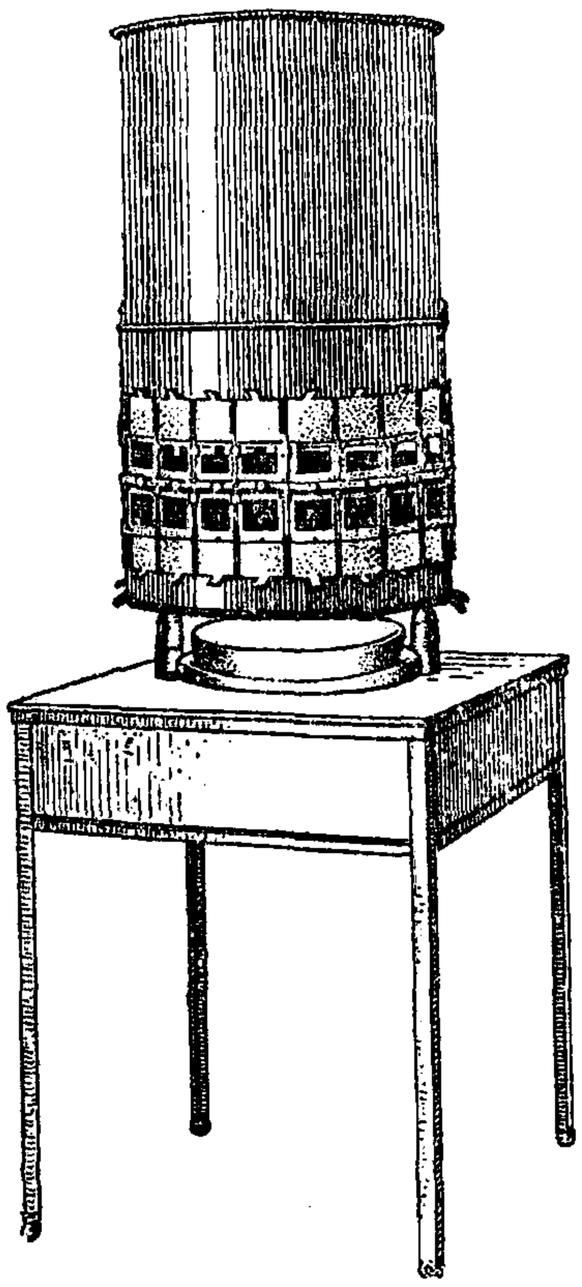
Следующими по важности факторами, обусловливающими скорость выцветания, являются атмосферные условия влажности и $t°$. При прочих равных условиях скорость выцветания приблизительно пропорциональна относительной влажности и быстро возрастает с повышением темп-ры. Поэтому при естественной И. необходимо производить систематич. наблюдение над влажностью и $t°$; при искусственной И. необходимо создание условий для постоянства этих факторов.

Установка для естественной И. представляет собою остекленный ящик—витрину, в к-рой развешивают испытуемые образцы; при этом, для защиты от действия света, часть их прикрывают черной бумагой, и, т. о., по окончании испытания имеется возможность судить о степени и характере выцветания красителя на основании сравнения инсолированной и неинсолированной частей. При этом лучше всего было бы обеспечить действие неискаженного солнечного света на поверхность ткани; между тем, обычно, благодаря остеклению, бо́льшая часть химически активных лучей оказывается поглощенной, т. к. обыкновенное стекло толщиной 0,07 *см* пропускает уже только 33% падающих на него ультрафиолетовых лучей. Идеальным было бы остекление тонкой кварцевой пластинкой, пропускающей почти 90 % всего света, вплоть до волны длиной в 2 000 Å; однако, эти пластинки слишком дороги. В виду этого для указанной цели пользуются специальными сортами стекла, напр. витагласом (Vitaglass), применяемым в Англии и поглощающим равномерно лишь ок. 10% солнечного спектра. Витрина для экспозиций д. б. снабжена гигрометром и должна допускать свободный доступ воздуха, защищая в то же время образцы окрашенного товара от действия погоды. И. производится параллельно со стандартной шкалой светопрочности, установленной Германской комиссией про́чности, и результаты оцениваются по 8-бальной системе.

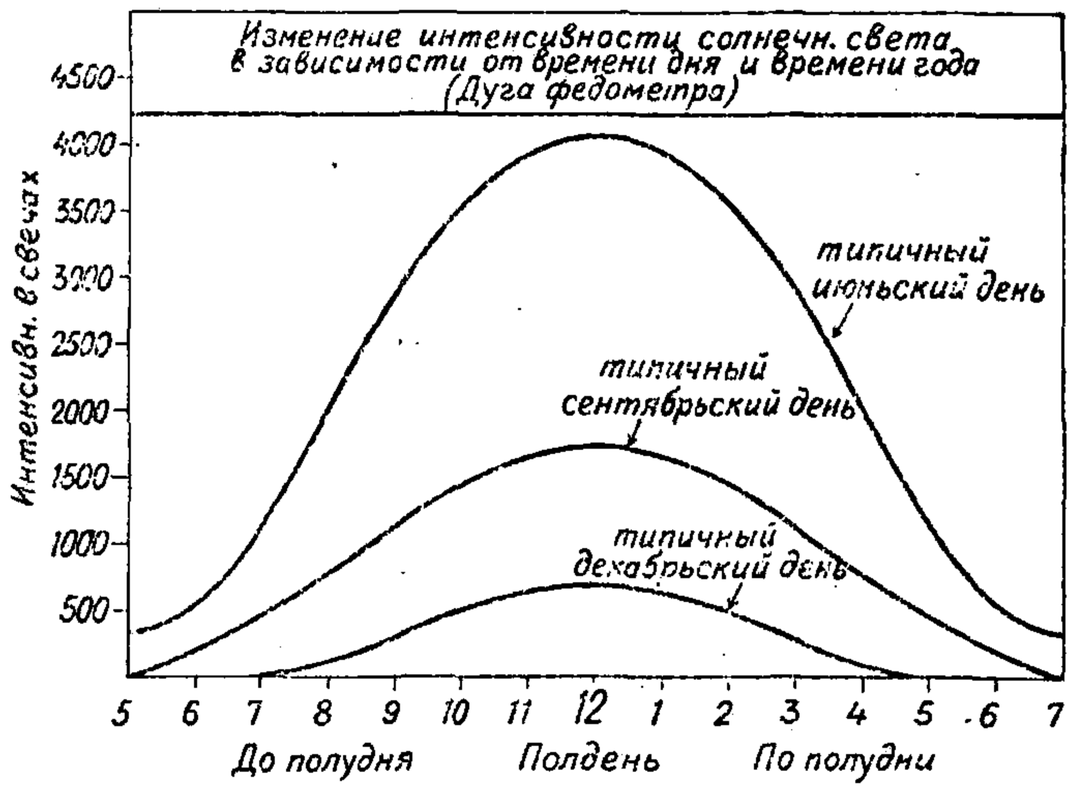
Естественная И. не может удовлетворить научно-исследовательским целям, требующим создания строго постоянных условий испытания, регулируемых экспериментатором; но она неудовлетворительна и для практич. целей, т. к. действие солнечного света в случае светостойких красителей проявляется недостаточно быстро; это обстоятельство вызвало необходимость конструкции целого ряда приборов, к-рые либо усиливают действие естественного солнечного света либо заменяют его искусственной инсоляцией. К первому типу принадлежит аппарат Каллаб-Элера, в котором на ткань при помощи целой системы линз направляется концентрированный пучок солнечного света. Аппараты эти не дали, однако, возможности стандартизировать условия испытания и сделать их независимыми от погоды и времени года. Поэтому в дальнейшем начали конструировать аппараты, в к-рых солнечный свет заменяли вольтовой дугой, свет от которой направлялся на ткань системой линз (прибор Пергера). Недостаток этих приборов заключался в почти полном отсутствии в их спектре химически активных лучей.

Наиболее совершенным прибором этого типа является в настоящее время федометр (фиг. 1). Вольтова дуга федометра, дающая $t°$ до 3 600°, заключена в обычный стеклянный колпак, находящийся в металлическом тамбуре с прорезями, в к-рые вставляются рамочки с наполовину затененными образцами. Диаметр тамбура—около 20 дм. (50,8 *см*), т. к. установлено, что при этих условиях максимальная $t°$ поверхности образцов доходит до 70°, т. е. образцы нагреваются примерно так же, как на полуден-

ном июньском солнце в средних широтах. Тамбур устанавливают на столике, на к-рый ставят и увлажнительный сосуд, поддерживающий на постоянном уровне влажность и тем ускоряющий действие прибора. Для федометра можно пользоваться как переменным, так и постоянным током с напряжением 220 V, при чем сила тока должна достигать 13 А. Электроды служат в среднем 18—32 час. Длина дуги регулируется автоматически, так что обслуживание прибора весьма просто. Результаты И. на федометре близки к получающимся при действии солнца, что и объясняется составом угольных электродов, дающих спектр, весьма близкий к солнечному, особенно в фиолетовой и ультрафиолетовой части. Благодаря весьма высокой $t°$ источника света можно обойтись без дорого стоящего кварцевого колпака, так как при этих условиях обыкновенное стекло пропускает ультрафиолетовые лучи. Этими обстоятельствами объясняется сходство результатов, получаемых при И. действием федометра и на солнце, но ими же обусловливается и медленное действие федометра сравнительно с действием ртутной лампы; так, для гладко окрашенных тканей 1 час действия федометра заменяет 1,3 часа яркого июньского солнца, для печатных же образцов, а также при испытании чернил и т. п. 1 час эквивалентен 4—5 ч. действия солнца. Для возможности сопоставления действия солнца в другие месяцы с т. н. стандартным солнцем в июне можно пользоваться графиком (фиг. 2) или опубликованными данными. Достоинством федометра является также отсутствие в его излучении слишком коротких волн, опасных для глаза и имеющихся в большом количестве при излучении ртутно-кварцевой лампы.



Фиг. 1.



Фиг. 2.

Аппаратом, предназначенным дать весьма быстрое и стандартизованное испытание светопрочности, является ртутно-кварцевая лампа, изготовляемая Quarzlampengesellschaft Hanau (см. *Кварцевая лампа*), которая излучает свет весьма значительной химической активности, отличающийся весьма быстрым действием на красящие вещества. Испытания производятся вместо недель в течение нескольких часов, однако, результаты резко отличаются от результатов, получающихся при И. действием солнца, что вполне естественно в виду несоответствия спектра ртутно-кварцевой лампы солнечному спектру. Кроме того, лучи кварцевой лампы сильно озонируют воздух, а озон разрушает красящие вещества весьма быстро и поэтому совершенно искажает толкование результатов. Этот инсоляционный прибор представляет собою небольшую эвакуированную кварцевую трубку с ртутью, заключенную в металлич. цилиндрический тамбур, внутри которого по образующим цилиндра располагают испытуемые образцы.

Лит.: Инсоляция, ст. в «Технич. Энциклопедии», изд. «Просвещение», т. 4; «Journal of the Soc. of Dyers a. Colorists», L., 1927, p. 44, 52, 253, 296; «Leipziger Monatsschrift f. Textilindustrie», Lpz., 1928, p. 209; Herzfeld J., Die technische Prüfung d. Garne u. Gewebe unter Berücksichtigung d. behördlichen Vorschriften, p. 122, Wien, 1896; Heermann P., Mechanisch- und physikalisch-technische Textiluntersuchungen, 2 Aufl., B., 1923. **Л. Мирлас.**

ИНСПЕКЦИЯ ТРУДА, в СССР была организована декретом от 18 мая 1918 года, объявившим распущенной старую царскую фабричную инспекцию, существовавшую с 1882 г. Основной особенностью, отличающей И. т. в СССР от И. т. в буржуазных странах, является ее выборность (рабочие инспектора труда избираются на конференциях профорганизаций или губернским и уездным объединением профсоюзов). И. т. руководствуется декретом об И. т. и специальным наказом Наркомтруда СССР (НКТ) (последнее, четвертое, издание этого наказа опубликовано было 24 дек. 1925 г.). По основному декрету от 18 мая 1918 г., инспектор труда имеет своей целью охрану жизни и здоровья трудящихся. Несколько полнее излагает задачи И. т. ст. 146 Кодекса законов о труде, изд. 1922 г., гласящая: «Надзор за выполнением всеми без исключения учреждениями, предприятиями, хозяйствами и лицами всех постановлений сего кодекса, декретов, инструкций, распоряжений и коллективных договоров в части, касающейся условий труда, охраны здоровья и жизни трудящихся, возлагается на состоящую в ведении Наркомтруда И. т., технич. инспекцию и санитарную инспекцию». В соответствии со ст. 149 Кодекса, наказ подчеркивает, что на инспекцию возлагается не только наблюдение и контроль за проведением в жизнь декретов, постановлений и других актов советской власти в области охраны интересов трудящихся масс, но и непосредственное принятие необходимых мер для охраны безопасности, здоровья и жизни работников и работниц. Согласно наказу, по предъявлении открытого листа, выданного НКТ соответствующей республики, или временного удостоверения,

выданного соответствующим органом НКТ, инспектор труда имеет право беспрепятственно посещать во всякое время дня и ночи все предприятия, учреждения и хозяйства своего района и все прочие места, где производится работа, а также все существующие при них учреждения для рабочих (бани, больницы, квартиры, ясли и пр.). При посещении предприятий, учреждений и хозяйств вне места жительства инспектора, инспектору труда предоставляется администрацией соответствующее помещение для служебных занятий и, в случае необходимости, также и для отдыха и ночлега.

В тех случаях, когда при обследовании государственных предприятий, входящих в хозяйственные объединения (тресты и т. п.), обнаружены недостатки, устранение к-рых связано с крупными материальными затратами, инспектор труда должен не предъявлять требования в обычном порядке непосредственно администрации данной ф-ки или з-да, а вначале ограничиться составлением подробного описания обнаруженных дефектов. Это описание вместе с точным указанием мероприятий, необходимых для их устранения, инспектор направляет в подлежащие органы НКТ для включения соответствующего требования в договор (соглашение), заключаемый с управлением хозяйственного объединения, об улучшении санитарно-гигиенич. условий труда по всем ф-кам и з-дам этого объединения на основе учета хозяйственных возможностей последнего. В случае обнаружения особо серьезных недостатков, непосредственно угрожающих жизни и здоровью рабочих, устранение которых не терпит отлагательства, инспектору труда предоставляется право принятия совместно с фабрично-заводским (местным) комитетом или же делегатом профессионального союза экстренных мер, вплоть до закрытия з-да, мастерской, остановки машины, двигателя, станка и пр. Эти серьезные мероприятия, согласно наказу инспекции труда, инспектор труда в праве принимать не только при обнаружении нарушения существующего законодательства, но и тогда, когда соответствующие нарушения и принимаемые им меры не предусмотрены в местных постановлениях или распоряжениях органов НКТ (ст. 149 Кодекса).

В случае обнаружения невыполнения действующего законодательства о труде инспектор труда делает обязательные предписания об их устранении (п. «г» ст. 148 Кодекса), привлекает виновных к административной или судебной ответственности (п. «д» ст. 148 Кодекса), а также в праве участвовать в деле в качестве обвинителя. Инспектор труда при возбуждении производства по уголовному делу, входящему в круг его ведения, пользуется, на основаниях, установленных уголовно-процессуальными кодексами союзных республик, правом производить дознание по этому делу. Инспектор труда имеет право, в зависимости от санитарно-гигиенич. и технич. условий труда в предприятиях, учреждениях и хозяйствах, повышать или понижать для них размер страховых взносов с последующим утверждением этих повышений и понижений в установленном порядке.

Помимо текущего надзора, на И. т. возлагается ряд обязанностей в отношении т. н. предупредительного надзора. Согласно наказу, инспектор труда обязан: а) следить за тем, чтобы постройка, переустройство или капитальный ремонт промышленных предприятий производились по проектам, получившим санкцию органов охраны труда; б) участвовать в комиссиях по осмотру законченных построек, промышленных сооружений перед пуском их в ход, в целях выяснения соответствия этих построек проектам, утвержденным согласно обязательным постановлениям НКТ; в) наблюдать за тем, чтобы ни одно предприятие не открывалось и не было пущено в ход или переведено в другое здание без санкции И. т. (ст. 138 Кодекса); г) наблюдать за тем, чтобы при сдаче хозяйственными органами предприятий в аренду в заключаемые договоры вносились пункты, обязывающие арендатора производить необходимый с точки зрения охраны труда ремонт зданий и оборудования.

Помимо обычных территориальных инспекций, обслуживающих определенные уезды или районы более крупных промышленных городов, в СССР существует также т. н. внеучастковая инспекция, имеющая задачей обслуживание тех групп трудящихся, к-рые отличаются совершенно специфич. условиями труда. В настоящий момент, после ликвидации целого ряда отдельных видов внеучастковой инспекции (строительной, горной, торговых служащих, народной связи и т. п.), остались внеучастковые инспекции: ж.-д. и водного транспорта и сельскохозяйственная.

Инспекторов труда, по последним данным (1928 год), в СССР было 1 276, в то время как до революции имелось всего лишь несколько больше 200 фабричных инспекторов, которые осуществляли надзор по охране труда. На одного инспектора труда приходится в настоящий момент около 8 000 поднадзорных лиц наемного труда. В составе инспекции труда, по последним данным (1927 г.), имелось рабочих 72,7%, служащих 19,7%, крестьян 6,6%. Из этих цифр ясно вытекает подлинно пролетарский состав выборной И. т. в СССР. Членов ВКП(б) среди инспекторов труда было 89,4%. В среднем один член профессионального союза в 1927/28 г. обследовался инспектором труда 1,9 раза, при чем для промышленности эта цифра гораздо выше—3,4, для государственных рабочих близка к средней—1,7, по остальным группам значительно ниже средней: по транспорту и связи—0,8, по учреждениям—0,4, по группам коммунального хозяйства и народного питания—0,5. Более всего обследуются государственные предприятия, затем частные и, наконец, кооперативные. Число случаев привлечения к судебной ответственности вообще растет почти непрерывно.

Предприятия частные привлекаются к судебной ответственности по охране труда чаще, чем государственные; так, на 100 обследований частных предприятий приходилось привлечений к ответственности: в 1924 г.—59,8, в 1925/26 г.—48,6 и в 1926/27 г.—88,9.

Помимо рабочей И. т., в состав инспекции входят еще технич. и санитарные инспекто-

ры. Санитарная инспекция начала фактически создаваться в 1920 г. В настоящий момент в СССР работают 363 санитарных инспектора труда. Кроме проведения текущего контроля за предприятиями, гл. обр. в части профессиональной гигиены и промышленной санитарии, и соответствующей консультации инспекторам труда, санитарные инспекторы проводят еще научно-исследовательскую работу по определению различных профессиональных вредностей и изысканию методов их устранения. Вместе с тем санитарные инспекторы труда организуют медицинское освидетельствование рабочих, следят за правильным учетом и расследованием профессиональных отравлений и ведут широкую санитарно-просветительную работу. Технич. инспекция была создана одновременно с И. т. В настоящее время она работает в составе около 630 чел. и имеет своей главной задачей проведение в жизнь техники безопасности в производстве в целях предупреждения несчастных случаев. Одной из главных функций технической инспекции является регулярное освидетельствование паровых котлов для предупреждения возможности их взрывов вследствие изнашивания котельного материала.

Лит.: Каплун С., Теория и практика охраны труда, ч. 1—2, М., 1926—27; его же, Охрана труда в СССР в цифрах, М., 1928; Наказы инспекции труда, санитарной инспекции и технич. инспекции, НКТ (изд. офиц.), М., 1926; Маркус В. и Бенсман А., Законодательство по охране труда в СССР, Москва, 1927; Маркус В., Охрана труда, Москва, 1926.

С. Каплун.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СТАЛЬ, обширная группа углеродистых и специальных сталей, идущих на изготовление разного рода инструментов. И. с. существенно отличается от конструкционной стали, идущей на железные конструкции и машинные части, по способу изготовления, составу, структуре и характеру термич. обработки получаемых из нее изделий. И. с. по самому своему назначению д. б. материалом высокосортным, т. к. только такой материал может удовлетворить тем строгим требованиям, которые предъявляются к инструментам. Она д. б. совершенно однородна, хорошо раскислена, лишена газовых и неметаллич. включений и не должна содержать каких-либо вредных примесей; все это достигается переплавкой самых чистых исходных материалов—древесно-угольного чугуна и мартеновской стали в тиглях или электрич. печах. Названия «тигельная сталь», «электросталь» и «И. с.» часто употребляются как синонимы.

Готовую И. с. отливают в небольшие слитки, к-рые затем проковывают или прокатывают до желаемого сечения. От материалообрабатывающих инструментов, на которые идет И. с., требуются возможно бóльшая твердость и высокое сопротивление износу, что и достигается повышенным содержанием углерода. Содержание С в И. с. никогда не бывает ниже 0,6 % и нередко доходит до 1,5—1,7 %; при этом получаемая твердость изделий растет почти параллельно с содержанием С. Одновременно с твердостью увеличивается и хрупкость изделий; поэтому содержание 1,5—1,7% С является верхним пределом, при котором еще не теряется технич. пригодность их из-за резко выраженной хрупкости. Содержание Si и Mn в И. с. не превышает 1 %, но чаще всего оно равняется 0,2—0,4 % для Si и 0,4—0,7 % для Mn. Такие количества этих двух примесей, не сообщая стали каких-либо особых свойств, гарантируют ей беспузыристость, полную раскисленность и безвредность содержащейся в ней S. Содержание S и P в И. с. должно быть возможно малым, так как вредное действие их особенно заметно сказывается в высокоуглеродистой стали; на практике постоянно стремятся понизить содержание этих примесей до 0,02—0,01% путем подбора чистых исходных материалов и выбора наиболее совершенных способов плавки. Кроме обычных примесей, в И. с. часто вводят специальные примеси, гл. обр. карбидообразующие элементы Cr и W, которые сообщают высокую твердость и сопротивление износу основной массе металла и служат для образования очень твердых простых или двойных карбидов указанных элементов.

Составом И. с. определяется и ее микроструктура. В отожженном состоянии структура И.с. приближается к эвтектоидной, т. е. состоит из одного перлита. В углеродистой И. с. перлит имеет нормальное, зернистое или пластинчатое строение, легко различимое при средних увеличениях микроскопа; в специальной же И. с. он является сорбитообразным, при чем детали строения его м. б. рассмотрены лишь при самых больших увеличениях. Наряду с перлитом в И. с. иногда присутствуют феррит (Fe) или цементит (FeC) и специальные карбиды, и получается структура доэвтектоидной или заэвтектоидной стали. Феррит, являющийся носителем пластич. свойств стали, м. б. терпим в И. с. в самых ограниченных количествах; наоборот, цементит, обладающий громадной твердостью, является желательным структурным элементом до тех пор, пока он не вызывает в металле заметной хрупкости. Последняя особенно проявляется в том случае, когда цементит имеет характер сетчатых образований вокруг зерен основной массы; вследствие этого в И. с. цементит всегда д. б. раздроблен возможно полнее путем механической или термической обработки. После закалки И. с. в ней место перлита заступает мартенсит с его характерными свойствами: высокой твердостью и значительной хрупкостью. Эти свойства повышаются в присутствии нерастворившегося при закалочном нагреве цементита и сильно понижаются в случае присутствия феррита. Поэтому наличие последнего в И. с. после закалки является совершенно недопустимым, а цементит допустим лишь в раздробленном состоянии, что необходимо для повышения твердости основной массы металла, без увеличения ее хрупкости. Для борьбы с хрупкостью закаленных инструментов их подвергают отпуску, при к-ром мартенсит переходит в продукты дальнейшего распада (троостит, осмондит, сорбит), и сталь приобретает необходимую ступень пластичности. Таким образом, структура И. с. в готовых изделиях состоит из мартенсита в той или иной стадии распада и некоторого количества мелкораздробленного цементита.

Все сорта И. с. делятся на углеродистые и специальные; к первым относятся сорта

без всяких специальных примесей, ко вторым—с примесью Cr и W, т. е. хромовые, вольфрамовые и хромо-вольфрамовые.

Углеродистая И. с., при содержаниях C от 0,6 до 1,6 %, является наиболее старым и распространенным материалом для изготовления инструментов. После надлежащей закалки структура ее состоит или из одного мартенсита или из мартенсита с примесью мелкораздробленного цементита. Этой структуре отвечают очень большая твердость (650—750 по Бринелю и 90—95 по Шору) и резко выраженная хрупкость. Последняя совершенно недопустима в инструментах, работающих ударами и толчками, поэтому почти все закаленные инструменты подвергаются отпуску при тем более высокой $t°$, чем менее спокойна их работа, и только совершенно спокойно работающие инструменты могут итти в работу без отпуска. Структура отпущенных инструментов состоит из смеси мартенсита и троостита, иногда с включениями мелкораздробленного цементита, при твердости по Бринелю не ниже 550 и по Шору не ниже 65. Мартенсит углеродистой И. с. отличается малой $t°$-ной устойчивостью; закаленная сталь уже при невысоких нагревах теряет значительную часть приобретенной при закалке твердости. Так, при нагреве до 200° эта потеря составляет 14 %, при 300°—40 %, при 400°—70 % и при 500°—87,5 %. Указанное обстоятельство влечет за собой неустойчивость инструментов из углеродистой И. с., вследствие чего она не может применяться для режущих инструментов, работающих с большой скоростью и разогревающихся во время работы, и при нормальном отпуске, во избежание хрупкости, приходится терять значительную часть твердости. Оба эти обстоятельства и заставили технику выработать сорта стали с не столь хрупким и более устойчивым при нагреве мартенситом. Таковыми оказались стали с примесью Cr и W. Для характеристики углеродистой И. с. в табл. 1 приведены данные относительно ее состава, термич. обработки и назначения. Характерная структура углеродистой И. с. показана на вкладном листе *1—6*.

Хромовой И. с., с прибавлением Cr, происходят два существенных изменения: 1) увеличивается степень дисперсности основных структурных элементов—перлита и мартенсита — и 2) наряду с Fe_3C появляются карбиды хрома (Cr_3C_2, Cr_4C) и двойные хроможелезные карбиды. Увеличение дисперсности основной массы влечет за собою понижение хрупкости материала, а появление в структуре очень твердых карбидов—повышение его твердости. Первое изменение наблюдается уже при небольших количествах Cr (от 1 от 2%), появление же карбидов имеет место при более высоком содержании его (>3 %) и особенно заметно при высоком содержании C (1,7—1,8%). Для получения максимальной твердости, вызываемой карбидами, очевидно, необходимо возможно большее содержание и углерода и хрома. Данные о составе, термич. обработке и назначении хромовой И. с. приведены в табл. 2. Содержание Cr чаще всего лежит в пределах 0,5—2 % и оказывается вполне достаточным для повышения дисперсности мартенсита с одновременным увеличением твердости. Последняя в закаленной хромовой стали с 2% Cr доходит до 700—750 по Бринелю и только после высокого отпуска (300—350°) падает до 600. В высокохромовой стали указанные цифры твердости несколько повышаются, что и требуется в инструментах, подверженных большому износу (волочильные доски). Термич. обработка изделий из хромовой стали также сводится к закалке и отпуску, при чем обе операции производятся при более высоких $t°$, чем в углеродистой стали. Более высокая $t°$ закалки объясняется тем, что с прибавлением Cr к стали повышается $t°$ эвтектоидного превращения A_{c_1}, повышение же $t°$ отпуска зависит от большей $t°$-ной устойчивости хромистого мартенсита по сравнению

Табл. 2.—Хромовая сталь.

%-ное содержание		Термич. обработка		Назначение стали
C	Cr	$t°$ закалки	$t°$ отпуска	
0,5	1,0—1,5	780—800°	250—300°	Ударные инструменты—зубила, штемпеля; кузнечный инструмент
1,0—1,3	1,2—2,0	800—830°	250—300°	Инструменты для обработки мягких металлов — резцы, фрезеры, сверла, напильники, пилы
1,3—1,5	0,5—1,2	780—800°	250—300°	Инструменты для обработки твердых металлов—резцы, фрезеры, сверла, напильники, пилы
1,0—1,4	2,0—4,0	800—830°	300—350°	Инструменты, нагревающиеся в работе—горячие штампы, матрицы; ножи для ножниц, пробойники
1,2—1,7	3—14	820—850°	400—500°	Волочильные доски

Табл. 1.—Углеродистая сталь.

%-ное содержание C	Термич. обработка		Назначение стали
	$t°$ закалки	$t°$ отпуска	
0,6—0,9	780—750°	275—330°	Мелкие с.-х. орудия—серпы, косы; ударные инструменты—долота, зубила, молоты; деревообделочные инструменты; хирургические инструменты
0,9—1,1	750°	250—275°	Инструменты для обработки мягких металлов—резцы, сверла, фрезеры, пилы, напильники
1,1—1,6	750—780°	220—250°	Инструменты для обработки твердых металлов и каменных пород; волочильные доски

с мартенситом углеродистым. Указанная устойчивость мартенсита является основанием для применения высокохромовой стали для инструментов, работающих в горячем состоянии (горячие штампы); но она все же недостаточна в случае более высокого нагрева инструментов и оставляет место для искания более устойчивых в отношении нагрева сталей.

Вольфрамовая И. с. Прибавление W к стали действует аналогично прибавлению Cr: увеличивается степень дисперсности перлита и мартенсита, появляются карбидные включения, и увеличивается $t°$-ная устойчивость мартенсита. Правда, последний обладает меньшей твердостью, чем мартенсит хромовой стали, но $t°$-ная устойчивость его значительно выше устойчивости последнего. Указанными свойствами мартенсита вольфрамовой стали и определяется область применения ее: она с успехом применяется для инструментов, не требующих особой твердости, но нуждающихся в $t°$-ной устойчивости. Из табл. 3 видно, что содержание W колеблется в пределах от 1 до 10 %. С повышением W повышаются два свойства стали: ее неотпускаемость и твердость. Последняя увеличивается, как и в Cr-стали, от появления в структуре стали двойных карбидов, среди к-рых возможны соединения WC, W_2C, Fe_2W, а также их двойные соединения с Fe_3C. Термич. обработка этой стали также сводится к закалке и отпуску. При малых содержаниях W закалка ничем не отличается от закалки углеродистой стали, т. к. их критические точки A_{c_1} соответствуют приблизительно одинаковым $t°$. При более высоких содержаниях W требуется более высокий нагрев перед закалкой для растворения содержащихся в стали карбидов, т. к. только переход последних в твердый раствор гарантирует получающемуся затем мартенситу достаточную темп-рную устойчивость.

Табл. 3.—Вольфрамовая сталь.

%-ное содержание		Термич. обработка		Назначение стали
C	W	$t°$ закалки	$t°$ отпуска	
0,9—1,2	0,8—2,0	760°	200—250°	Инструменты для обработки мягких металлов — резцы, сверла, фрезеры
0,9—1,2	3—5	760°	250—300°	Режущие инструменты для твердых металлов — резцы, сверла, фрезеры
0,6—0,8	8—10	780—800°	300—350°	Горячие инструменты—штампы, матрицы, пробойники

В хромо-вольфрамовой И. с. совмещаются высокая твердость хромовой стали и неотпускаемость вольфрамовой; поэтому Cr-W-сталь является в настоящее время наилучшей И. с. При малых содержаниях Cr и W указанные свойства выражены слабо; такие стали не имеют большого технич. значения и применяются для замены углеродистой, хромовой и вольфрамовой сталей. Гораздо большее значение имеет инструментальная сталь с значительными содержаниями Cr и W. Эта сталь, носящая название быстрорежущей, а также самозакаливающейся (см. *Быстрорежущая сталь*), имеет, по Тейлору, следующий состав: 0,6 % C, 6 % Cr и 18 % W. Отступления от этого состава наблюдаются в сторону уменьшения Cr и W, а также в сторону введения дополнительных специальных примесей—V, Mo, Co, U и др. При таком составе быстрорежущая сталь в отожженном состоянии имеет структуру очень тонкого сорбитообразного перлита с рассеянными в нем мелкораздробленными включениями простых или двойных карбидов. Главная цель термич. обработки этой стали состоит в превращении перлита в мартенсит, при чем последний становится трудно отпускаемым только в случае значительного содержания в нем Cr и W. Т. к. карбиды трудно переходят в твердый раствор, то перед закалкой необходимо обрабатываемый инструмент нагревать до $t°$, близкой к плавлению стали (1 300—1 350°), и тем достигать полного растворения карбидов. После закалки в струе воздуха или в свинцовой ванне сталь приобретает аустенитовую структуру, к-рая последующим отпуском при 625° переводится в мартенсит максимальной твердости. Этот мартенсит обусловливает собою неотпускаемость стали при нагреве до 650° (красностойкость, redhardness) и делает инструмент быстрорежущим. Данные, касающиеся различных Cr-W-сталей, приводятся в табл. 4, из к-рой видны состав, термич. обработка и назначение этих сталей. Комбинируя эти основные элементы стали с небольшими количествами Mn, V, Co, Mo, U, получают большое число марок И. с., чаще всего незначительно отличающихся от описанных здесь основн. ее сортов.

Табл. 4.—Хромо-вольфрамовая сталь.

%-ное содержание			Термич. обработка		Назначение стали
C	Cr	W	$t°$ закалки	$t°$ отпуска	
0,7—1,2	0,5—1,0	1— 3	780—800°	300—350°	Инструменты для обработки мягких и твердых металлов—резцы, сверла, фрезеры, метчики, плашки
0,6—0,7	1,5—2,5	3— 8	820—850°	350—400°	Горячие штампы и матрицы
0,6—0,7	3,5—6,0	14—21	1 300—1 350°	620—630°	Инструменты, работающие с большой скоростью, резцы, сверла, фрезеры

Лит.: Бабошин А., Металлография и термическая обработка железа, стали и чугуна, Л., 1926; Дени К., Исследование главных свойств инструмент. сталей, М., 1926; Рапатц Ф., Специальные стали, Харьков, 1927; Липин В. Н., Металлургия чугуна, железа и стали, т. 3, ч. 2, Л., 1927; Mars G., Die Spezialstähle, 2 Aufl., Stg., 1922; Brearley H., Die Werkzeugstähle u. ihre Wärmebehandlung (deutsche Bearbeitung v. R. Schäfer), B., 1922; Guillet L. et Portevin A., Précis de métallographie microscopique et de macrographie, Paris, 1924; Hoyt S., Metallography, part 2, N. Y., 1924; «Trans. of the Amer. Soc. for Steel Treating», Cleveland, 1922, v. 1, 1928, v. 13.

М. Окнов.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ДЕЛО, отрасль заводского хозяйства, занимающаяся проектированием, производством, хранением и учетом инструмента и приспособлений для обработки. Значение самостоятельного цеха И. д. получило лишь в металлообрабатывающей промышленности.

И. д. охватывает собой следующие отдельные операции: 1) проектирование специального инструмента и приспособлений, 2) производство их, 3) хранение инструмента и специальных инструментальн. материалов, 4) распределение инструмента и приспособлений в цехах, выдача их на руки рабочим и прием обратно, 5) ремонт и содержание инструмента в исправном состоянии, 6) учет наличного инструмента и своевременное пополнение убыли, 7) нормализационные работы в отношении инструмента и приспособлений, 8) разработку технических условий и правил приемки, испытаний и контроля инструмента и инструментальных материалов, 9) производство испытаний готового инструмента и материалов, научно-исследовательскую работу по усовершенствованию способов обработки и конструкции инструментов, 10) сбор и использование брака и лома инструментов и приспособлений.

Инструментальный цех завода состоит из центрального проектно-планирующего органа — бюро инструментов и приспособлений (БИП), производственного — инструментальной мастерской (ИМ), органов хранения — инструментально-материальной кладовой (ИМК) и общей инструментальной кладовой (ОИК) и, наконец, из сети органов распределения — цеховых инструментальных складов (ИС). Иногда к ним присоединяется и инструментальная лаборатория, которая обычно состоит в непосредственном подчинении БИП. Основной задачей И. д. является возможно экономичная доставка и поддержание в исправном состоянии инструмента и приспособлений для обработки.

Лицом, объединяющим действия отдельных органов инструментального цеха, является начальник его, который имеет в своем непосредственном распоряжении необходимый административный и бухгалтерский аппарат. Инструментальный цех подчинен в общем порядке производственному отделу и технич. дирекции з-да. В основных чертах организация подотделов инструментального цеха следующая. БИП возглавляется заведующим и разделяется на технический и учетный отделы; в первом работают конструкторы, чертежники и копировальщики; в учетном отделе—регистраторы, калькуляторы и сотрудник, наблюдающий за выполнением сроков. Помощником заведующего БИП является распределитель работ, который следит за нагрузкой отдельных исполнителей, ведет учет движения заказов и следит за точным исполнением сроков поставок. В состав БИП входит старший контролер, объединяющий работу всех контролеров, разбросанных по отдельным складам и мастерским завода.

Технич. отдел БИП составляет проекты новых инструментов, приспособлений, установок станков, инструкций для работ, а иногда и конструирует специальные станки на основании планов обработки и конструкционных чертежей, доставляемых конструкционным бюро и производственным отделом завода. Основной задачей конструктора является создание инструментов и приспособлений для обработки, позволяющих получить при обработке требуемую степень точности при наименьшей сумме затрат, падающей на каждую обрабатываемую деталь конечного продукта. Для этого при проектировании необходимо обращать особое внимание на следующее: 1) размеры и форма инструмента или приспособления должны обеспечивать не только достаточн. сопротивляемость усилиям, возникающим при обработке, но также и жесткость, достаточную для того, чтобы деформации не выходили из пределов, допускаемых требуемой точностью, и чтобы не возникало колебаний («дрожания») обрабатываемого предмета или инструмента; 2) конструкция инструмента или приспособления должна обеспечивать правильный и быстрый зажим и смену инструмента или обрабатываемых предметов; 3) материал и конструкция должны обеспечивать достаточную продолжительность службы всего аггрегата и возможно легкую заменяемость изнашивающихся частей; 4) конструкция должна облегчать контроль состояния инструмента или приспособлений; 5) конструкция должна соответствовать имеющимся на заводе станкам как в смысле мощности, так и в отношении габаритов и мест прикрепления к станку инструментов и приспособлений; 6) приспособление д. б. по возможности легко изготовляемо средствами ИМ, при чем следует возможно широко применять стандартные части и ограничивать применение отливок (за исключением стандартных), как дорогих и требующих обычно долгих сроков доставки. В связи с этим в последнее время, особенно в С. Ш. А., развилось употребление корпусов и крупных деталей приспособлений, сваренных из стальных листов и профильной стали автогенным или электрич. путем. При калькуляции рентабельности применения данного инструмента или приспособления, кроме непосредственно достигаемого этим сокращения времени обработки, следует также принимать во внимание сокращение или полное отсутствие разметки, уменьшение времени сборки вследствие отсутствия необходимости пригонки, уменьшение брака при обработке, уменьшение простоя станков, вызываемого сменой инструментов или наладкой, и т. д. Учетный отдел БИП выполняет всю учетную работу по заказу, учету, возобновлению и использованию инструментов и приспособлений, для чего им ведется ряд картотек; он же следит за своевременным и бесперебойным снабжением складов материалами и готовыми инструментами.

Производство новых специальных инструментов и приспособлений, а также ремонт пришедших в негодность сосредоточены в инструментальной мастерской (ИМ); общее руководство мастерской находится в руках мастера, которому подчинено нужное число помощников и рабочих. Разбивка стан-

ков и рабочих между отдельными помощниками мастера м. б. произведена двумя различными способами: 1) разбивкой по родам станков, при чем один помощник ведает токарными станками, другой фрезерными и т. д.; 2) подчинением каждому помощнику мастера полной группы станков приблизительно одинаковой степени точности (т. е. одного или двух токарных станков, фрезерного, шлифовального, сверлильного, 2 или 3 слесарей). При втором способе, оказавшемся гораздо более выгодным на практике, за все выполнение данного заказа от начала и до конца ответственность несет один помощник мастера. Оборудование ИМ отличается от обычного оборудования механич. цеха не столько по роду станков, сколько по их качеству. ИМ должна быть снабжена наиболее точными станками и наиболее высоко квалифицированными рабочими. В виду разнообразия работ ИМ рекомендуется снабжать универсальными станками. Из станков, находящих себе преимущественно применение в И. д., отметим: затылочные токарные станки—для производства фрезеров с задней заточкой и метчиков (см. *Затылочный станок*); особо точные *сверлильные станки* (см.) со столом, передвигающимся микрометрическ. винтами; вертикально-фрезерные, упрощенного типа, а также копировально-фрезерные станки (см. *Копировальные станки*), лобзиковые и *напилочные станки* (см.), весьма полезные при обработке сквозных матриц для штамповальных работ и удаления грата; универсальные инструментальные шлифовальные станки для заточки фрезеров, разверток и пр. специальные шлифовальные станки для точки сверл, для обработки калибров и для выработки резцов из цельного штангового материала без отковки (см. *Шлифовальные станки*).

Весьма ответственной частью ИМ является отдел термич. обработки, к-рый д. б. снабжен в достаточном количестве печами (газовыми, электрическими или муфельными для обычного топлива), пирометрами, солевыми, свинцовыми и масляными ваннами для закалки и отпуска, достаточно обширными резервуарами с водой и маслом для охлаждения инструмента, правильными и закалочными прессами и, наконец, для наблюдения за степенью действительности обработки,—аппаратами, позволяющими определять твердость без порчи самого испытуемого предмета (склероскопы и дурометры). Для контроля размеров ИМ д. б. оборудована необходимым количеством правильных плит, линеек, угольников, точного мерительного инструмента, мерительных индикаторов, наборов мерных плиток, предельных и нормальных калибров, микрометров и т. д. Большим подспорьем при контроле является *микроскоп* (см.); в Западн. Европе и С. Ш. А. имеется значительное количество моно- и бинокулярных микроскопов, специально сконструированных для работы в контрольных и разметочных отделениях металлообрабатывающих з-дов. Мерительные машины, компаратор и основные заводские эталоны находятся при БИП, где ими ведает старший контролер, который и производит проверку калибров и мерительного инструмента.

Основная кладовая инструмента и кладовая инструментальных материалов (ОИК и ИМК) м. б. устроены вместе или раздельно. В этом последнем случае ИМК составляет часто лишь отдел общематериального склада з-да. Быстрорежущие стали следует хранить отдельно от углеродистых. Вообще весь рабочий инструмент и приспособления должны храниться т. о., чтобы, занимая возможно меньше места, они не подвергались риску быть попорченными; части, употребляемые при работе вместе, напр. наборы метчиков, приспособления с отдельными деталями и проч., должны лежать в одном месте; весьма полезно провести систематич. нумерацию по группам всего инструмента, классифицируя т. о., чтобы из номера был виден сразу характер его, и располагать инструмент в кладовых по этим нумерным группам.

При каждом заказе нового стандартного инструмента или специального инструментального материала БИП указывает минимальное количество их, ниже которого не должна спускаться наличность на складе. ИМК д. б. снабжена необходимым грубым мерительным инструментом для проверки размеров принимаемых и отпускаемых материалов и достаточным количеством механических пил (ножовок или циркулярных) для отрезки материала; при широком применении сваренных конструкций рекомендуется снабжать ИМК аппаратом для автогенной резки. ОИК должна иметь мерительный инструмент для проверки поступающих обратно из цехов или приобретенных на стороне инструментов и приспособлений. Заточку более точного и чувствительного инструмента—фрезеров, разверток, зенковок, метчиков и сверл следует сосредоточить в ОИК, которая для этого должна быть снабжена достаточным количеством универсальных и специальных инструментальных шлифовальных станков; заточку резцов следует, наоборот, производить в ИС.

Как правило, ОИК не выдает никакого инструмента непосредственно цехам; распределительная сеть состоит из цеховых инструментальных складов (ИС), с к-рыми и сносятся, с одной стороны, цехи, а с другой—ОИК. Во всех ИС и ОИК д. б. жестко проведен тот принцип, что на своем постоянном месте должен лежать лишь совершенно годный для работы инструмент. Рабочим д. б. безусловно запрещено самим натачивать или изготовлять себе резцы. Очень выгодным оказалось применение особых рассыльных для распределения и сбора инструментов; они собирают у рабочих затупившийся инструмент, обменивают его в ИС на исправный и разносят обратно. В результате применения этой системы простой станков уменьшился на 15%, а производительность возросла на 4—8% вследствие более исправного состояния инструментов. Существует много различных способов учета инструментов и приспособлений, выдаваемых на руки рабочим в цехи. Необходимо, чтобы в каждый данный момент с наименьшей затратой труда можно было установить, где находится данный предмет. Иногда каждое рабочее место снабжается необходимым по роду работы нормальным инструментом по

особой описи раз навсегда; инструмент, затупившийся или пришедший в неисправное состояние, обменивается на соответствующий исправный непосредственно по предъявлении пришедшего в негодность и установлении кладовщиком ИС, что порча обусловлена нормальным износом, а не является результатом злой воли или явной небрежности. Специальный же инструмент и приспособления выдаются по мере надобности по требованию, подписанному мастером или его помощником.

Общий ход снабжения з-да инструментом при описанной выше системе организации И. д. приблизительно следующий. По получении из конструкционного бюро и производственного отдела чертежей, штучных листов, планов обработки и предположительного размера производства БИП составляет для каждой отдельн. детали, подлежащей обработке, особый основной список инструментов и приспособлений, служащий исходной точкой для всей дальнейшей деятельности инструментального цеха. Список этот просматривается всеми заинтересован. лицами и окончательно утверждается технич. директором. Затем на каждый из вновь изготовляемых инструментов или приспособлений выписывается основная карточка, на к-рой отмечаются все стадии производства, начиная от выписки заказа и кончая сдачей. По этой карточке, утверждаемой заведующим БИП и служащей одновременно заказом цеху, распределитель следит за степенью готовности и принимает необходимые меры в случае задержки. Для всех вновь закупаемых инструментов выписывается карточка заказа общезакупочному отделу завода; после получения предложений и отметки соответственных фирм и цен карточка возвращается на утверждение начальнику инструментальн. цеха, после чего лишь м. б. выписан заказ поставщику. Учетный отдел БИП на основании основной карточки выписывает карточку заказа на чертежи, которая в нужный момент передается конструктору вместе со всеми данными. Конструктор попутно с проектированием отмечает на карточке заказа способ, продолжительность и сроки обработки данного инструмента, а на обороте карточки—потребные материалы. На основании заполненной конструктором карточки учетный отдел производит калькуляцию себестоимости, после чего чертежи и карточки даются на утверждение заведующему БИП. По утверждении учетный отдел выписывает карточку заказа ИМ и требование на материал ИМК. Материал, не имеющийся на складе, заказывается нормальным порядком через общезакупочный отдел. Заказ ИМ выписывается в четырех экземплярах, а требование — в двух; один из них посылается в ИМК, а другой вместе с одним экземпляром заказа помещается на стенной таблице распределителя. Материал, отрезанный в соответствии с требованием, вместе с карточкой посылается ИМК через распределителя в ИМ; распределитель отмечает на основной карточке отсылку материала и прикладывает к нему 2 экземпляра заказа ИМ и свой экземпляр требования, после чего все направляется к мастеру ИМ. Последний проверяет наличие материалов по карточке требования, расписывается на одном экземпляре и отправляет его обратно в ИМК, где он служит оправдательным документом; другой экземпляр остается у него для справок. Один экземпляр полученного заказа он оставляет у себя и прикрепляет на стенной таблице, другой идет вместе с работой от одного рабочего к другому, при чем на этой карточке отмечают фактически затраченное на каждую операцию время. Третий экземпляр карточки заказа помещается в картотеке сотрудника, наблюдающего за соблюдением сроков, при чем он отмечает на ней ход производства помощью цветных рейтеров или путем перемещения карточек из одного отдела картотеки в другой. Четвертый экземпляр карточки до окончательной проверки и приемки готового инструмента остается у распределителя, а затем идет вместе с возвратившейся карточкой, бывшей у мастера, и инструментом в ОИК, откуда одна карточка возвращается с распиской обратно в БИП, а другая остается в ОИК. В ОИК, помимо кладовой книги, ведется картотека инструментов и приспособлений, расположенная по обрабатываемым деталям (картотека наборов), и, кроме того, картотека отдельных специальных инструментов и приспособлений по месту хранения (картотека локализации) и, наконец, картотека нормального инструмента с указанием минимальной наличности, ниже к-рой не должен падать запас инструментов. ИС выписывает требование ОИК на новый нормальный инструмент взамен пришедшего в негодность на особых бланках, при чем одновременно обязательно сдает равное число такого же рода инструментов обратно. При каждом новом инструменте или приспособлении, отправляемом в ОИК или ИС, прилагается ярлык для наклейки на соответствующую полку или ящик.

Для выдачи специального инструмента и приспособлений цеховой мастер или его помощник за несколько дней перед предполагаемым сроком пуска данной детали в производство подает в ИС требование, на к-ром обозначает лишь номер подлежащей обработке детали, номер операции, фамилию рабочего, которому будет поручена работа, и предполагаемое время начала обработки; кроме того, мастер в случае надобности приписывает тот специальный инструмент и приспособления, к-рые, хотя и не поименованы в основной карточке, но, по его мнению, являются необходимыми. Если инструментальный цех признает необходимость добавления обоснованной, то по всем заинтересованным цехам и кладовым рассылается карточка изменения набора инструмента. Кладовщик ИС подготовляет весь требуемый инструмент и немедленно выдает его пришедшему за ним рабочему под расписку. Затем карточка набора вынимается из своей картотеки и ставится в ящик выданных инструментов и приспособлений, а на ее место в картотеку ставится требование. При сдаче, после предварительного

просмотра, кладовщик отрывает полоску с подписью и отдает ее обратно рабочему, затем, после подробной проверки, требование гасится и ставится в картотеку статистики использования инструментов и приспособлений. На одном крупном америк. з-де централизация и рационализация по описанной схеме всего И. д. привела к сокращению расходов по снабжению з-да инструментом на 45%, вызвала уменьшение мертвого капитала, вложенного в инструменты и материал на складах, на 65% и сокращение числа рабочих ИМ на 35%.

Существенной частью работы БИП является испытание инструментов и приспособлений. Испытанию подвергаются обязательно все новые конструкции приспособлений и специального инструмента, а также новые материалы и системы нормальных инструментов. Испытание ведется как на экономичность и на достаточную точность работы инструмента или приспособления, так и на удобство и безопасность его обслуживания. Экономичность зависит главным образом от объема снимаемой в единицу времени стружки, устойчивости острия резца и цены инструмента; при необходимости частой смены большое значение получает возможность быстрого и правильного закрепления инструмента. Точность обработки проверяется измерением пробных деталей, обработанных испытуемым инструментом или в испытуемом приспособлении. Результаты всех испытаний заносятся в книгу или в особую картотеку. На опытной карточке следует также отмечать все позднейшие отзывы цехов и отдельных рабочих об удобствах и недостатках данной системы. БИП сообщает о результатах своих опытов также производственному отделу, к-рый пользуется этими данными при последующем назначении скоростей резания и подач в планах обработки.

В ведении БИП сосредоточена вся работа по нормализации инструментов, приспособлений и деталей их в общезаводском масштабе. Работа по нормализации заключается прежде всего в определении тех деталей и инструментов, нормализация к-рых является желательной и экономически выгодной; затем следует проверка того, не могут ли эти нормальные части быть заменены общегосударственными нормами, и лишь в случае невозможности этого приступают к составлению проектов заводских нормалей. Проект по предварительном утверждении заведующего БИП рассылается всем заинтересованным в производстве и потреблении данной нормальной части цехам и отделениям, и лишь после согласования норма утверждается и вступает в действие.

Первичными факторами всякой механической обработки являются: о б р а б а т ы в а е м ы й п р е д м е т, и н с т р у м е н т, т. е. тело, под непосредствен. воздействием которого происходит изменение формы обрабатываемого предмета, и, наконец, некоторое количество э н е р г и и, необходимой для совершения работы изменения формы обрабатываемого предмета в данных условиях. М а ш и н а-о р у д и е (станок) является лишь проводником и преобразователем механич. энергии, доставляющим ее в необходимом виде к месту потребления. П р и с п о с о б л е н и е д л я о б р а б о т к и представляет собою промежуточное звено между станком, инструментом и обрабатываемым предметом. Значительная часть инструмента и приспособлений составляет предмет особой промышленности и покупается обычно заводом извне. Т. о., производственной задачей инструментального цеха является гл. обр. постройка специальных приспособлений для обработки и специального инструмента.

Главным материалом для постройки приспособлений и инструментов являются стали углеродистая, легированная и быстрорежущая (см. *Инструментальная сталь*); кроме того, в последнее время большое значение приобретают твердые сплавы типа *стеллита* (см.). Мягкая сименс-мартеновская сталь и чугун служат гл. обр. для постройки корпусов приспособлений и неответственных частей, напр. рукояток, маховичков, ножек, затворов и т. д. По постановлению Герм. союза фабрикантов точных инструментов, быстрорежущей сталью м. б. назван лишь материал, содержащий 14—17 единиц LE (Legierungseinheiten). Эквивалентными и равными 1 LE признаются следующие количества примесей: 1% W, 0,5% Mo или Co, 0,33% V. Быстрорежущая сталь позволяет снимать гораздо более толстую стружку и работать при бóльших скоростях резания сравнительно с углеродистой инструментальной сталью; при этом, однако, следует всегда иметь в виду, что экономическое использование этих качеств быстрорежущей стали возможно лишь при наличии станков достаточной мощности, допускающих требуемые большие скорости и большие размеры сечения стружки; при отсутствии таких станков затраты на приобретение инструментов из быстрорежущей стали могут вызвать, наоборот, повышение стоимости обработки. Вопрос о том, что выгоднее—инструмент из цельной быстрорежущей стали или с наваренными пластинками из нее, до сих пор остается открытым и д. б. решаем для каждого случая отдельно путем сравнительной калькуляции. В еще большей мере от имеющегося станкового оборудования зависят экономич. выгоды применения твердых сплавов, допускающих скорости резания, в 4—6 раз превышающие употребительные при работе с резцами из углеродистой стали. Контроль качеств стали как материала и в готовых уже инструментах всего надежнее производить металлографич., химич. и механическими испытаниями; более быстрым, а в отдельных случаях и единственно возможным способом является, однако, испытание на-глаз, по цвету снопа искр, получающегося при шлифовке, и по удельному весу. Испытание по цвету искры требует со стороны производящего его большой опытности (углеродистая сталь дает яркожелтый сноп; менее обильный сноп искр и красноватый цвет их указывают на легированную или быстрорежущую сталь). Удельный вес небыстрорежущей стали колеблется ок. 7,8—7,9; при примеси вольфрама (главной примеси в быстрорежущей стали) он довольно быстро увеличивается, а именно: содержанию 5% W соответствует уд. в. 8,1, 10%—8,3,

15%—8,6, 17%—8,7, 20%—8,9. При испытании при помощи склероскопа следует иметь в виду, что быстрорежущая сталь при комнатной $t°$ мягче закаленной углеродистой стали. В последнее время приобретает значение инструмент из нитрированной стали (см. *Нитрирование* стали).

Инструмент разделяется на следующие три большие группы: режущий, мерительный и давящий.

1) Режущий инструмент служит гл. обр. для обработки при помощи снятия стружки. Главными характеристиками его являются род движения относительно обрабатываемого предмета и форма режущего острия; первым обусловливается форма обрабатываемой поверхности, а второй—величина сопротивления резанию и качество поверхности. Лезвие всякого режущего инструмента определяется углами, составляемыми гранями лезвия с направлениями рабочего движения и подачи (см. *Резцы*). Режущий инструмент разделяется на следующие группы. а) *Резцы* (см.) для токарных и строгальных станков; они делаются как сплошными, так и с наваренными пластинками из быстрорежущей стали или стеллита; равным образом применяются державки (см. *Державки резцовые*) из обыкновенной стали, в которые вставляется лишь лезвие из быстрорежущей стали. б) Инструменты для нарезки винтов; сюда входят: винторезные резцы и гребенки (см. *Винт*), плашки, *метчики* (см.) и винторезные доски. в) Инструменты для высверливания и рассверливания отверстий; они разделяются на: *сверла* (см.)—спиральные, перовые и пушечные, сверлильные оправки, зенкеры и головки для рассверливания отлитых отверстий. Сюда же относятся центровые сверла и *раззенковки* (см.) для высверливания фигурных отверстий. г) Инструменты, служащие для придания уже обработанным отверстиям точных размеров—*развертки* (см.), к-рые делаются постоянными, раздвижными и снабженными сменными лезвиями. д) *Фрезеры* (см.), т.е. многорезцовый инструмент с вращательным рабочим движением. е) Шлифовальные и точильные камни (см. *Шлифовальные круги* и *Точила*)—разделяются на естественные и искусственные; последние по способу связи между частицами абразионного материала делятся на камни с минеральной, растительной и керамич. связью. ж) *Штампы* (см.) служат для вырезки изделий гл. обр. из листового или полосового материала в холодном состоянии; сюда же относятся и штампы, применяемые для удаления грата на откованных в матрицах изделиях. з) Ударный режущий инструмент, к к-рому относятся *зубила* (см.), бородки и пробойники (см. *Слесарное дело*). и) *Ножницы* (см.), служащие для разделения листового или полосового материала путем срезывания между двумя лезвиями с прямолинейным или вращательным рабочим движением. к) *Пилы* (см.) и *напильники* (см.)—многорезцовый инструмент с продольным и более или менее прямолинейным рабочим движением.

2) Мерительный инструмент служит для измерения абсолютных размеров обрабатываемых частей или для сравнения размеров этих последних с нек-рыми принятыми за желательные; сюда же входят эталоны размеров и форм. В соответствии с этим весь мерительный инструмент делится на две большие группы: собственно измерительные инструменты и калибры. а) Измерительные инструменты в тесном смысле слова заключают в себе все шкальные приборы, т. е. приборы, дающие непосредственное цифровое значение измеряемой величины; к ним относятся *микрометры* (см.), *штанген-циркули* (см.), толстомеры, мерительные часы (индикаторы), *мерительные машины* (см.) и угломеры. б) Инструменты для сравнительных измерений длин делятся на 2 группы: *циркули* (см.) и *калибры* (см.); первые служат лишь для снятия размера обрабатываемой части с целью сравнения его потом с каким-либо эталоном, калибры представляют собою бесшкальные мерительные приборы, путем сравнения к-рых с соответствующими размерами обрабатываемого предмета получаем представление о том, насколько близко подходят размеры последнего к требуемым. в) К мерительному инструменту относятся также *эталоны* (см.) длин и углов; они разделяются на штриховые, у к-рых данные линейные и угловые расстояния отмечены штрихами, как, напр., линейки, масштабы и транспортиры, и концевые, у к-рых эталонная длина определяется положением двух или более постоянных поверхностей (напр. мерительные пластинки). г) Инструменты для проверки форм—*лекала* (см.)—обычно представляют собою негатив требуемой формы и сверяются с измеряемым предметом или на-глаз (гребенки для резьбы, радиусные лекала и проч.) или при помощи оптич. приборов (снабженные микроскопами приборы для измерения зубчатых колес, резьбы и др.).

3) Инструмент, работающий давлением, служит для обработки без снятия стружки и разделяется на: а) *матрицы* (см.) для ковочных работ как в горячем, так и в холодном состоянии; б) волочильные доски (см. *Волочение*), служащие для волочения проволоки и мелкого фасонного материала; в) штампы, работающие изгибом и вытягиванием или выжиманием материала; г) уплотняющие инструменты, работающие наклепом (burnishing) и получившие в последнее время значительное распространение при обработке точных отверстий и зубчатых колес (см. *Зуборезные станки*); д) молотки, высадки и прочий кузнечно-слесарный инструмент, работающий давлением (см. *Кузнечное производство* и *Слесарное дело*); е) накатки для рифления поверхностей на токарных станках.

Наконец, последнюю большую группу, относимую обычно также и к И. д., составляют приспособления для обработки (см. *Приспособления*). Они служат как для удобства соединения рабочего инструмента или обрабатываемого предмета со станком, при условии придания им определенного положения, так и для направления инструмента или обрабатываемого предмета и придания им требуемого взаимного положения. Приспособления разделяются на нормальные,

служащие обычно частью станков или являющиеся продуктом особой массовой промышленности, и специальные—конструируемые на самом з-де для обработки данной части или ряда однородных частей. По роду действия приспособления разделяются на следующие разновидности. а) Рабочие зажимы—для удержания обрабатываемого предмета во время обработки и придания ему определенного положения относительно станка; сюда относятся тиски, патроны, *дорны* (см.), делительные головки, центра и различные виды специальных зажимов. б) Инструментальные зажимы—для удержания инструмента и придания ему правильного положения относительно станка; сюда относятся патроны, конусные втулки, резцовые державки, оправки, головки для быстрой смены сверлильного инструмента, инструментальные каретки револьверных станков и автоматов. в) Кондукторы—для придания правильного взаимного положения обрабатываемому предмету и инструменту; к ним относятся люнеты, люнетные каретки револьверных станков и разнообразные специальные кондукторы, служащие гл. обр. для сверлильных работ.

Лит.: Гавриленко А. П., Механич. технология металлов, 2 издание, ч. 4, вып. 3, М., 1926; Тэйлор Ф., Искусство резать металлы, пер. с английск., 2 издание, Берлин, 1922; Гипплер В., Токарное дело и его инструменты в современных производствах, Берлин, 1923; Гофмейстер Г., Проектирование, изготовление и применение кузнечных штампов, пер. с нем., Берлин, 1922; Халльстрем У., Инструментальное дело, ч. 1, М.—Л., 1927; Христенсен А., Методы хранения инструмента, Москва, 1926; Machinery's Encyclopedia, New York, 1925; Kronenberg M., Grundzüge d. Zerspanungslehre, Berlin, 1927; Kurrein M., Die Werkzeuge und Arbeitsverfahren der Pressen, 2 Aufl., B., 1926; Lich O., Vorrichtungen im Maschinenbau, 2 Aufl., Berlin, 1927; Müller O. M., Zeitsparende Vorrichtungen im Maschinen- und Apparatebau, Berlin, 1926; «Schriften d. Arbeitsgemeinschaft deutscher Betriebsingenieure», B. 3—Spanabhebende Werkzeuge für die Metallbearbeitung u. ihre Hilfseinrichtungen, Berlin, 1925; Müller O., Gewindeschneiden, «Werkstattsbücher», hrsg. v. E. Simon, Berlin, 1922, H. 1; Kurrein M., Messtechnik, 2 Aufl., ibid., B., 1923, H. 2; Berndt G., Technische Winkelmessungen, ibid., Berlin, 1925, H. 8; Zieting P., Die Fräser, ihre Konstruktion und Herstellung, ibid., B., 1925, H. 22; Grünhagen F., Vorrichtungsbau, ibidem, B., 1927, H. 33; «Betrieb», B.; «Maschinenbau», B.; «Werkstattstechnik», Berlin; «Machine moderne», Paris; «American Machinist», L.; «Industrial Management», N. Y.; «Mechanical Engineering», New York.

Л. Павлушков.

ИНТЕГРАЛЬНОЕ ИСЧИСЛЕНИЕ, отдел *исчисления бесконечно малых* (см.), ставящий задачей вычисление и исследование свойств интегралов от ф-ий.

Неопределенный интеграл. Нахождение неопределенного интеграла есть задача, обратная дифференцированию. Если производная от ф-ии $F(x)$ есть $f(x)$, то $F(x)$ по отношению к $f(x)$ является первообразной ф-ией, или неопределенным интегралом. Это записывается так:

$$F(x) = \int f(x)\,dx\,.$$

Ясно, что $F(x)+C$, где C—произвольная постоянная, есть также неопределенный интеграл, так как

$$\frac{d}{dx}[F(x)+C] = \frac{d}{dx}F(x) = f(x).$$

На основании теоремы Лагранжа о конечном приращении (см. *Дифференциальное исчисление*) доказывается, что и обратно—всякая первообразная ф-ии $f(x)$ выражается в виде $F(x)+C$, где $F(x)$ — какая-нибудь первообразная ф-ия, C—произвольная постоянная (постоянная интеграции). Записывают это так:

$$\int f(x)\,dx = F(x)+C\,.$$

Здесь $f(x)$ называется подинтегральной ф-ией, а $f(x)dx$—подинтегральным выражением. Основные формулы дифференциального исчисления дают, в силу связи между дифференцированием и интегрированием, следующую таблицу элементарных формул И. и.:

$$\int x^n\,dx = \frac{x^{n+1}}{n+1}+C\,,\ \text{при}\ n\neq -1\,;$$

$$\int \frac{dx}{x} = \ln x + C\,;$$

$$\int e^x\,dx = e^x + C\,;$$

$$\int a^x\,dx = \frac{a^x}{\ln a}+C\,;$$

$$\int \sin x\,dx = -\cos x + C\,;$$

$$\int \cos x\,dx = \sin x + C\,;$$

$$\int \frac{dx}{\sin^2 x} = -\operatorname{ctg} x + C\,;$$

$$\int \frac{dx}{\cos^2 x} = \operatorname{tg} x + C\,;$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{1-x^2}} = \arcsin x + C\,;$$

$$\int \frac{dx}{1+x^2} = \operatorname{arc\,tg} x + C\,;$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{1+x^2}} = \ln\left(x+\sqrt{1+x^2}\right)+C\,.$$

Из соответствующих правил дифференциального исчисления легко выводятся следующие правила интегрирования: 1) постоянный множитель можно вынести за знак интеграла; 2) интеграл алгебраич. суммы равен алгебраич. сумме интегралов.

Примеры.

$$1)\ \int 3\frac{dx}{\sqrt{x}} = 3\int x^{-\frac{1}{2}}\,dx = 6\,x^{\frac{1}{2}}+C = 6\sqrt{x}+C\,,$$

$$2)\ \int (x^5-2x^4+3x^3-3x^2+4x-5)\,dx =$$

$$= \frac{x^6}{6}-\frac{2}{5}x^5+\frac{3}{4}x^4-x^3+2x^2-5x+C\,.$$

Если можно каким-либо преобразованием представить подинтегральное выражение в виде суммы таких, интегралы к-рых известны, то мы получим искомый интеграл как сумму интегралов.

Пример.

$$\int \frac{dx}{\sin^2 x\cos^2 x} = \int \frac{(\sin^2 x+\cos^2 x)\,dx}{\sin^2 x\cos^2 x} = \int \frac{dx}{\cos^2 x} +$$

$$+\int \frac{dx}{\sin^2 x} = \operatorname{tg} x - \operatorname{ctg} x + C.$$

Интеграция при помощи подстановки. Если дан $\int f(x)dx$ и если введем новое переменное t ур-ием $x=\varphi(t)$, то имеем равенство:

$$\int f(x)\,dx = \int f[\varphi(t)]\,\varphi'(t)\,dt\,.$$

Справедливость ф-лы доказывается дифференцированием. В простых случаях можно

не вводить новой буквы для вспомогательного переменного.

Примеры.

1) $\int \frac{dx}{a^2+b^2x^2}$; полагаем: $x=\frac{at}{b}$, $dx=\frac{a}{b}\,dt$;

$$\int\frac{dx}{a^2+b^2x^2}=\frac{1}{ab}\int\frac{dt}{1+t^2}=\frac{1}{ab}\operatorname{arc\,tg}\,t+C=$$

$$=\frac{1}{ab}\operatorname{arc\,tg}\frac{bx}{a}+C.$$

2) $\int \operatorname{tg} x\,dx=\int\frac{\sin x\,dx}{\cos x}=\int\frac{d\cos x}{\cos x}=\ln\cos x+C$

(здесь опускаем подстановку: $\cos x=t$).

3) $$\int\sin^2 x\,dx=\int\frac{1-\cos 2x}{2}\,dx=$$

$$=\int\frac{1}{2}\,dx-\int\frac{1}{2}\cos 2x\,dx;$$

подставляя $2x=t$, получаем:

$$\frac{x}{2}-\frac{1}{4}\int\cos 2x\,d(2x)=\frac{x}{2}-\frac{1}{4}\sin 2x+C.$$

Интегрирование по частям. Этот способ является следствием правила дифференцирования произведения: $d(uv)=udv+vdu$, откуда $\int u\,dv=uv-\int v\,du$.

Если в заданном интеграле представим подинтегральное выражение в виде $u\,dv$, то может случиться, что $\int v\,du$ представит собой уже известный интеграл или, по крайней мере, будет проще данного; тогда метод оказывается целесообразным.

Примеры.

1) $\int xe^x\,dx$; полагаем $x=u$, $e^x dx=dv$, тогда $v=e^x$, $du=dx$ и $\int xe^x\,dx=xe^x-\int e^x dx=xe^x-e^x+C$.

2) $\int \operatorname{arc\,tg} x\,dx$; полагая $\operatorname{arc\,tg} x=u$, $dx=dv$, находим:

$$x\operatorname{arc\,tg}x-\int\frac{x\,dx}{1+x^2}=x\operatorname{arc\,tg}x-\frac{1}{2}\int\frac{d(1+x^2)}{1+x^2}=$$

$$=x\operatorname{arc\,tg}x-\frac{1}{2}\ln(1+x^2)+C.$$

Интегрирование рациональных функций. Требуется вычислить $\int\frac{f(x)}{F(x)}\,dx$, где $f(x)$ и $F(x)$—многочлены. Если степень $f(x)$ больше (или равна) степени $F(x)$, то при помощи деления выделяем многочлен, к-рый мы умеем интегрировать; остается $\int\frac{\varphi(x)}{F(x)}\,dx$, где степень многочлена $\varphi(x)$ меньше степени $F(x)$. Разлагаем $F(x)$ на множители:

$$F(x)=(x-a)^\alpha(x-b)^\beta\ldots\ (\alpha\geqslant 1,\ \beta\geqslant 1,\ldots).$$

Доказывается, что дробь $\frac{\varphi(x)}{F(x)}$ м. б. представлена в виде суммы простых дробей:

$$\frac{\varphi(x)}{F(x)}=\frac{A_1}{x-a}+\frac{A_2}{(x-a)^2}+\cdots+\frac{A_\alpha}{(x-a)^\alpha}+$$

$$+\frac{B_1}{x-b}+\frac{B_2}{(x-b)^2}+\cdots+\frac{B_\beta}{(x-b)^\beta}\cdots \qquad (1)$$

Интегрирование каждой из этих дробей не представит затруднений, напр.:

$$\int\frac{A_1}{x-a}dx=A_1\ln(x-a)+C;\ \ldots\int\frac{A_k}{(x-a)^k}\,dx=$$

$$=A_k\int(x-a)^{-k}\,dx=\frac{A_k}{-k+1}\cdot\frac{1}{(x-a)^{k-1}}+C.$$

Коэффициенты A_1, $A_2,\ldots$, B_1, $B_2,\ldots$ определяют, приводя дроби к общему знаменателю и приравнивая в числителях коэффициенты при одинаковых степенях x.

Пример. $\int\frac{x^2+1}{x(x-1)^2}\,dx$.

Имеем:

$$\frac{x^2+1}{x(x-1)^2}=\frac{A}{x}+\frac{B}{x-1}+\frac{C}{(x-1)^2}=$$

$$=\frac{A(x-1)^2+Bx(x-1)+Cx}{x(x-1)^2}.$$

Сравнение коэфф-тов дает: при x^2, $A+B=1$; при x, $-2A-B+C=0$; свободный член $A=1$. Отсюда $B=0$, $C=2$. Подставляя и интегрируя, находим:

$$\int\frac{x^2+1}{x(x-1)^2}\,dx=\int\frac{dx}{x}+2\int\frac{dx}{(x-1)^2}=$$

$$=\ln x-\frac{2}{x-1}+C.$$

В случае, если ур-ие $F(x)=0$ имеет мнимые корни, знаменатели простых дробей будут содержать мнимость; но если все коэфф-ты многочленов $\varphi(x)$ и $F(x)$ действительны, то наряду с комплексным членом будет другой, ему сопряженный; складывая их, мы получим действительное выражение; пусть $\alpha=p+qi$, $A_1=M+Ni$; тогда, необходимо, $\beta=p-qi$, $B_1=M-Ni$; складывая, имеем:

$$\frac{M+Ni}{x-p-qi}+\frac{M-Ni}{x-p+qi}=2\frac{M(x-p)-qN}{(x-p)^2+q^2}.$$

Интеграция дает:

$$\int\left(\frac{A_1}{x-\alpha}+\frac{B_1}{x-\beta}\right)dx=M\int\frac{2(x-p)\,dx}{(x-p)^2+q^2}-$$

$$-2N\int\frac{q\,dx}{(x-p)^2+q^2}=M\ln[(x-p)^2+q^2]-$$

$$-2N\operatorname{arc\,tg}\frac{x-p}{q}+C.$$

Интегрирование иррациональных функций. Дан интеграл

$$\int R\left[x,(ax+b)^{\frac{m_1}{n_1}},\ (ax+b)^{\frac{m_2}{n_2}},\ldots\right]dx,$$

где R—рациональная ф-ия своих аргументов. Пусть N—общее наименьшее кратное чисел n_1, $n_2,\ldots$; делаем подстановку $ax+b=t^N$, тогда

$$x=\frac{t^N-b}{a},\ dx=\frac{N}{a}\,t^{N-1}\,dt;$$

$$(ax+b)^{\frac{m_1}{n_1}}=t^{M_1},\ (ax+b)^{\frac{m_2}{n_2}}=t^{M_2},\ldots$$

($M_1=N\frac{m_1}{n_1}$, $M_2,\ldots$ — целые числа).

Интеграл примет вид:

$$\int R\left(\frac{t^N-b}{a},\ t^{M_1},\ t^{M_2},\ldots\right)\cdot\frac{N}{a}\,t^{N-1}\,dt,$$

где подинтегральная функция рациональна.

Пример. $\int\frac{dx}{x^{\frac{1}{2}}+x^{\frac{1}{3}}}$. Подставим $t^6=x$; получим:

$$6\int\frac{t^5\,dt}{t^3+t^2}=6\int\left(1-t+t^2-\frac{1}{1+t}\right)dt=$$

$$=6t-3t^2+2t^3-6\ln(1+t)+C=$$

$$=6x^{\frac{1}{6}}-3x^{\frac{1}{3}}+2x^{\frac{1}{2}}-6\ln(1+x^{\frac{1}{6}})+C.$$

Рассмотрим $\int R(x,y)\,dx$, где R—рациональная функция аргументов, $y=\sqrt{a+bx+cx^2}$. Для приведения подинтегрального выражения к рациональному виду служат три эйлеровы подстановки:

1) Если корни α и β алгебраич. трехчлена действительны, вводим переменное t ур-ием:

$$\sqrt{c\,(x-\alpha)\,(x-\beta)} = (x-\alpha)\,t\,;$$

x и y выразятся рационально через t.

2) Если $c>0$, то можно положить:

$$\sqrt{a+bx+cx^2} = t \pm x\sqrt{c}\,.$$

3) Если $a>0$, можно положить:

$$\sqrt{a+bx+cx^2} = \sqrt{a} + tx\,.$$

Во всех случаях подинтегральная ф-ия будет рациональна относительно t.

Пример. $\int \frac{dx}{\sqrt{x^2+A}}$. Применим 2-ю подстановку: $y = \sqrt{x^2+A} = -x+t$; отсюда

$$x = \frac{t^2-A}{2t}\,,\quad dx = \frac{t^2+A}{2t^2}\,dt\,,\quad y = \frac{t^2+A}{2t}\,.$$

Получаем

$$\int \frac{dt}{t} = \ln t + C = \ln\left(x+\sqrt{x^2+A}\right) + C\,.$$

Наконец, рассмотрим $\int x^m(a+bx^n)^p\,dx$ (интеграл от дифференциального бинома); m, n, p—рациональные числа. Если p—целое, то подстановка $x=t^N$, где N—общее наименьшее кратное чисел m и n, приведет к рациональной функции. В противном случае подстановка $a+bx^n=t$ приведет к интегралу $\frac{1}{nb}\int t^p\left(\frac{t}{b}-\frac{a}{b}\right)^{\frac{m+1}{n}-1}dt$, который, по предыдущему, можно привести к рациональному виду, если $\frac{m+1}{n}$ — целое число. Наконец, данный интеграл можно записать в виде: $\int x^{m+np}\,(b+ax^{-n})^p\,dx$, и он может быть приведен к рациональному виду, если $\frac{m+np+1}{n}$, т. е. $\frac{m+1}{n}+p$, есть целое число. К интегралам иррациональных ф-ий относятся т. н. эллиптические интегралы вида $\int R(x,y)\,dx$, где y есть корень квадратный из многочлена 4-й или 3-й степени; они не выражаются в элементарных ф-иях (см. *Эллиптические функции*).

Интегрирование трансцендентных функций. Для интегралов тригонометрич. ф-ий $\int R(\cos x, \sin x)\,dx$ (где R—рациональная ф-ия) всегда приводит к цели подстановка: $z = \operatorname{tg}\frac{x}{2}$; тогда

$$\sin x = \frac{2z}{1+z^2};\quad \cos x = \frac{1-z^2}{1+z^2};\quad dx = \frac{2\,dz}{1+z^2}\,.$$

Пример.

$$\int \frac{dx}{\sin x} = \int \frac{1+z^2}{2z}\cdot\frac{2\,dz}{1+z^2} = \int \frac{dz}{z} = \ln z + C =$$

$$= \ln \operatorname{tg}\frac{x}{2} + C\,.$$

В отдельных случаях можно этой подстановки избежать, напр.:

$$\int \sin^2 x \cos^3 x\,dx = \int \sin^2 x\,(1-\sin^2 x)\,d\sin x =$$

$$= \frac{\sin^3 x}{3} - \frac{\sin^5 x}{5} + C\,;$$

$$\int \frac{dx}{\sin^4 x} = \int \frac{1}{\sin^2 x}\cdot\frac{dx}{\sin^2 x} = -\int (1+\operatorname{ctg}^2 x)\,d\operatorname{ctg} x =$$

$$= -\operatorname{ctg} x - \frac{\operatorname{ctg}^3 x}{3} + C\,.$$

Рассмотрим еще интеграл:

$$I = \int e^{ax}\cos bx\,dx\,.$$

Две интеграции по частям дают:

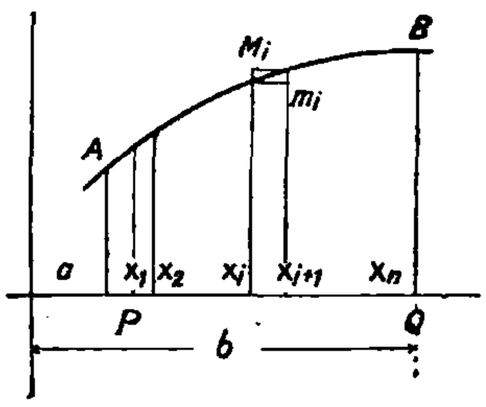
$$I = e^{ax}\cdot\frac{1}{b}\sin bx - \frac{a}{b}\int e^{ax}\sin bx\,dx =$$

$$= \frac{1}{b}\,e^{ax}\sin bx + \frac{a}{b^2}\,e^{ax}\cos bx - \frac{a^2}{b^2}\,I\,.$$

Решая это ур-ие относительно I, получаем:

$$I = \frac{e^{ax}\,(a\cos bx + b\sin bx)}{a^2+b^2}\,.$$

Определенный интеграл. Исторически И. и. возникло в связи с решением геометрич. задачи—найти площадь криволинейной фигуры. Пусть нам дана кривая $y=f(x)$; предположим, что ее ординаты положительны; требуется определить площадь $PABQ$, ограниченную сверху кривою, снизу осью абсцисс, а с боков—ординатами, соответствующими $x=a$ и $x=b$ (фиг. 1). Делим отрезок PQ на n частей точками x_1, x_2,..., x_{n-1} (обозначим a через x_0, b—через x_n); из точек деления восставляем ординаты; искомая площадь разделится на полоски. Площадь полоски с основанием, равным $x_{i+1}-x_i = \Delta x_i$, заключена между площадями двух прямоугольников, из к-рых больший имеет высоту M_i, равную наибольшей ординате в промежутке (x_i, x_{i+1}), меньший m_i—наименьшую ординату. Вся площадь заключена между двумя суммами: $\sum_{i=0}^{n-1} M_i\,\Delta x_i$ (по избытку) и $\sum_{i=0}^{n-1} m_i\,\Delta x_i$ (по недостатку). Доказывается, что когда n безгранично увеличивается и длины интервалов стремятся к нулю, обе эти суммы имеют общий предел, назыв. определенным интегралом ф-ии $f(x)$ в пределах от a до b; его записывают так: $\int_a^b f(x)\,dx$; он представляет собой площадь $PABQ$ (если ординаты кривой отрицательны, определенный интеграл дает величину площади со знаком —). Мы предполагали $a<b$; пусть теперь $a>b$,—все рассуждения сохраняются, но Δx_i будут отрицательны, и мы получим



Фиг. 1.

$$\int_a^b f(x)\,dx = -\int_b^a f(x)\,dx\,.$$

Отметим еще 3 формулы:

$$\int_a^a f(x)\,dx = 0\,;\quad \int_a^b f(x)\,dx = \int_a^c f(x)\,dx + \int_c^b f(x)\,dx\,;$$

$$\int_a^b f(x)\,dx = f(\xi)\,(b-a)\,,$$

где ξ—нек-рая промежуточная точка интервала $(a,\ b)$ (теорема о среднем значении).

Связь определенного интеграла с неопределенным. Предположим, что верхний предел определенного интеграла переменная величина X; сам интеграл

станет функцией этого верхнего предела:

$$F(X)=\int_a^X f(x)\,dx\,.$$

Вычислим производную от $F(X)$ по X:

$$F(X+h)-F(X)=\int_a^{X+h} f(x)\,dx-\int_a^X f(x)\,dx=$$

$$=\int_X^{X+h} f(x)\,dx=h\,f(\xi)$$

(по теореме о среднем значении);

$$F'(X)=\lim_{h\to 0}\frac{F(X+h)-F(X)}{h}=\lim_{h\to 0} f(\xi)=f(X)\,.$$

Эта производная есть подинтегральная ф-ия, следовательно, определенный интеграл с переменным верхн. пределом есть первообразная ф-ия, т. е. неопределенный интеграл:

$$\int f(x)\,dx=\int_a^x f(x)\,d(x)+C=F(x)+C\,. \quad (2)$$

Отсюда—метод вычисления определенного интеграла с помощью неопределенного. Подставляя в двух последних частях равенства (2) вместо x последовательно a и b и вычитая из второго тождества первое, найдем

$$\int_a^b f(x)\,dx=F(b)-F(a)=[F(x)]_a^b$$

(последнее выражение читается: $F(x)$ с подстановкой a, b).

Пример. $\int_1^2 \frac{dx}{x}=[\ln x]_1^2=\ln 2.$

Ф-лы для интегрирования суммы, для постоянного множителя и интеграции по частям в случае определенного интеграла напишутся так:

$$\int_a^b (u+v-w)\,dx=\int_a^b u\,dx+\int_a^b v\,dx-\int^b w\,dx\,;$$

$$\int_a^b c\,f(x)\,dx=c\int_a^b (x)\,dx\,;$$

$$\int_a^b uv'\,dx=[uv]_a^b-\int_a^b vu'\,dx\,.$$

При интеграции с помощью подстановки: $x=\varphi(t)$ надо вычислить те значения t, к-рые соответствуют значениям $x=a$, $x=b$; пусть это будут t_0, t_1. Тогда

$$\int_a^b f(x)\,dx=\int_{t_0}^{t_1} f[\varphi(t)]\,\varphi'(t)\,dt\,.$$

Пример. $\int_0^a \sqrt{a^2-x^2}\,dx\,.$

Подстановка: $x=a\sin t$; $dx=a\cos t\,dt$.
При $x=0$, $t=0$; при $x=a$, $t=\frac{\pi}{2}$. Т. о.,

$$\int_0^a \sqrt{a^2-x^2}\,dx=a^2\int_0^{\frac{\pi}{2}}\cos^2 t\,dt=$$

$$=a^2\left[\frac{t}{2}+\frac{\sin 2t}{4}\right]_0^{\frac{\pi}{2}}=\frac{\pi a^2}{4}\,.$$

Мы вычислили, таким обр., площадь $^1/_4$ круга ($y=+\sqrt{a^2-x^2}$ есть уравнение верхней полуокружности с радиусом a и с центром в начале координат). Т. к. ур-ие эллипса можно написать в виде: $y=\frac{b}{a}\sqrt{a^2-x^2}$, то площадь эллипса равна πab.

Теоремы о среднем значении. 1) Пусть $f(x)$ и $\varphi(x)$—непрерывные ф-ии, причем $\varphi(x)>0$ в интервале $(a,\ b)$, тогда

$$\int_a^b f(x)\,\varphi(x)\,dx=f(\xi)\int_a^b \varphi(x)\,dx\,,$$

где ξ—нек-рая точка между a и b.

2) Пусть $\varphi(x)$ положительна и убывает между a и b; тогда

$$\int_a^b f(x)\,\varphi(x)\,dx=\varphi(a)\int_a^\xi f(x)\,dx\,,$$

где $a<\xi<b$. Если $\varphi(x)$ убывает, не оставаясь положительною, то

$$\int_a^b f(x)\,\varphi(x)\,dx=\varphi(a)\int_a^\xi f(x)\,dx+\varphi(b)\int_\xi^b f(x)\,dx\,.$$

Несобственные интегралы. Иногда можно определить интеграл, если подинтегральная ф-ия не остается непрерывной. Пусть, в частности, $f(x)$ обращается в ∞ при $x=a$; тогда, если

$$\int f(x)\,dx=F(x)\,,$$

мы определим

$$\int_a^b f(x)\,dx=\lim_{\varepsilon\to 0}\int_{a+\varepsilon}^b f(x)\,dx=F(b)-\lim_{\varepsilon\to 0}F(a+\varepsilon),$$

если этот предел существует.

Пример. $\int_0^1 \frac{dx}{\sqrt{x}}$; подинтегральная ф-ия бесконечно велика при бесконечно малом x; имеем:

$$\lim_{\varepsilon\to 0}\int_\varepsilon^1 \frac{dx}{\sqrt{x}}=\lim_{\varepsilon\to 0}[2\sqrt{x}]_\varepsilon^1=2-2\lim_{\varepsilon\to 0}\sqrt{\varepsilon}=2\,.$$

Часто приходится также рассматривать такие интегралы, у которых один или оба предела бесконечности. Они определяются также с помощью понятия предела, например:

$$\int_a^\infty f(x)\,dx=\lim_{b\to\infty}\int_a^b f(x)\,dx\,.$$

Примеры.

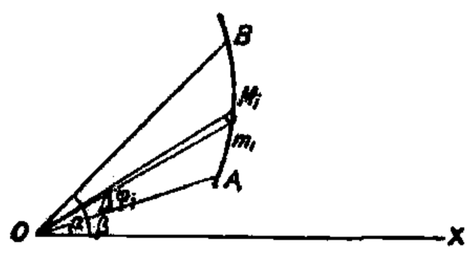
$$\int_0^\infty e^{-x}\,dx=\lim_{b\to\infty}\int_0^b e^{-x}\,dx=[-e^{-x}]_0^\infty=1\,;$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{dx}{1+x^2}=[\operatorname{arc tg} x]_{-\infty}^{+\infty}=\operatorname{arc tg}(+\infty)-$$

$$-\operatorname{arc tg}(-\infty)=\frac{\pi}{2}-\left(-\frac{\pi}{2}\right)=\pi\,.$$

Приложения простых интегралов. Площадь, ограниченная плоской кривой. Мы уже видели, что площадь криволинейной трапеции $PABQ$ (фиг. 1) выражается интегралом $\int_a^b f(x)\,dx$. Более сложные площади приводят делением к площадям

рассмотренного вида. Иногда выгодно применить полярные координаты. Пусть ур-ие кривой $r=f(\varphi)$. Площадь сектора (фиг. 2) AOB разбиваем на n элементарных секторов с углами при вершине $\Delta\varphi_i$. Каждый такой сектор представим по избытку и недостатку как круговой, по ф-лам $\frac{1}{2}M_i^2\,\Delta\varphi$ и $\frac{1}{2}m_i^2\,\Delta\varphi$, где M_i и m_i—наибольший и наименьший радиусы-векторы. В пределе при $n\to\infty$ получим:



Фиг. 2.

$$\text{площадь } AOB=\frac{1}{2}\int_\alpha^\beta r^2\,d\varphi=\frac{1}{2}\int_\alpha^\beta [f(\varphi)]^2\,d\varphi.$$

Если замкнутая кривая окружает начало, за пределы интеграции принимают 0 и 2π.

Пример. Ур-ие круга в полярных координатах $r=a$. Площадь круга равна

$$\frac{1}{2}\int_0^{2\pi} a^2\,d\varphi=\pi a^2.$$

Длина дуги. Дифференциал дуги (см. *Дифференциальная геометрия*) $ds=\sqrt{dx^2+dy^2}$. Если кривая задана ур-ием $y=f(x)$, то ее дуга между точками с абсциссами a и b равна

$$s=\int_a^b \sqrt{1+[f'(x)]^2}\,dx.$$

В случае параметрич. ур-ий

$$s=\int_{t_0}^{t_1}\sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2+\left(\frac{dy}{dt}\right)^2}\,dt.$$

Пример. Для циклоиды дифференциал дуги

$$ds=2a\sin\frac{t}{2}\,dt.$$

Длина одной ветви

$$s=2a\int_0^{2\pi}\sin\frac{t}{2}\,dt=-4a\left[\cos\frac{t}{2}\right]_0^{2\pi}=8a.$$

Длина дуги в полярных координатах дается формулой:

$$s=\int_\alpha^\beta\sqrt{dr^2+r^2d\varphi^2}.$$

Объем тела вращения. Кривая $y=f(x)$ вращается около оси абсцисс; требуется определить объем, ограниченный поверхностью вращения и плоскостями $x=a$, $x=b$. Разбивая объем на элементарные, которые вычисляем по избытку и недостатку как круглые цилиндры, и переходя к пределу, найдем:

$$V=\pi\int_a^b y^2\,dx=\pi\int_a^b [f(x)]^2\,dx.$$

Вообще, если у тела любой формы площади сечений, перпендикулярных к оси абсцисс, известны в ф-ии x, напр. X, то объем выразится следующим образом:

$$V=\int_a^b X\,dx.$$

Пример. Найти объем эллипсоида

$$\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}+\frac{z^2}{c^2}=1.$$

При данном x имеем в сечении эллипс

$$\frac{y^2}{\frac{b^2(a^2-x^2)}{a^2}}+\frac{z^2}{\frac{c^2(a^2-x^2)}{a^2}}=1$$

с полуосями $\frac{b}{a}\sqrt{a^2-x^2}$ и $\frac{c}{a}\sqrt{a^2-x^2}$ и с площадью $\frac{\pi bc}{a^2}(a^2-x^2)$. Искомый объем

$$V=\frac{\pi bc}{a^2}\int_{-a}^{+a}(a^2-x^2)\,dx=\frac{4}{3}\pi abc.$$

Поверхность тела вращения S выражается интегралом:

$$S=2\pi\int_a^b y\,ds=2\pi\int_a^b f(x)\sqrt{1+[f'(x)]^2}\,dx.$$

Центр тяжести. В механике координаты ц. т. системы точек P_1 с массой m_1 и координатами (x_1, y_1), $P_2(m_2, x_2, y_2)\ldots$ даются формулами:

$$x=\frac{\Sigma m_i x_i}{\Sigma m_i},\quad y=\frac{\Sigma m_i y_i}{\Sigma m_i}.$$

Если масса распределена непрерывно, мы совершаем переход к пределу и вместо сумм получаем интегралы.

1) Центр тяжести дуги. Принимая массу единицы длины равной 1, будем иметь:

$$\bar{x}=\frac{\int_a^b x\,ds}{\int_a^b ds},\quad \bar{y}=\frac{\int_a^b y\,ds}{\int_a^b ds}.$$

2) Центр тяжести плоской фигуры. Считаем массу единицы площади равной 1. Берем криволинейную трапецию, разбиваем ее на полоски и заменяем их прямоугольниками. Замечая, что площадь элементарного прямоугольника равна $y\Delta x$, а ц. т. находится на половине высоты, получаем, переходя к пределу:

$$\bar{x}=\frac{\int_a^b xy\,dx}{\int_a^b y\,dx};\quad \bar{y}=\frac{\frac{1}{2}\int_a^b y^2dx}{\int_a^b y\,dx}.$$

Пример. Найти ц. т. полукруга

$$y=+\sqrt{a^2-x^2}.$$

Очевидно

$$\bar{x}=0;\ \bar{y}=\frac{1}{2}\int_{-a}^{+a}(a^2-x^2)\,dx:\frac{1}{2}\pi a^2=\frac{4a}{3\pi}.$$

Момент инерции плоской фигуры. Момент инерции относительно оси абсцисс конечной системы точек I_x имеет выражение: $I_x=\Sigma m_i y_i^2$, а относительно оси ординат: $I_y=\Sigma m_i x_i^2$. Для криволинейной трапеции получим: $I_x=\int_a^b x^2y\,dx$. Для вычисления I_y заметим, что момент инерции элементарного прямоугольника равен $\frac{y^3}{3}\Delta x$, откуда

$$I_y=\frac{1}{3}\int_a^b y^3\,dx.$$

Интеграл как функция параметра. Пусть подинтегральная ф-ия зависит, кроме x, еще от параметра t. Интеграл $\int_a^b f(x, t)\,dx$ не зависит, как мы видели, от x, но является ф-ией параметра t. Применяя определение производной, получаем ф-лу:

$$\frac{d}{dt}\int_a^b f(x, t)\,dx = \int_a^b \frac{\partial}{\partial t} f(x, t)\,dx,$$

дающую правило дифференцирования определенного интеграла по параметру. Если пределы интегрирования a и b тоже зависят от t, формула примет вид:

$$\frac{d}{dt}\int_a^b f(x, t)\,dx = \int_a^b \frac{\partial}{\partial t} f(x, t)\,dx + f(b, t)\frac{db}{dt} - f(a, t)\frac{da}{dt}.$$

Определенный интеграл как ф-ию параметра можно также интегрировать по параметру. В случае постоянных пределов имеем:

$$\int_\alpha^\beta \left\{\int_a^b f(x, t)\,dx\right\} dt = \int_a^b \left\{\int_\alpha^\beta f(x, t)\,dt\right\} dx,$$

т. е. порядок интегрирования по переменному и по параметру можно менять. В случае бесконечных пределов интеграции это правило справедливо только в случае равномерной сходимости интеграла $\int_a^\infty f(x, t)\,dx$; это значит: для сколь угодно малого ε можно найти достаточно большое b так, что

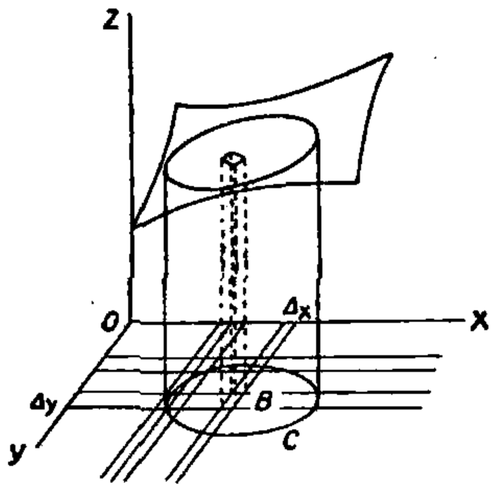
$$\left|\int_b^\infty f(x, t)\,dx\right| < \varepsilon$$

для всех значений t в пределах интеграции.

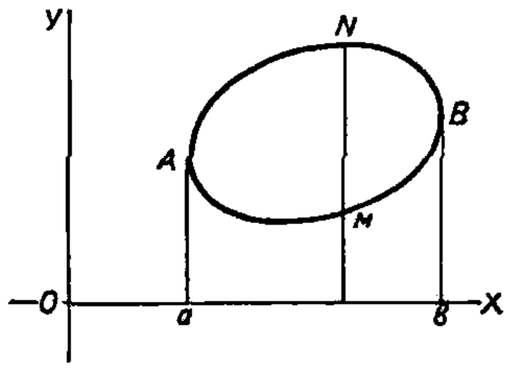
Приближенное вычисление интегралов (механические квадратуры)—см. *Вычисления приближенные*.

Интегрирование рядов—см. *Ряды*.

Двойные интегралы. Дана непрерывная ф-ия от двух переменных $f(x, y)$. Уравнение $z = f(x, y)$ геометрически представит поверхность. Требуется определить объем,



Фиг. 3.



Фиг. 4.

ограниченный этой поверхностью, плоскостью XY и цилиндрич. поверхностью, направляющая которой—замкнутая кривая C на плоскости XY. Разбиваем плоскость XY прямыми, параллельными осям координат, на маленькие прямоугольные площадки $\Delta x \cdot \Delta y$ и через линии деления проводим плоскости, параллельные OZ (фиг. 3). Отберем те прямоугольники, к-рые имеют общие точки с площадью B, ограниченной кривою C; в каждом прямоугольнике берем соответствующее значение $f(x, y)$, напр. $f(x_i, y_k)$, и составляем сумму: $\Sigma f(x_i, y_k)\,\Delta x\,\Delta y$. Предел этой суммы, когда Δx и Δy стремятся к нулю, запишется как $\iint_{(B)} f(x, y)\,dx dy$ (двойной интеграл, распространенный на область B). Геометрически он представит искомый объем. Для вычисления двойного интеграла производим под знаком Σ суммирование сначала по y, потом по x (или наоборот). Предположим, что кривая пересекается параллелями к оси ординат в двух точках. При переходе к пределу придется сначала интегрировать по y от M до N, затем по x от a до b (фиг. 4). Для аналитическ. выражения предположим, что дуга AMB дана ур-ием $y = \varphi_1(x)$, дуга ANB—ур-ием $y = \varphi_2(x)$.

Тогда

$$\iint_{(B)} f(x, y)\,dx\,dy = \int_a^b dx \int_{\varphi_1(x)}^{\varphi_2(x)} f(x, y)\,dy.$$

В частности, если B—прямоугольник, ограниченный прямыми: $x = a$; $x = b$; $y = c$; $y = d$, получим:

$$\iint_{(B)} f(x, y)\,dx dy = \int_a^b dx \int_c^d f(x, y)\,dy$$

(пределы по y также постоянны).

Замена переменных в двойном интеграле. Пусть надо ввести такие переменные u и v, что $x = \varphi(u, v)$, $y = \psi(u, v)$. Тогда имеем ф-лу:

$$\iint_{(B)} f(x, y)\,dx dy = \iint_{(W)} f[\varphi(u, v), \psi(u, v)]\,|D|\,du dv,$$

где D есть определитель Якоби:

$$D = \begin{vmatrix} \frac{\partial \varphi}{\partial u} & \frac{\partial \varphi}{\partial v} \\ \frac{\partial \psi}{\partial u} & \frac{\partial \psi}{\partial v} \end{vmatrix},$$

а W—область плоскости (u, v), в которую переходит область B. В частности, при переходе к полярным координатам $x = r\cos\varphi$, $y = r\sin\varphi$, имеем:

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial x}{\partial r} & \frac{\partial x}{\partial \varphi} \\ \frac{\partial y}{\partial r} & \frac{\partial y}{\partial \varphi} \end{vmatrix} = r,$$

следовательно,

$$\iint f(x, y)\,dx dy = \iint f(r\cos\varphi, r\sin\varphi) r\,dr\,d\varphi.$$

Пример. Интеграл Пуассона

$$I = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-x^2}\,dx.$$

Имеем

$$I^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-x^2}\,dx \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-y^2}\,dy = \int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-x^2-y^2}\,dx\,dy$$

двойной интеграл, распространенный на всю площадь. Переходим к полярным координатам:

$$I^2 = \iint e^{-r^2} r\,dr\,d\varphi = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^\infty e^{-r^2} r\,dr = \pi,$$

следовательно, $I = \sqrt{\pi}$.

Приложения двойного интеграла. Кроме вычисления объемов, двойной интеграл служит для вычисления кривых

поверхностей. Здесь имеем ф-лу: площадь поверхности $z=f(x, y)$, ограниченной цилиндром с направляющей C:

$$S=\iint\limits_{(B)}\sqrt{1+f_x^2+f_y^2}\,dx\,dy\,,$$

где

$$f_x=\frac{\partial f}{\partial x}\,,\ f_y=\frac{\partial f}{\partial y}\,.$$

Координаты ц. т. площади B выразятся так:

$$\overline{x}=\frac{\iint\limits_{(B)} x\,dx\,dy}{B}\,,\quad \overline{y}=\frac{\iint\limits_{(B)} y\,dx\,dy}{B}\,.$$

Момент инерции площади B относительно оси ординат:

$$I=\iint\limits_{(B)} x^2\,dx\,dy\,.$$

Тройной интеграл. Дается функция трех переменных $f(x, y, z)$ и область B, ограниченная поверхностью S. Пространство разбивается плоскостями, параллельными координатным, на малые параллелепипеды и составляется сумма произведений значений ф-ии внутри параллелепипеда на его объем:

$$\Sigma f(x_i\,, y_k\,, z_l)\ \Delta x\ \Delta y\ \Delta z\,;$$

знак суммы распространяется на параллелепипеды, имеющие общие точки с B. Предел этой суммы есть тройной интеграл: $\iiint\limits_{(B)} f(x, y, z)\,dx\,dy\,dz$. Его вычисление сводится к последовательному интегрированию сначала по x, затем по y, наконец — по z. Тройной интеграл применяется к вычислению ц. т. и моментов инерции объемов, также в гидромеханике, теории потенциала и т.д.

Криволинейные интегралы. Пусть дана функция $f(x, y)$ и на плоскости XY кривая C: $x=\varphi(t)$, $y=\psi(t)$. Под криволинейным интегралом по кривой C от точки $A(t_0)$ до точки $B(t_1)$, т. е. $\int\limits_{(C)} P(x, y)\,dx$, понимается интеграл $\int\limits_{t_0}^{t_1} P[\varphi(t)\psi(t)]\varphi'(t)\,dt$. Этот интеграл зависит от направления кривой: интеграл от B до A равен интегралу от A до B, взятому с обратным знаком. Аналогично определяется $\int Q(x, y)\,dy$ и наиболее общий криволинейный интеграл

$$\int\limits_{(C)} P\,dx+Q\,dy\,.$$

Если, в частности, кривая C замкнутая и ограничивает область B, то существует следующая связь криволинейного интеграла с двойным (ф-ла Грина):

$$\int\limits_{(C)} P\,dx+Q\,dy=\iint\limits_{(B)}\left(\frac{\partial Q}{\partial x}-\frac{\partial P}{\partial y}\right)dx\,dy\,.$$

Подобно криволинейному интегралу определяется интеграл по поверхности. Имеем ф-ию от 3 переменных $R(x, y, z)$ и поверхность S; тогда

$$\iint\limits_{(S)} R(x, y, z)\,dx\,dy=\iint\limits_{(\Sigma)} R(x, y, z)\cos\gamma\,d\sigma\,,$$

где x, y, z выражены в функции переменных u, v (см. *Дифференциальная геометрия*), $d\sigma$—элемент площади поверхности, γ—угол нормали с осью OZ. Наиболее общий интеграл по поверхности

$$\iint\limits_{(S)} P\,dy\,dz+Q\,dz\,dx+R\,dx\,dy=$$

$$=\iint\limits_{(\Sigma)}(P\cos\alpha+Q\cos\beta+R\cos\gamma)\,d\sigma\,,$$

где α и β—углы нормали с осями OX и OY. Если поверхность S замкнута и ограничивает объем V, то этот интеграл равен $\iiint\limits_{(V)}\left(\frac{\partial P}{\partial x}+\frac{\partial Q}{\partial y}+\frac{\partial R}{\partial z}\right)dx\,dy\,dz$ (ф-ла Остроградского-Грина). Пусть в пространстве дан криволинейный интеграл $\int\limits_{(L)} P\,dx+Q\,dy+R\,dz$. Если кривая L замкнутая, то этот интеграл можно выразить через двойной интеграл по части произвольной поверхности Σ, ограниченной кривою L; а именно, имеет место равенство (формула Стокса):

$$\int\limits_{(L)} P\,dx+Q\,dy+R\,dz=-\iint\limits_{(\Sigma)}\left(\frac{\partial Q}{\partial z}-\frac{\partial R}{\partial y}\right)dy\,dz+$$

$$+\left(\frac{\partial R}{\partial x}-\frac{\partial P}{\partial z}\right)dz\,dx+\left(\frac{\partial P}{\partial y}-\frac{\partial Q}{\partial x}\right)dx\,dy\,.$$

Эти формулы имеют большое применение в механике; их более простую запись и геометрическую интерпретацию дает *векторное исчисление* (см.).

Лит.: Гурса Э., Курс математич. анализа, пер. с франц., т. 1, М., 1911; Филипс Г., Интегральное исчисление, пер. с англ., М.—Л., 1927; Гренвиль В., Элементы диффер. и интегр. исчисления, пер. с англ., ч. 2, 6 изд., М.—Л., 1928; Бибербах Л., Дифференциальное и интегральное исчисление, пер. с нем., ч. 2—Интегральное исчисление, М., 1924.

В. Степанов.

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ, ур-ия, в к-рых искомая ф-ия входит под знаком интеграла. Первое И. у. получено и решено Абелем, исследовавшим механич. задачу: определить вид кривой, по к-рой движется маятник, если время колебания T есть данная ф-ия наибольшей высоты. Представляя ур-ие искомой кривой в виде $s=\Phi(z)$ (s—длина дуги, z—высота), мы для ф-ии $\varphi(z)=\Phi'(z)$ получаем И. у. Абеля:

$$f(h)=\int\limits_0^h\frac{\varphi(z)\,dz}{\sqrt{h-z}}\,,\qquad(1)$$

где $f(h)=\sqrt{\frac{g}{2}}\,T$ (g—ускорение силы тяжести). Ур-ие (1) имеет решение:

$$\Phi(h)=\int\limits_0^h\varphi(z)\,dz=\frac{1}{\pi}\int\limits_0^h\frac{f(z)\,dz}{\sqrt{h-z}}\,.$$

Общая теория И. у. создана трудами Вольтерра, Фредгольма, Гильберта и др.

Уравнения Вольтерра 1-го рода являются обобщением ур-ия Абеля; общий вид такого ур-ия:

$$f(x)=\int\limits_0^x K(x,s)\varphi(s)\,ds\,,\qquad(2)$$

где f и K—данные ф-ии, φ—искомая ф-ия. Ф-ия K называется ядром И. у.; в случае (1) ядро равно $\frac{1}{\sqrt{x-s}}$; оно бесконечно при $x=s$; этот случай в общей теории представит

некоторые затруднения. Если же ядро уравнения (2) непрерывно и дифференцируемо, то, дифференцируя ур-ие (2) по x, получаем:

$$f'(x) = K(x, x)\varphi(x) + \int_0^x K'_x(x, s)\varphi(s)\,ds;$$

предполагая $K(x, x) \neq 0$, можем разделить обе части ур-ия на него; применяя новые обозначения, получим ур-ие вида:

$$f(x) = \varphi(x) + \int_a^x K(x, s)\varphi(s)\,ds, \qquad (3)$$

уравнение Вольтерра 2-го рода (K и f—известны, φ—ищется). Для решения уравнения (3) вводим параметр λ и составляем уравнение вида:

$$\varphi(s) = \lambda \int_0^x K(x, s)\varphi(s)\,ds + f(x). \qquad (3')$$

Ищем решение в виде степенного ряда:

$$\varphi(x) = \varphi_0(x) + \lambda\varphi_1(x) + \lambda^2\varphi_2(x) + \\ + \ldots + \lambda^n\varphi_n(x) + \ldots \qquad (4)$$

Подставляя выражение (4) в ур-ие (3) и приравнивая коэффициенты при различных степенях λ, находим:

$$\varphi_0(x) = f(x); \quad \varphi_1(x) = \int_a^x K(x, s)\varphi_0(s)\,ds;$$

$$\varphi_2(x) = \int_a^x K(x, s)\varphi_1(s)\,ds, \ldots,$$

$$\varphi_n(x) = \int_a^x K(x, s)\varphi_{n-1}(s)\,ds.$$

Ряд (4) сходится при всех значениях λ; при $\lambda=1$ имеем решение ур-ия (3). Решение (4) можно представить одной формулой. Назовем

$$\int_y^x K(x, t)\,K(t, y)\,dt = K^{(2)}(x, y),$$

$$\int_y^x K^{(2)}(x, t)\,K(t, y)\,dt = K^{(3)}(x, y), \ldots,$$

$$\int_y^x K^{(n-1)}(x, t)K(t, y)dt = K^{(n)}(x, y), \ldots$$

последовательными повторениями ядра K. Составим ф-ию:

$$\Gamma(x, y; \lambda) = K(x, y) + \lambda K^{(2)}(x, y) + \\ + \ldots + \lambda^{n-1}K^{(n)}(x, y) + \ldots, \qquad (5)$$

т. н. резольвенту ур-ия (3′). Тогда решение (4) запишется так:

$$\varphi(x) = f(x) + \int_a^x \Gamma(x, s; \lambda)f(s)\,ds.$$

Наряду с И. у. Вольтерра в приложениях встречаются интегро-дифференциальные ур-ия, где вместе с искомой ф-ией φ входят также ее производные (как под знаком интеграла, так и вне его). Обыкновенно рассматриваются интегро-дифференциальные ур-ия линейные (в к-рых искомая ф-ия и ее производные входят линейно).

Другой важный тип И. у.—уравнение Фредгольма. Общий вид ур-ия Фредгольма (2-го рода):

$$\varphi(x) = \int_a^b K(x, s)\varphi(s)\,ds + f(x).$$

Здесь опять K (ядро) и f—данные ф-ии, φ—искомая ф-ия; отличие от ур-ия Вольтерра в том, что оба предела интеграции a и b постоянны. Мы попрежнему рассматриваем более общее уравнение

$$\varphi(x) = \lambda \int_a^b K(x, s)\varphi(s)\,ds + f(x). \qquad (6)$$

И здесь можно искать разложение в форме (4), при чем будем иметь:

$$\varphi_0(x) = f(x); \quad \varphi_1(x) = \int_a^b K(x, s)\varphi_0(s)\,ds,$$

$$\varphi_2(x) = \int_a^b K(x, s)\varphi_1(s)\,ds, \ldots,$$

$$\varphi_n(x) = \int_a^b K(x, s)\varphi_{n-1}(s)\,ds.$$

Повторения ядра для И. у. Фредгольма определятся так:

$$\int_a^b K(x, s)\,K(s, y)\,dy = K^{(2)}(x, y),$$

$$\int_a^b K^{(2)}(x, s)\,K(s, y)\,dy = K^{(3)}(x, y), \ldots,$$

$$\int_a^b K^{(n-1)}(x, s)\,K(s, y)\,dy = K^{(n)}(x, y), \ldots$$

С этими новыми выражениями повторений резольвента $\Gamma(x, y; \lambda)$ выразится той же ф-лой (5), а решения ур-ия (6)—

$$\varphi(x) = f(x) + \lambda \int_a^b \Gamma(x, s; \lambda)f(s)\,ds. \qquad (7)$$

Но в И. у. Фредгольма встречается особенность: ряд (5) сходится только для значений λ, достаточно малых по модулю. Фредгольму удалось дать выражение резольвенты для всех значений λ в виде частного двух ф-ий, целых относительно λ:

$$\Gamma(x, y; \lambda) = \frac{D\left(\frac{x}{y}; \lambda\right)}{D(\lambda)}.$$

Для значений λ, не обращающих в нуль знаменатель, решение ур-ия (6) дается ф-лой (7); если же $D(\lambda)=0$ для $\lambda=c$, то уравнение (6) при произвольной ф-ии $f(x)$ вообще не имеет решения; зато имеет решение (одно или несколько), отличное от нуля, соответствующее однородное ур-ие:

$$\varphi(x) = c \int_a^b K(x, s)\varphi(s)\,ds. \qquad (8)$$

Эти значения c называются фундаментальными числами, а соответствующие им решения ур-ия (8)—фундаментальными функциями. Особенно интересный класс представляют И. у. с симметричным ядром, т. е. такие, где $K(x, y)=K(y, x)$. Здесь мы имеем следующие свойства: всякое симметричное ядро обладает хоть одним фундаментальным числом (собственным значением); все собственные значения $\lambda_1, \lambda_2, \ldots$ действительны; соответствующие им фундаментальные (собственные) ф-ии $\varphi_1(x), \varphi_2(x), \ldots$ можно выбрать так, что они образуют ортогональную систему в интервале (a, b), т. е.

$$\int_a^b \varphi_i(x)\,\varphi_k(x)\,dx = 0 \quad (i \neq k);$$

такова, наприм., система 1, cos x, cos $2x$,.., sin x, sin $2x$,... в интервале $(0; 2\pi)$.

Так как собственные функции определяются с точностью до постоянного множителя, то их можно предполагать нормированными, т. е.

$$\int_a^b [\varphi_i(x)]^2\, dx = 1.$$

Если симметричное ядро имеет только конечное число собственных значений, а собственные функции приведены к ортогональной и нормальной системе, то имеет место равенство:

$$K(x,y) = \frac{\varphi_1(x)\,\varphi_1(y)}{\lambda_1} + \frac{\varphi_2(x)\,\varphi_2(y)}{\lambda_2} + \cdots \qquad (9)$$

(нек-рые λ_i м. б. равны между собою). Равенство (9) имеет место и для случая бесконечного множества чисел λ_i при некоторых ограничениях, наложенных на ядро. При этих условиях резольвента имеет вид:

$$\Gamma(x,\ y;\ \lambda) = \sum \frac{\varphi_i(x)\,\varphi_i(y)}{\lambda_i - \lambda}\ .$$

Связь И. у. с дифференциальными уравнениями. Многие задачи математической физики (напр. колебание неоднородной струны с закрепленными концами) приводятся к решению дифференциального ур-ия 2-го порядка:

$$(pu')' - qu + \lambda u = 0\,, \qquad (10)$$

с граничными условиями: $u(a)=0$, $u(b)=0$; (p, q—ф-ии от x, $p>0$; λ—неизвестная постоянная). Ур-ие (10) приводится к И. у. типа Фредгольма с симметричным ядром. Для этого строим функцию Грина $G(x,\xi)$. Это есть решение дифференциального ур-ия $(pu')' - qu = 0$, удовлетворяющее граничным условиям, непрерывное между a и b; но 1-я производная по x имеет в точке ξ $(a<\xi<b)$ разрыв непрерывности:

$$\left[\frac{\partial G(x,\ \xi)}{\partial x}\right]_{x=\xi-0}^{x=\xi+0} = -\frac{1}{p(\xi)}.$$

Функция Грина удовлетворяет условию симметрии: $G(x,\ \xi) = G(\xi,\ x)$, и всякое решение ур-ия (10) удовлетворяет однородному И. у. (2-го рода):

$$u(x) = \lambda \int_a^b G(x,\ \xi)\, u(\xi)\, d\xi\ .$$

На основании изложенной теории, это И. у. имеет отличные от нуля решения лишь тогда, когда λ равно одному из собственных значений λ_i; соответственные решения $u(x) = \varphi_i(x)$ будут собственные ф-ии; они образуют ортогональную систему. Решение неоднородного дифференциального ур-ия

$$(pu')' - qu + \lambda u = \psi(x)$$

сводится к интегральному уравнению неоднородному:

$$u(x) = \lambda \int_a^b G(x,\ \xi)\, u(\xi)\, d\xi + g(x)\,,$$

где $g(x) = -\int_a^b G(x,\ \xi)\, \psi(\xi')\, d\xi$. Теория И. у. легко обобщается на случай, когда искомая функция зависит от нескольких аргументов, например, на уравнения Фредгольма:

$$\varphi(x,y) = \int_a^b \int_a^b K(x,y,\xi,\eta)\, \varphi(\xi,\eta)\, d\xi\, d\eta + f(x,y).$$

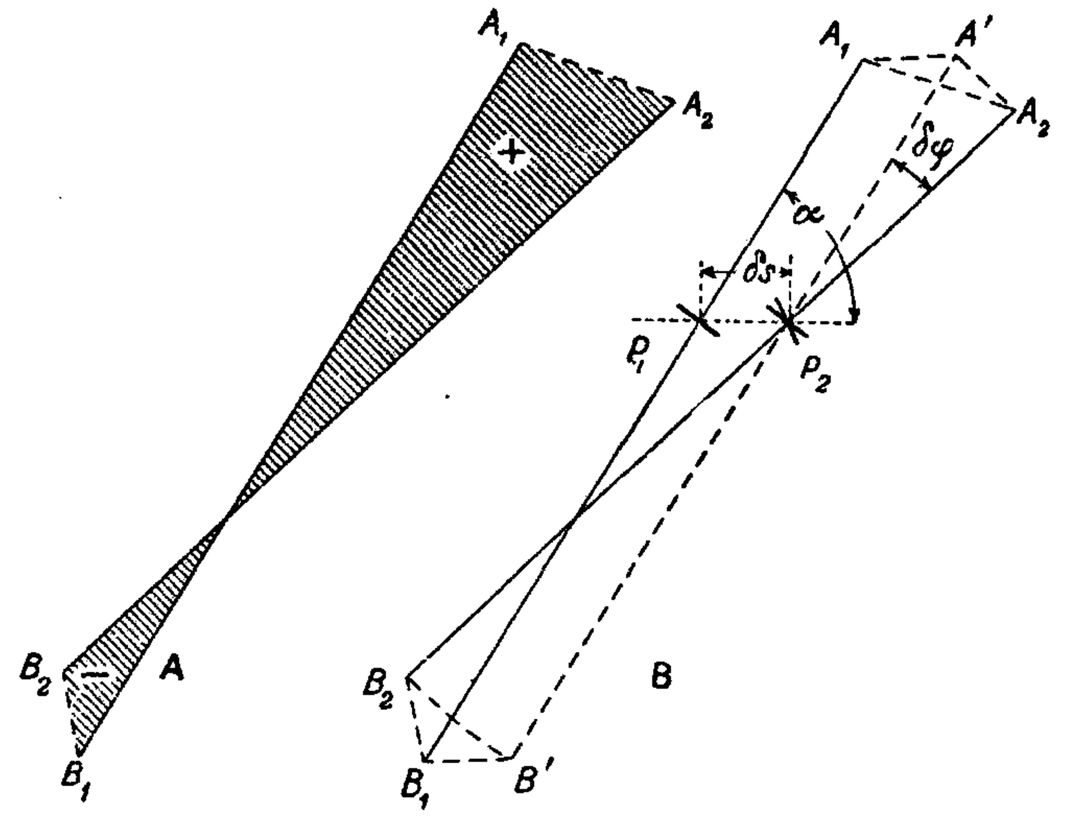
Эти ур-ия могут служить для решения проблемы Дирихле и Неймана (см. *Потенциал*) или, напр., задачи о плотности электричества на проводнике данной формы (задача Робена) и т. д.

Лит.: Белоновский П. Д., Интегральные уравнения и их роль в математическ. физике, Вятка, 1928; Courant R. u. Hilbert D., Methoden d. mathemat. Physik, B. 1, B., 1924; Kneser A., Integralgleichungen u. ihre Anwendung auf die mathemat. Physik, 2 Aufl., Brschw., 1922; Goursat E., Cours d'Analyse, 3 éd., t. 3, P., 1922. **В. Степанов.**

ИНТЕГРАТОРЫ, см. *Интегрирующие приборы.*

ИНТЕГРИРУЮЩИЕ ПРИБОРЫ, приборы, осуществляющие чисто механич. путем интегрирование нек-рой заданной обычно графически ф-ии. Двум задачам интегрального исчисления—нахождению определенного интеграла и нахождению интегральной кривой—соответствуют две группы интегрирующих приборов. К первой группе относятся: 1) планиметры, т. е. приборы, служащие для нахождения площади, ограниченной заданным контуром; 2) интеграторы, дающие значения определенных интегралов $\int_a^b f(x)\,dx$, $\int_a^b f^2(x)\,dx$, $\int_a^b f^3(x)\,dx$ для ф-ии $f(x)$, заданной графически, и 3) гармонические анализаторы (см. *Гармонический анализ*). Ко второй группе относятся интеграфы, т. е. приборы, вычерчивающие по заданному ур-ию $f\left(x, y, \frac{dy}{dx}, \ldots, \frac{d^n y}{dx^n}\right) = 0$ интегральную кривую $y=\varphi(x)$ и, в простейшем случае, по уравнению $\frac{dy}{dx} = F(x)$ — кривую $y = \int F(x)\,dx$.

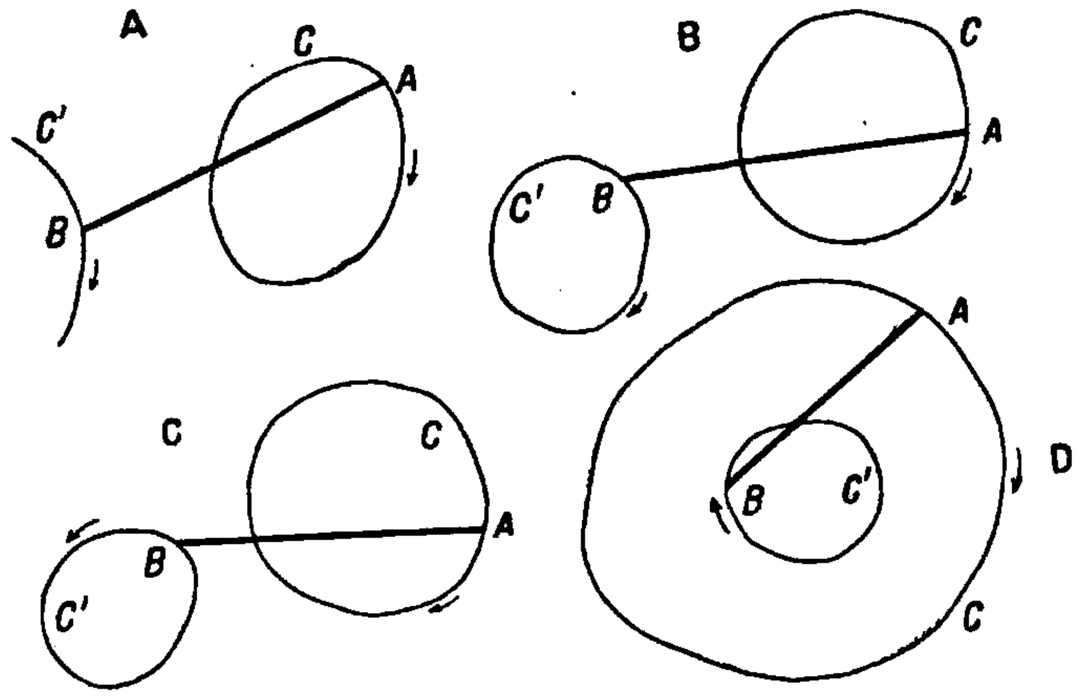
В основе конструкции большинства наиболее употребительных планиметров и интеграторов лежат следующие соображения. Пусть отрезок прямой BA скользит по плоскости; при своем движении он зачерчивает



Фиг. 1.

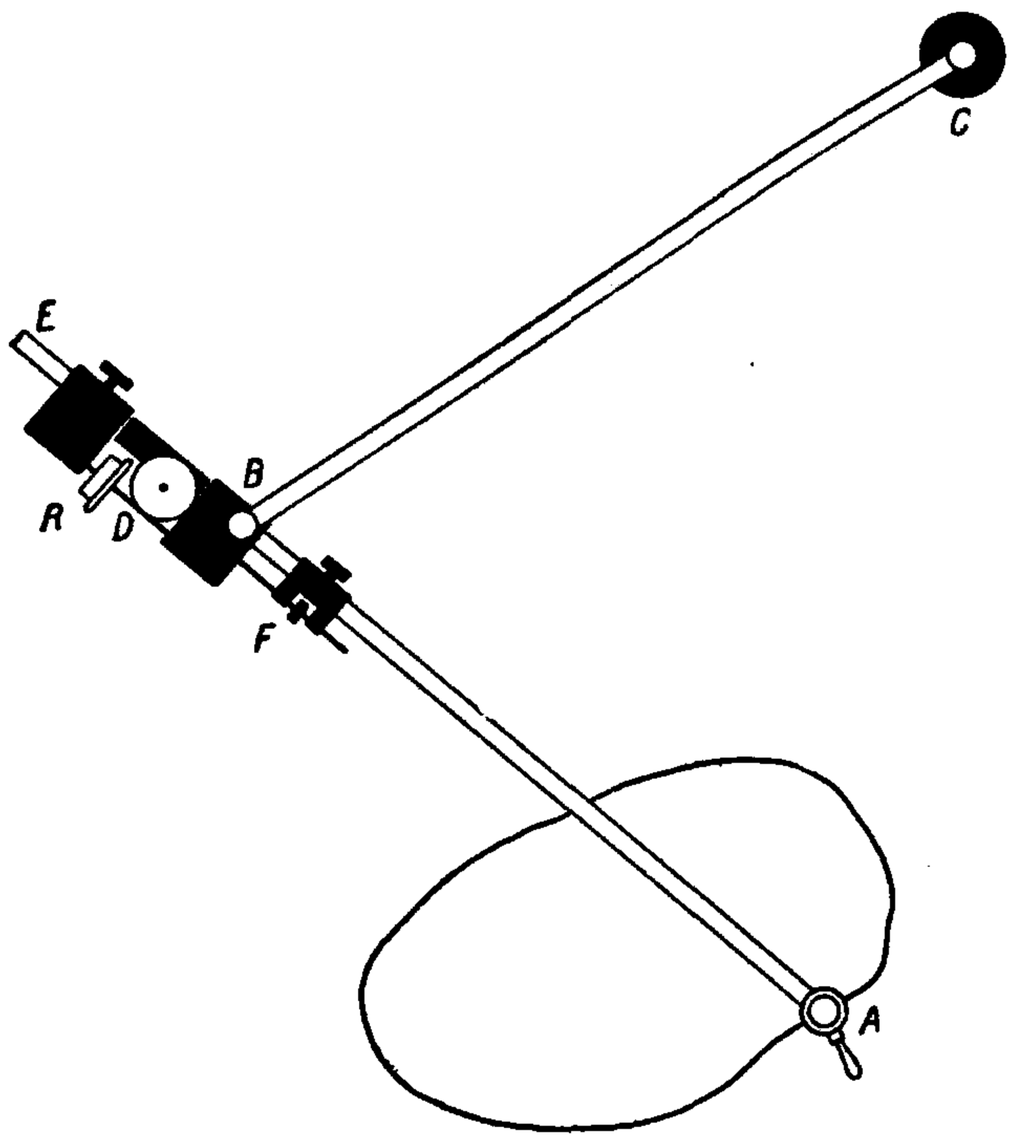
нек-рую площадь; условимся считать ее положительной, если для наблюдателя, смотрящего по направлению стрелки, она остается влево, и отрицательной, если она остается вправо от движущегося отрезка. Тогда вся площадь, зачерченная отрезком при

перемещении его из положения A_1B_1 в A_2B_2, выразится в виде суммы положительных и отрицательных площадей (фиг. 1, A). Как известно, элементарное перемещение в плоскости м. б. разложено на поступательное перемещение, определяемое перемещением произвольно выбранной точки P, и на вращение вокруг этой точки. Вообразим на нашем отрезке (фиг. 1, B) в точке P_1 колесико, имеющее своей осью отрезок BA и при его



Фиг. 2.

движении катящееся по плоскости. Из двух указанных выше элементарных движений только поступательное движение вызовет вращение колесика на угол $\delta\omega = \frac{\delta s \sin \alpha}{r}$, где δs—перемещение точки P_1, α—угол между этим перемещением и направлением отрезка и r—радиус колесика. Элементарная же площадь, зачерченная при этом перемещении, будет равна $l\,\delta s \sin\alpha + \frac{1}{2}\left(\frac{ml}{m+n}\right)^2 \delta\varphi - \frac{1}{2}\left(\frac{nl}{m+n}\right)^2 \delta\varphi$; здесь l—длина отрезка, $\frac{m}{n} = \frac{P_1A_1}{B_1P_1}$ и $\delta\varphi$—элементарный угол поворота отрезка. Последнее выражение можно представить в виде $lr\,\delta\omega + l\xi\,\delta\varphi$, где $\xi = \frac{1}{2}\,l\,\frac{m-n}{m+n}$—расстояние P_1 от середины отрезка. Обведем концом A_1

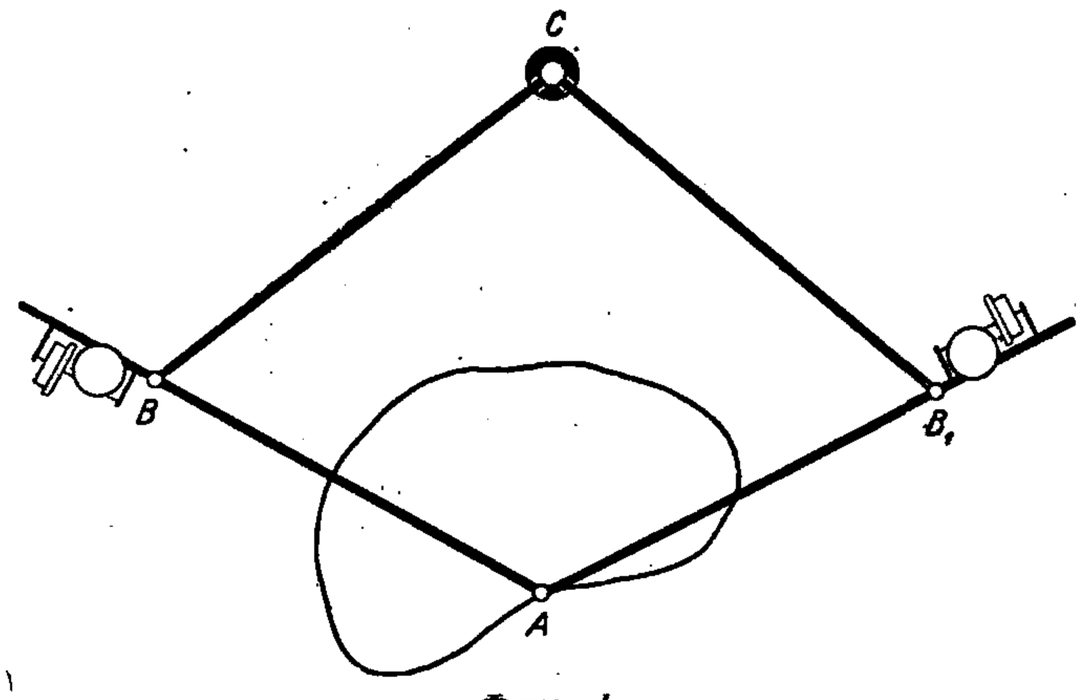


Фиг. 3.

отрезка контур, ограничивающий площадь, подлежащую определению, т. о., чтобы после этого отрезок B_1A_1 вернулся в свое исходное положение. Зачерченная площадь будет тогда равна $\Sigma\, lr\,\delta\omega + \Sigma\, l\xi\,\delta\varphi = lr\omega + l\xi\varphi$, где ω—угол поворота колесика вокруг его оси, а φ—угол поворота отрезка. Так как отрезок возвращается в свое исходное положение, то угол $\varphi = 0$ (фиг. 2, A, B, C) или $\varphi = 2\pi$ (фиг. 2, D). Обозначая через (C) и (C') площади, ограниченные контурами C и C', получим для четырех случаев, изображенных на фиг. 2, соответственно:

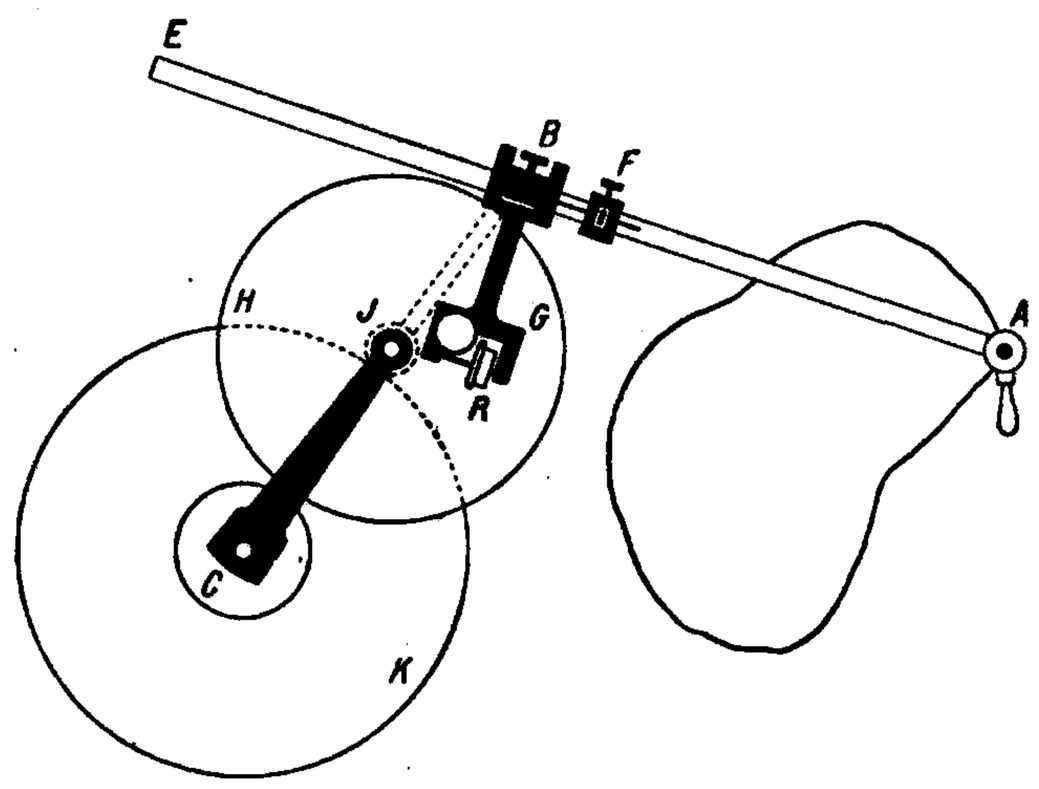
$$(C) = lr\omega;\quad (C) - (C') = lr\omega;$$
$$(C) + (C') = lr\omega;\quad (C) - (C') = lr\omega + 2\pi l\xi\,.$$

Полярный планиметр Амслера (фиг. 3) есть непосредственное применение изложенной теории. В нем точка B ведется



Фиг. 4.

по окружности круга с центром в C, и, в зависимости от размеров обмериваемой площади и расположения прибора, мы имеем или случай «A» или случай «D» (фиг. 2). Целое число оборотов колесика R отсчитывается на циферблате D, доли же оборота—на барабане, укрепленном на колесике. Длина $l = BA$ может изменяться передвижением стержня AE. Для малых передвижений служит микрометрический винт F. На планиметре, представленном на фиг. 3, ось колесика не совпадает с линией AB, но нетрудно видеть, что при параллельности линии AB отсчет по колесику от этого не изменится, если за точку P считать пересечение AB с плоскостью колесика. При непараллельности появляется систематическая

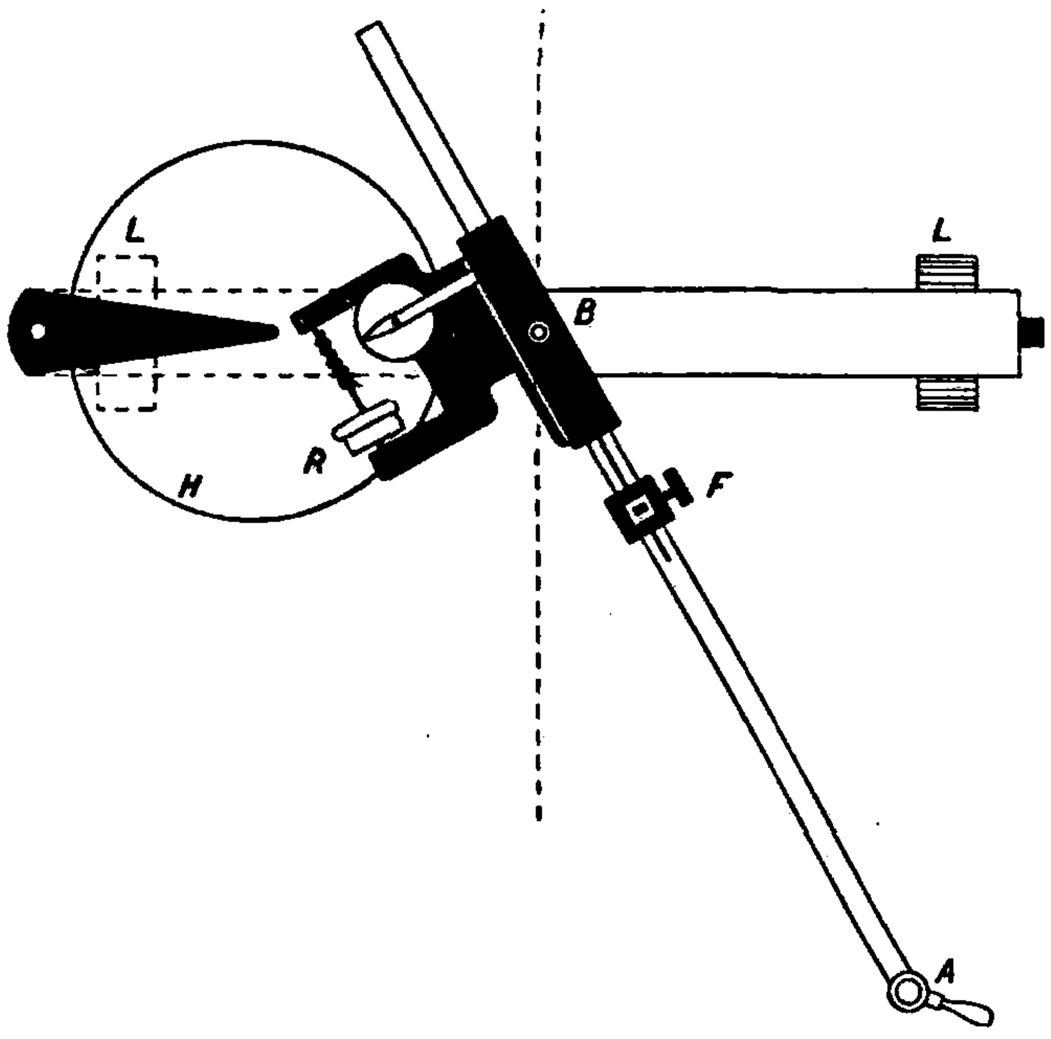


Фиг. 5.

ошибка прибора, для исключения которой рекомендуется обвести контур дважды при двух различных положениях прибора (фиг. 4) и брать полусумму отсчетов. Описанная конструкция представляет два неудобства:

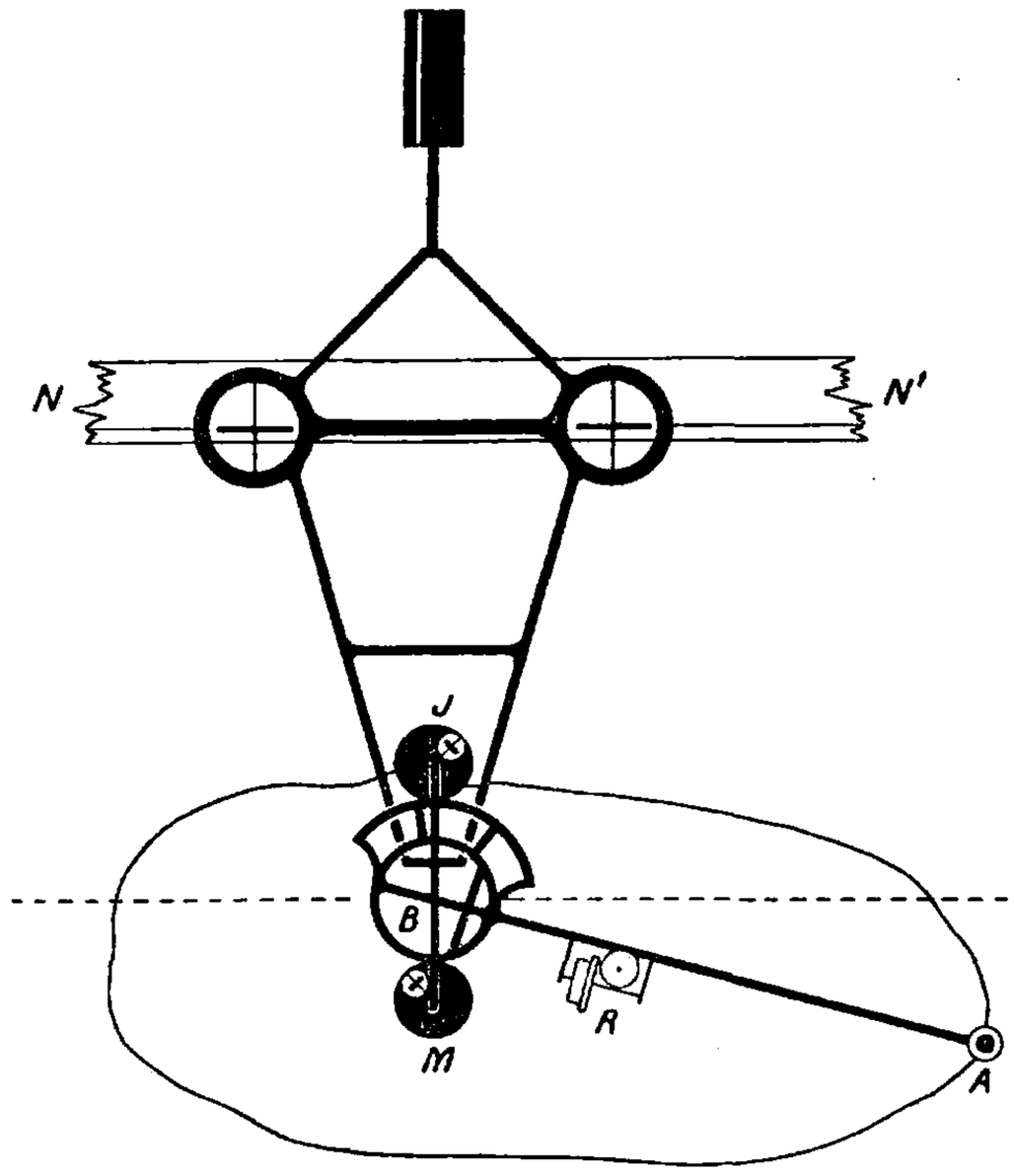
1) катание колесика непосредственно по чертежу не обеспечивает правильности его показания и 2) незначительность числа оборотов колесика увеличивает относительную ошибку отсчета. Оба недостатка устраняются в дисковом планиметре (фиг. 5), где колесико R, укрепленное на вилке G, катится по диску H; последний сцепляется шестерней J с неподвижной шайбой K. Вращение AE вокруг B не вызывает вращения колесика, так как плоскость обода проходит через ось B, вращение же BC вокруг C, дающее AE поступательное движение, сообщая вращение диску, вызывает вращение колесика R. Это вращение колесика находится в постоянном отношении к тому вращению, которое имело бы колесико, катясь по неподвижной плоскости.

Типом, переходным к приборам, к-рые мы называем интеграторами, являются планиметры Коради, где круговое движение точки B заменено прямолинейным



Фиг. 6.

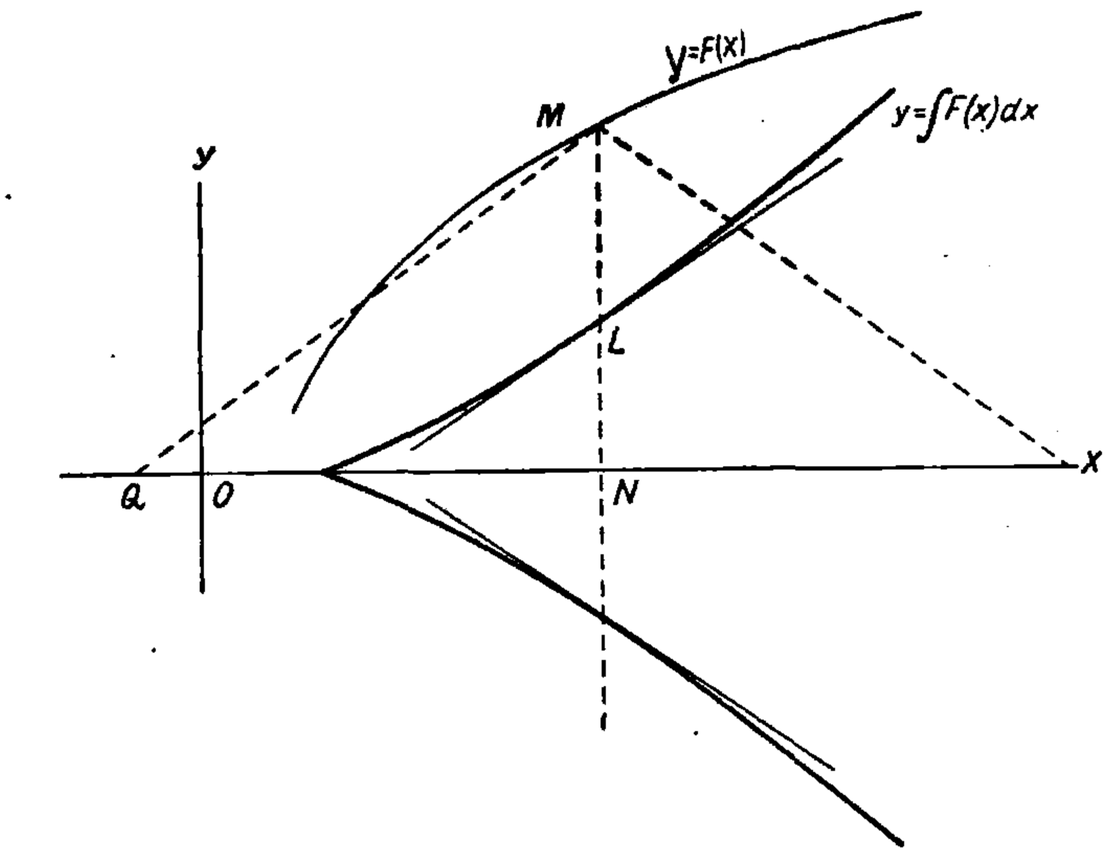
при помощи цилиндрич. роликов L (фиг. 6). Колесико R катится по диску H, угол поворота к-рого пропорционален поступательному перемещению прибора, а следовательно, и стержня AB. Поворот AB вокруг точки B не сообщает вращения колесику; в равной мере оно не получает вращения, когда AB имеет направление поступательного движения прибора. Интегратор Амслера (фиг. 7) есть тот же планиметр, но с прямолинейным движением точки B. Интерес представляют добавочные устройства, позволяющие находить интегралы вида $\int_a^b y^2\,dx$ и $\int_a^b y^3\,dx$, к которым приводится вычисление статических моментов и моментов инерции плоских фигур. Ведущая линейка NN' обеспечивает прямолинейное движение точки B. Отсчет по колесику R дает площадь обмериваемой фигуры. Со стержнем AB неизменно связано двойное зубчатое колесо с радиусами $3r$ и $2r$, сцепляющееся с двумя зубчатыми колесами M и J радиусов r, на которых имеются колесики, подобные колесику R. Можно показать, что отсчет по этим колесикам дает статический момент и момент инерции. Фирма Коради изготовляет



Фиг. 7.

также интеграторы Hele-Shaw, построенные по принципу, близкому к принципу, лежащему в основе анализатора Генричи (см. *Гармонический анализ*).

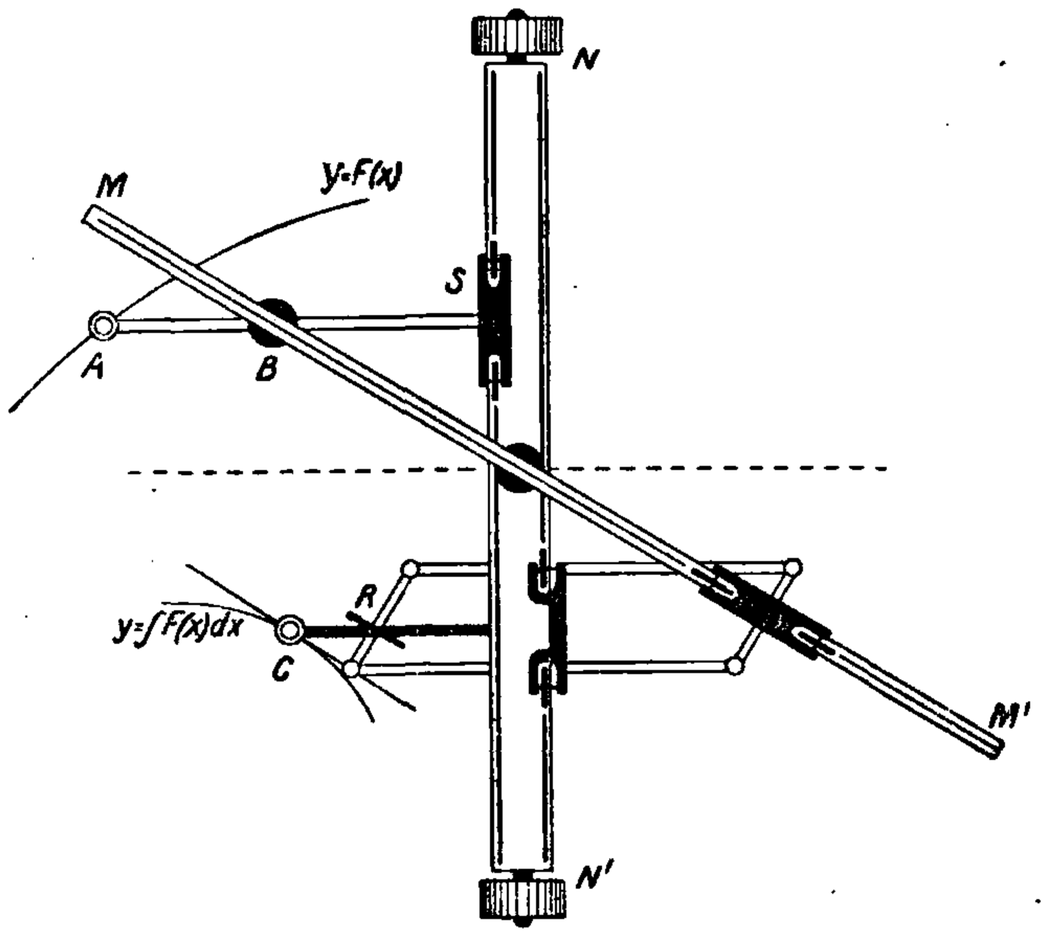
Интеграф Абданк-Абакановича есть наиболее известный прибор этого типа. Его устройство основано на свойстве колесика с острым краем при катании по плоскости двигаться так, что бесконечно малое перемещение его центра лежит в плоскости колесика. Пусть $Y=F(x)$—заданная кривая, а $y=\int F(x)\,dx=\Phi(x)$ — соответствующая интегральная кривая. Тогда, очевидно, угловой коэффициент $\frac{dy}{dx}$ интегральной кривой равен соответствующей ординате кривой $Y=F(x)$. Отсюда видно (фиг. 8), что, отложив $NQ=1$ и проведя QM, получим



Фиг. 8.

направление касательной к интегральной кривой в точке L. Перегнув чертеж около оси абсцисс, получим другое расположение интегральной кривой, соответствующее тому, которое на самом деле дает интеграф.

Устройство прибора видно из чертежа (фиг. 9). Точка A, имея два движения—по оси абсцисс вместе с линейкой NN' и по оси ординат вместе с тележкой S,—следит своим концом за кривой $Y=F(x)$. Линейка MM', проходящая через середину NN' и через точку B, лежащую от NN' в расстоянии, равном единице, очевидно, всегда будет сохранять направление, параллельное касательной к перевернутой интегральной кривой. При помощи шарнирного параллелограма, могущего тоже свободно перемещаться в направлении оси ординат, плоскость колесика R всегда удерживается



Фиг. 9.

параллельною линейке MM', т. е. параллельною той же касательной. Теперь ясно, что при обводе заданной кривой точкою A колесико R будет прочерчивать интегральную кривую (перевернутую); ту же кривую, но смещенную влево, вычертит карандаш, укрепленный в C.

Дальнейшим развитием этого прибора являются интеграфы для дифференциальных ур-ий. Е. Паскаль построил ряд приборов, среди к-рых имеются интеграфы для ур-ий:

$$a\frac{dy}{dx}+y=Q(x)$$

и

$$ab\frac{dy}{dx}+y^2=bQ(x)\,.$$

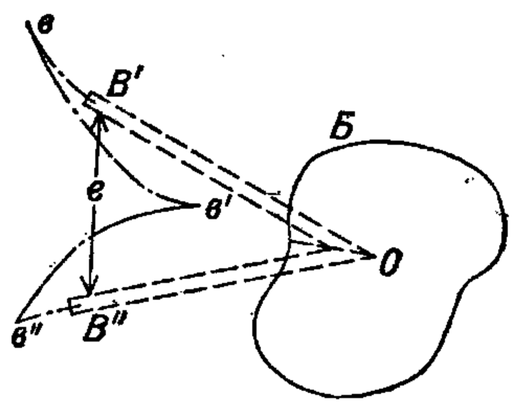
Академиком А. Н. Крыловым построена машина для интегрирования линейных уравнений любого порядка; но, кроме таких ур-ий, надлежащей комбинацией составляющих ее элементов можно при ее помощи интегрировать чрезвычайно широкий класс дифференциальных ур-ий и систем дифференциальных ур-ий.

Лит.: Крылов А. Н., Лекции о приближенных вычислениях, СПБ, 1911; Яковкин А., О секторном планиметре, «Известия Русск. астроном. об-ва», Л., 1924, вып. 25, *5—9*, стр. 17—19; Франк М. Л., Одна из возможных конструкций полярного интеграфа, «Записки Матем. кабин. Таврич. ун-та», Симферополь, 1919; его же, Об одной конструкции полярного интеграфа, «Труды Всерос. съезда математиков в Москве 27 апреля—4 мая 1927», Москва, 1928, стр. 189—190; Horsburgh E. M., Modern Instruments and Methods of Calculation, A Handbook of the Napier Tercentenary Exhibition, Edinburgh, 1914; Galle A., Neue Integraphen, «Zeitschrift für angew. Mathem. und Mechanik», Berlin, 1922, B. 2, p. 458—466; Morin H., Les appareils d'intégration, Paris, 1913; Pascal E., I miei integraphi, Napoli, 1914.

Н. Меликов.

Интересной системой планиметра является планиметр Притца, замечательный своей чрезвычайно простой конструкцией. Он состоит из изогнутого стального прутка a (фиг. 10), снабженного на одном конце острием $б$, а на другом—закругленным лезвием $в$, плоскость ребра которого проходит через острие $б$. Расстояние $бв=A$ является постоянной прибора. Для определения площади какой-либо фигуры $Б$ помещают острие планиметра в центре тяжести фигуры O (фиг. 11), затем отмечают положение B' лезвия $в$ («топорика») на бумаге и обводят контур, как обычно, возвращаясь опять в исходную точку O. В это время топорик вычертит на бумаге сложную кривую $B'вв'в''B''$. Измеряя расстояние e между начальным и конечным положениями топорика и помножая его на постоянную прибора A, получаем площадь фигуры: $F=A\cdot e$. Если ц. т. фигуры неизвестен, берем точку O приблизительно и, после одного обвода, перекладываем планиметр на 180°, а затем обводим фигуру в обратном направлении, принимая ту же точку O за исходную; полусумма обоих измерений даст истинную величину площади.

Фиг. 10.



Фиг. 11.

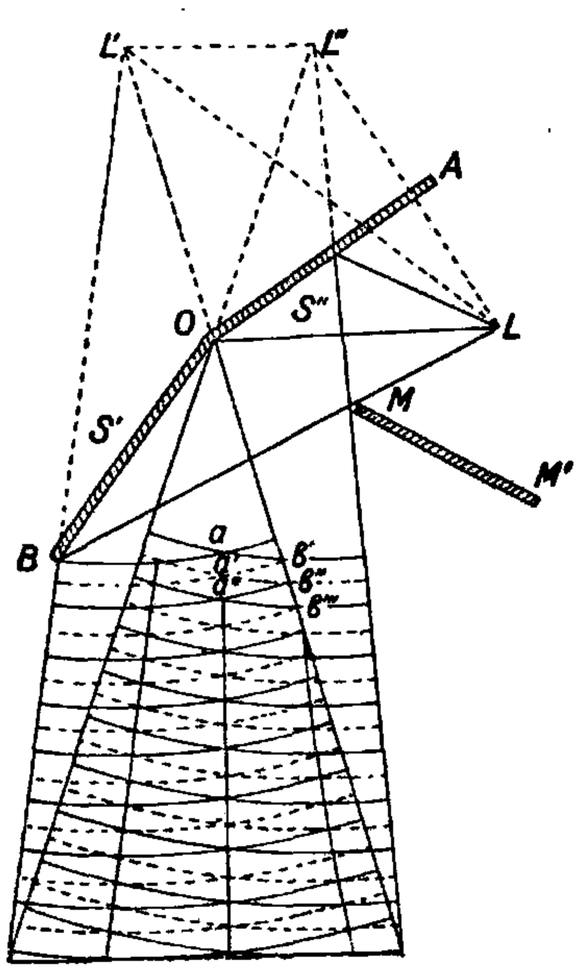
ИНТЕРПОЛИРОВАНИЕ, интерполяция, см. *Вычисления приближенные.*

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ, нарушение правила сложения интенсивностей (принципа суперпозиции) при встрече двух волн, разность хода к-рых во времени постоянна (см. *Волны*). В результате И. интенсивность в одних местах ослабляется, а в соседних соответственно возрастает. См. *Интерференция света.*

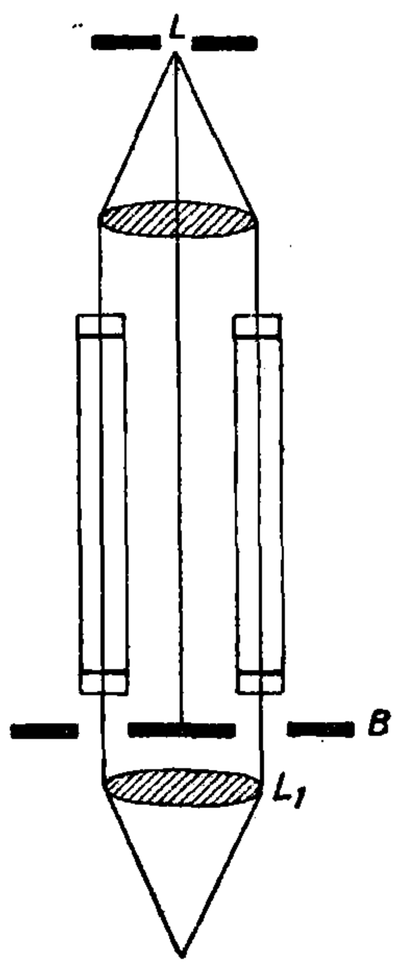
ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА, нарушение принципа сложения интенсивностей световых пучков. Два пучка, исходящие из двух разных светящихся точек, при встрече дают интенсивность, равную сумме интенсивностей каждого луча в отдельности. Наоборот, лучи, идущие от одной и той же светящейся точки, при встрече (достигаемой поворотом лучей зеркалами, призмами и т. д.) могут в данном месте совершенно погасить друг друга, в другой точке—дать интенсивность, вдвое превосходящую сумму интенсивностей обоих лучей вместе (если эти интенсивности равны), а в промежуточных местах — создать средние интенсивности. Лучи, которые способны интерферировать при встрече, т. е. нарушать принцип суперпозиции, называют когерентными.

Волновая теория света дает исчерпывающее объяснение И. с., смысл которого ясен из фиг. 1, поясняющей знаменитый интерференционный опыт Френеля с зеркалами. Два когерентных пучка в этом опыте получаются отражением света, идущего от точки L, от двух зеркал S' и S'', образующих угол, мало отличающийся от 180°. Т. о. создаются две фиктивные когерентные светящиеся точки L' и L''. Экран MM' служит для задержки прямого света. Поскольку

свет от обеих точек L' и L'' в сущности исходит из одной и той же точки L, постольку разность фаз волн, распространяющихся от L' и L'', будет постоянна во времени. Если в каком-нибудь месте поля И. с. две волны от L' и L'' встречаются в данный момент с противоположными фазами (как, например, в точках b', b'', b''' и т. д.), т. е. углубление одной волны совпадает с гребнем другой, то действие волн нейтрализуется, они гасят одна другую. Так как разность фаз в данной точке не зависит от времени, то здесь будет постоянная темнота. В других точках (например a, a', a'' и т. д.) волны сходятся с одинаковой фазой, амплитуды, складываясь, удваиваются, а интенсивность (пропорциональная квадрату суммарной амплитуды) учетверяется. Если перпендикулярно к распространению обоих пучков поставить белый экран, то



Фиг. 1.



Фиг. 2.

на экране появятся чередующиеся темные и светлые полосы. Темные полосы возникают там, где встречаются волны с противоположными фазами и где разность хода равняется нечетному числу полуволн. Светлые полосы соответствуют одинаковой фазе обеих волн, т. е. разности хода, равной целому числу волн.

Способы получения когерентных лучей м. б. разделены на 2 главные группы: 1) два пучка идут от одной светящейся точки по двум различным направлениям; такими когерентными лучами пользуются, например, в различных химико-технических интерферометрах, построенных по схеме интерферометра Релея (фиг. 2); свет от точки L проходит здесь через два отверстия в экране B и затем соединяется линзой L_1, интерферируя в месте соединения; 2) два пучка получаются разделением одного на отраженный и преломленный—такой способ применен в известном интерферометре Майкельсона и в других многочисленных приборах. Два луча, возникшие из одного, не будут, однако, интерферировать, если плоскости их поляризации взаимно перпендикулярны.

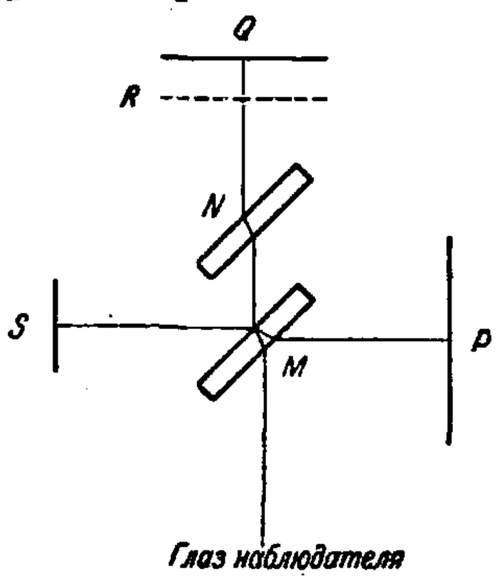
Явление И. с. наблюдается во всей области электромагнитного спектра, от радиотелеграфных волн до γ-лучей радия включительно. Следует отметить, однако, что с радиоволнами можно получить И. с. с лучами, исходящими от двух разных антенн (если разность фаз колебаний этих антенн поддерживается постоянной во времени), что и применяется в направленной радиотелеграфии. Излучение атомов и молекул происходит случайными импульсами, чередованием к-рых, фазами и поляризацией мы не умеем управлять; поэтому лучи, исходящие от двух разных атомов, не когерентны. И. с.—точнее, когерентность лучей, выходящих из одной светящейся точки, — является главным аргументом волновой теории света, т. к. никакая иная теория не в состоянии объяснить когерентности.

Разность фаз встречающихся волн, определяющая степень интенсивности данной точки поля И. с., зависит от разности хода встречающихся волн. Последняя определяется тремя факторами: 1) длиною волн, 2) длиною путей, пробегаемых волнами, и 3) показателем преломления среды. Если интерферирующий свет сложный, то разные цвета или волны дают разный результат: одни в данной точке усиливают друг друга, другие, наоборот, взаимно ослабляются. В итоге свет разлагается в спектр. На этом основано устройство интерференционных спектроскопов и измерение длин световых волн по И. с. Зависимость разности хода от показателя преломления среды дает наиболее чувствительный метод рефрактометрии. С наиболее совершенными рефрактометрами возможно измерение пятого десятичного знака в показателе преломления, а с помощью И. с. можно определить восьмой знак. Геометрическ. изменение разности хода на половину волны дает резкое изменение в картине И. с.: темная полоса превращается в светлую, т. е. темная полоса как бы перемещается на соседнее место. Это обстоятельство служит основой разнообразнейших применений И. с. для измерения длин. Явление т. н. стоячих волн (см. *Волны*) является частным случаем И., когда интерферируют когерентные пучки, идущие навстречу друг другу. Световые стоячие волны находят применение в липмановской цветной фотографии (см. *Фотография цветная*).

Лит.: Хвольсон О. Д., Курс физики, т. 2, Берлин, 1923; Майкельсон А., Световые волны и их применение, Одесса, 1912; его же, Исследования по оптике, М.—Л., 1929; Müller-Pouillet, Lehrbuch d. Physik und Meteorologie, B. 2, Brschw., 1926; Fabry Ch., Les applications des interférences lumineuses, P., 1923; Bouasse H. et Carrière Z., Interférences, P., 1923. **С. Вавилов.**

ИНТЕРФЕРОМЕТР, прибор, в к-ром явление интерференции применяется для тех или иных количественных измерений. В частности И. необходим в тех случаях, когда нужно произвести линейное измерение с высокой степенью точности. Достигаемая им точность при соблюдении необходимых предосторожностей и при хорошем постоянстве температурных условий равна одной сотой или даже нескольким тысячным долям μ. Название И. введено впервые америк. физиком Майкельсоном для сконструированного им прибора, посредством к-рого он надеялся обнаружить смещение мирового эфира, вызываемое движением земного шара, и к-рый он впоследствии с нек-рыми видоизменениями

применил для измерения прототипа международного метра в длинах световых волн. И. системы Майкельсона является классич. прибором, легшим в основу многих позднейших измерительных инструментов. Схема его изображена на фиг. Свет монохроматическ. источника S падает под углом в 45° на плоское полусеребренное зеркало M, от к-рого частично отражается в направлении MQ, частично же проходит сквозь него в направлении MP; P и Q—сплошные зеркала, которые отражают падающий на них свет в глаз наблюдателя. Наблюдатель воспринимает свет исходящим от зеркала Q и от плоскости R, являющейся мнимым изображением зеркала P в зеркале M. Плоскость R Майкельсон назвал «опорной плоскостью» (plan de référence). Очевидно, что между световым пучком, отраженным зеркалом P (а следовательно, и плоскостью R), и пучком, отраженным зеркалом Q, будет существовать некоторая разность хода, в результате чего в поле зрения будут наблюдаться светлые и темные интерференционные полосы. Зеркало Q снабжено установочными винтами, благодаря чему м. б. ориентировано в любом положении относительно плоскости R. Кроме того, оно может перемещаться поступательно в направлении MQ. Если применяется точечный (или в виде узкой щели) источник света и зеркало Q наклонено относительно плоскости R под углом в несколько секунд, то наблюдаемые интерференционные полосы являются т. н. «линиями одинаковой толщины», локализованными в плоскости R; если же источник света имеет конечные размеры и зеркало Q параллельно плоскости R, то полосы локализованы в бесконечности и являются «кольцами одинакового наклона». Изображенная на фигуре пластинка N, параллельная зеркалу M, является компенсатором для уничтожения добавочной разности хода между обоими интерферирующими пучками. Эта добавочная разность хода получается вследствие того, что пучок, отраженный от зеркала P, проходит сквозь толщу зеркала M два раза, в то время как пучок, отраженный зеркалом Q, проходит эту толщу только один раз. Чтобы эту разность хода можно было совершенно свести к нулю, обе зеркальные пластинки M и N делают из одного и того же куска стекла, чем и достигается их полная тождественность.

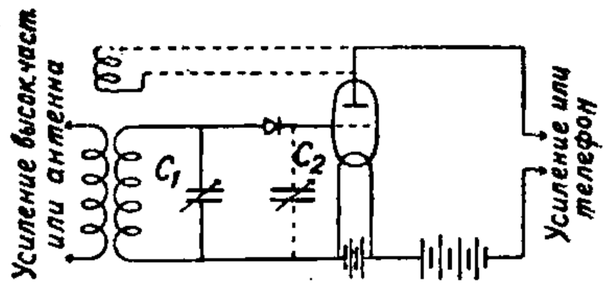


Область применения И. весьма разнообразна, однако, она м. б. разбита на три основные группы, а именно: 1) измерение длин волн, 2) измерение длин вообще и 3) исследование качества приборов и их деталей. К первой группе относятся измерения длин волн как сравнением с длиной прототипа метра, так и относительные сличения отдельных волн между собой. Сюда же относятся и измерения, связанные с изменением длины волны при переходе из одной преломляющей среды в другую (рефрактометрия), а также изучение структуры спектральных линий. Вторая группа охватывает всякие измерения длин и их отношений, как то: измерение длин концевых и штриховых мер, измерение коэфф. расширения, погрешностей винтов, упругих деформаций, углов и пр. Наконец, к третьей группе можно отнести исследование плоскостности и плоскопараллельности различных изделий, а также исследование оптич. свойств оптич. систем. Все вышеприведенные измерения производятся либо при помощи основной модели Майкельсона и ее вариантов либо при помощи других конструкций И., основанных на принципе интерференции света. Вообще в качестве И. может служить любая оптич. комбинация, позволяющая осуществить разность хода двух световых пучков. Часто И., в зависимости от его назначения, дают специальные названия, напр.: интерференциал-рефрактор, интерференцспектроскоп, интерференцкомпаратор, дилатометр и пр. В технич. практике находят гл. обр. применение: газовый И. для обнаружения рудничного газа, основанный на том принципе, что при изменении показателя преломления воздуха происходит смещение интерференционных полос, по величине которого можно судить о процентном содержании газа в атмосфере, интерференционный компаратор для измерения длины плоских калибров в длинах световых волн.

И., в к-ром интерференционная картина фотографируется при помощи специальной камеры, называют интерферографом (Саньяк).

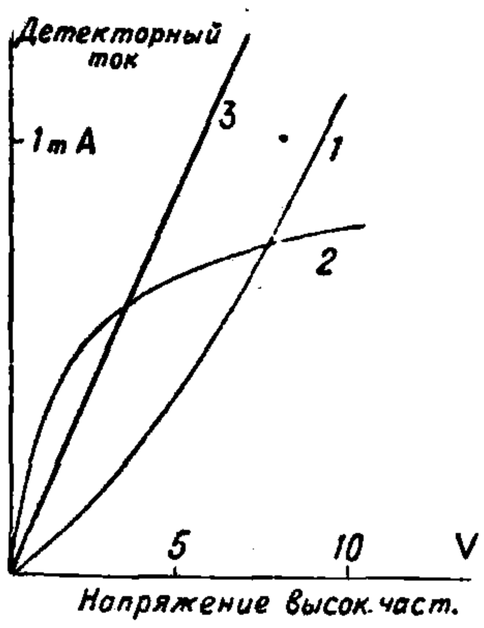
Лит.: Хвольсон О. Д., Курс физики, т. 2, Берлин, 1923; Guillaume Ch. Ed., La création du Bureau international des poids et mesures et son oeuvre, P., 1927; Pérard A., Études des raies spectrales en vue de leurs applications métrologiques, «Revue d'optique théorique et instrumentale», P., 1928, t. 7, *1*; Weigert F., Optische Methoden d. Chemie, Lpz., 1927; Berl E. u. Ranis L., Die Anwendung d. Interferometrie in Wissenschaft u. Technik, «Fortschritte d. Chemie, Physik u. physik. Chemie», B., 1928, B. 19, H. 17. **Г. Варлих.**

ИНТЕРФЛЕКСНЫЙ РАДИОПРИЕМ, метод приема радиосигналов, в к-ром детектирование совершается путем включения в цепь сетки лампы (работающей на прямолинейном участке характеристики) последовательно с пространством сетка—нить кристаллич. детектора (фиг. 1). Для улучшения эффекта приема, особенно на длинных волнах, параллельно пространству сетка—нить включают конденсатор C_2. Кристаллич. детектор в этой схеме относительно лампы действует как своего рода *гридлик* (см.); в то же время, очевидно, он действует и как детектор, отдавая напряжение на сопротивление и емкость пространства сетка—нить лампы. Для получения хороших результатов от схемы детектор должен иметь высокое сопротивление; этому условию удовлетворяют кристаллы перикон, гален и им аналогичные. Впервые для целей радиоприема (радиовещательного) эта схема предложена была в 1925 г. в Америке Г. Гернсбаком



Фиг. 1.

и названа им интерфлексной схемой, что буквально значит схема с «внутренним действием». Физическую сторону явлений, имеющих место в этой схеме, еще в 1924 г. исследовал француз Р. Дюбуа для случая с галеновым детектором. Дюбуа эту схему назвал «детектором гален-лампа». Результат его измерений показан на фиг. 2, где кривая *1* относится к случаю анодного детектирования, кривая *2* — сеточного детектирования (гридлик) и кривая *3* — детектирования методом гален-лампа. Из сравнения схем видно, что интерфлексная схема по чувствительности все же уступает детектированию методом гридлика, но превосходит анодное детектирование, сохраняя все положительные стороны последнего в отношении детектирования сильных сигналов.



Фиг. 2.

Лит.: Schöpflin O. u. Nesper E., Die Bauanweisung f. ein Vierröhren-Interflexempfänger, «Der Radio-Amateur», B., 1926, H. 25, p. 503; Dubois R., Étude expérimentale de quelques procédés de détection des oscillations de haute fréquence, «L'onde éléctrique», P., 1924, *31*, p. 347. **П. Куксенко.**

ИНУЛИН, углевод из группы полисахаридов $(C_6H_{10}O_5)_x$, служащий резервным веществом у нек-рых растений, главн. обр. из семейства сложноцветных; он скопляется в корнях цикория (15—18% И.), одуванчика (17,7%), девясила, в клубнях топинамбура (13%), георгины (11%). И. представляет белый порошок, легко растворимый в теплой воде (в холодной растворим трудно). Растворы И. коллоидальны, вращают поляризованный луч влево: $[\alpha]_D$ равно от −33 до −40°; обладают сладким вкусом, не окрашиваются иодом и не восстанавливают фелингову жидкость. При гидролизе И. дает фруктозу. Гидролиз И. происходит под действием фермента инулазы, содержащегося в земляной груше (топинамбуре) и в некоторых плесневых грибах. При таком гидролизе образуются промежуточные продукты—инулиды—вещества, аналогичные декстринам, но вращающие влево; такие инулиды (левулин, синантрин) часто сопровождают И. в растениях. Гидролиз И. действием кислот идет очень легко, значительно легче, чем гидролиз крахмала. Изучение продуктов ацетилирования инулина приводит к заключению, что элементарной молекулой И. является ангидротрифруктоза, т. е. $(C_6H_{10}O_5)_3$. Получают И. чаще всего из земляной груши, но можно брать и корни цикория. Из этих материалов И. извлекают горячей водой и полученный фильтрат вымораживают; выделившийся И. перекристаллизовывают из теплой воды ($t°$ не выше 70°). И. применяется для получения фруктозы и в медицине как питательный препарат для диабетиков. **Ф. Церевитинов.**

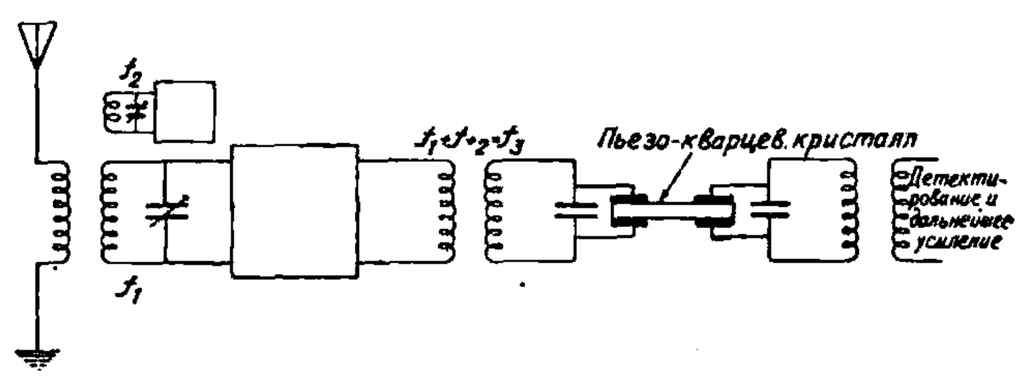
ИНФРАДИННЫЙ ПРИЕМ, метод приема сигналов по радио путем трансформации принимаемой частоты сигналов в частоту более высокую. Принцип И. п. совершенно аналогичен принципу *супергетеродинного приема* (см.), с той разницей, что при супергетеродинном приеме принимаемая частота трансформируется в более низкую частоту (в пределах радиочастоты). Т. о., в то время как в супергетеродине находит использование разностная частота *биений* (см.) от местного гетеродина и сигналов, в И. п. используется суммарная частота (см. *Гетеродинный прием*). Способ И. п. впервые был предложен в 1926 г. в Америке Е. М. Серджентом.

Основные преимущества И. п. 1) Высокая *избирательность* (см.) при простых методах ее получения. 2) Отсутствие двух настроек на принимаемую станцию, как это имеет место при супергетеродинном способе приема. 3) Возможность использования для приема длинных и средних волн чувствительных методов приема коротких волн (напр. суперрегенератора), хотя практически здесь имеют место ограничения. 4) При больших диапазонах приемника требуемый диапазон частот гетеродина, обусловливающего суммарную частоту биений, очень мал. Для n-кратного диапазона принимаемых волн требуется k-кратный диапазон гетеродина, определяемый из ур-ия

$$k = \frac{1 - \frac{f_1}{f_3}}{1 - n\frac{f_1}{f_3}},$$

где f_1—наивысшая принимаемая частота, а f_3—трансформированная частота (например при $f_1 = 30$ кц/ск., $f_3 = 10^3$ кц/ск. и $n = 10$, $k = 1{,}38$). 5) Возможность осуществления схемы приема на фильтр с пьезокварцевым кристаллом, настроенным на фиксированную частоту выше принимаемой.

Один из вариантов такой схемы (см. фиг.) был предложен проф. Мандельштамом и



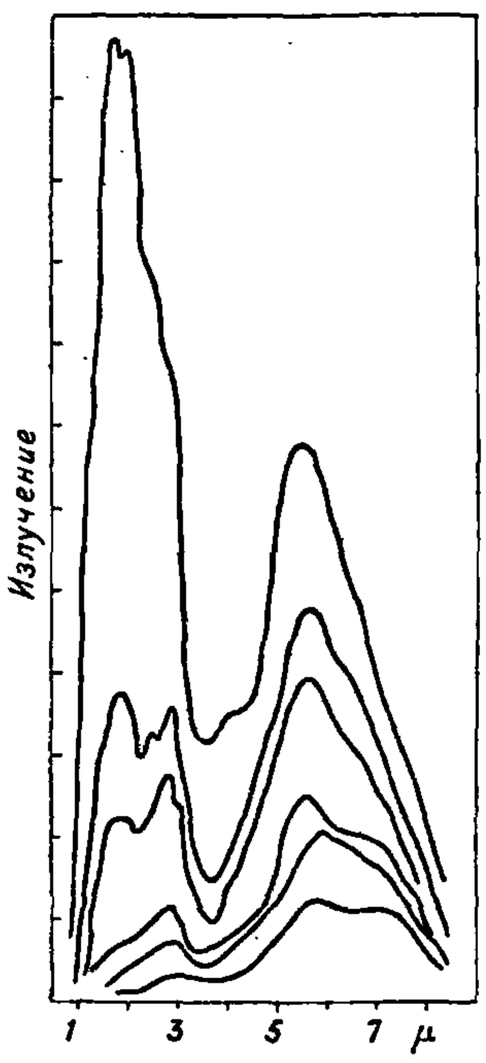
Папалекси и используется в приемных устройствах, изготовляемых Трестом заводов слабого тока. При декременте кварцевого кристалла $\delta = 0{,}0003$ (предельное возбуждение) полоса частот, пропускаемых таким фильтром, равна 27 пер/ск., предельная скорость приема на этот фильтр—60 слов в минуту. Таким обр., подобный кварцевый фильтр при И. п. обеспечивает избирательность, даваемую при других способах приема лишь тональными фильтрами. Один из основных недостатков подобного фильтра—невозможность изменять полосу пропускаемых частот для различных скоростей приема (см. *Быстродействующие радиопередача и радиоприем*).

Лит.: Green H., The Infradyne, «Radio-News», N. Y., 1926, v. 8, 4, p. 356. **П. Куксенко.**

ИНФРАКРАСНЫЕ ЛУЧИ, называемые также ультракрасными, или тепловыми, составляют часть спектра световой радиации, простирающуюся от красного конца видимого спектра в область длинных волн. Экспериментальному исследованию доступны по крайней мере 10 октав.

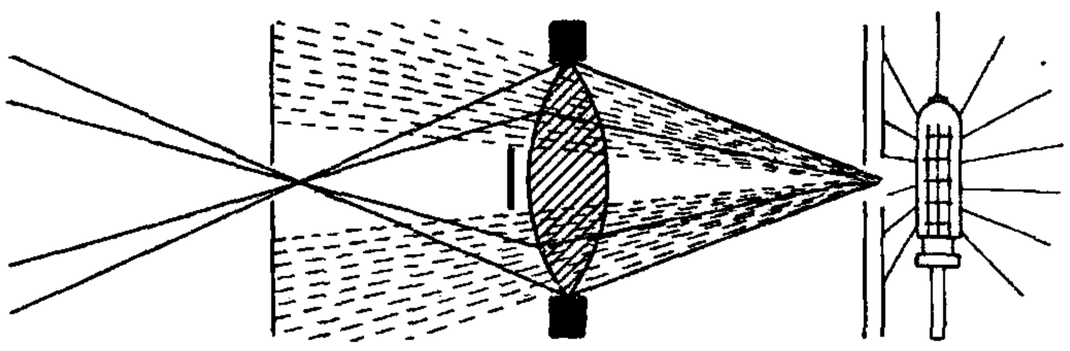
естественных И. л.—от 750 $m\mu$ до 300 μ. И. л. с наиболее длинными волнами удается воспроизвести искусственно при помощи электромагнитных вибраторов (Никольса и Тира, Глаголевой-Аркадьевой).

И с т о ч н и к и И. л. Радиация всякого нагретого тела сосредоточена гл. обр. в инфракрасной части спектра; поэтому мощными источниками И. л. служат обычные $t°$-ные излучатели (см. *Излучение*), напр. черное тело, лампы накаливания, вольтова дуга. Очень часто при исследовании И. л. пользуются ауеровской горелкой и штифтом Нёрнста, которые дают интенсивное селективное излучение в нек-рых частях инфракрасного спектра (ауеровский колпачок—в области $\lambda=18\ \mu$ и около 110 μ). На фиг. 1 даны кривые излучения штифта Нёрнста при разных мощностях, от 2 до 123 W, по измерениям Кобленца.



Фиг. 1.

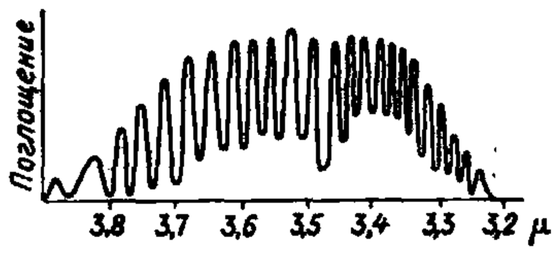
Для изоляции узких спектральных участков И. л. применяются следующие методы. 1) Разложение в спектр призмами и дифракционными решетками. 2) Метод остаточных лучей, в основе к-рого лежит факт избирательного отражения для лучей, очень сильно поглощающихся в данном веществе (псевдометаллич. отражение). Если сложный пучок И. л. отражается, напр., от кристалла KJ, то преимущественно отражаются лучи с $\lambda=96{,}5\ \mu$. Повторяя такое отражение несколько раз, можно получить весьма однородные остаточные лучи. 3) Хроматич. аберрация в линзах весьма удобна в нек-рых случаях. Напр., кварц в области $\lambda=110\ \mu$ пропускает И. л. и обладает большим показателем преломления, ок. 2,2. С другой стороны, И. л. с короткой λ преломляются весьма слабо. Поэтому, расположив диафрагмы и линзу как изображено на фиг. 2, можно выделить монохроматические лучи с $\lambda=110\ \mu$. 4) Светофильтры. Исследование


Фиг. 2.

спектров И. л. обнаружило большое количество различных твердых и жидких веществ, пригодных для выделения отдельных областей И. л. Тонкий слой асфальтового лака не пропускает, напр., видимого света, но прозрачен для широкой области И. л. Огромный материал в этом направлении имеется в работах Кобленца. 5) Излучение газами в разрядных трубках тонких спектральных линий (например, He дает линии 1 083,032 $m\mu$, 2 058,131 $m\mu$ и друг., Hg—линии 1 014,658 $m\mu$ и др.).

М е т о д ы и с с л е д о в а н и я и н ф р а к р а с н ы х л у ч е й. И. л. производят только ничтожные фотохимические и фотоэлектрические действия, притом лишь в области, ближайшей к видимому спектру (приблизительно не далее 1,5 μ). Обрабатывая фотографические пластинки различными красками-сенсибилизаторами (в особенности дицианином и неоцианином), можно при длительных экспозициях фотографировать И. л. примерно до 1,1 μ. Пластинка, несколько вуалированная предварительным действием слабых актинических лучей, девуалируется под действием И. л. Применяя в качестве сенсибилизаторов краски иодно-зеленую, малахито-зеленую и друг., можно фотографировать по методу девуалирования до 1,13 μ (Теренин).

И. л. действуют антагонистически на фосфоресценцию, вызываемую видимыми ультрафиолетовыми лучами,—фосфоресценция быстро «высвечивается» и затем тухнет в тех местах, где падали И. л. Это обстоятельство также применяется иногда для обнаружения ближайших И. л. Универсальными индикаторами И. л. служат, однако, только тепловые приборы, болометры, термоэлементы, радиометры и радиомикрометр. Интенсивность И. л. обычно настолько велика в сравнении с другими спектральными областями, что при помощи указанных приборов удается исследовать даже тонкую структуру инфракрасных спектров. Для разложения И. л. в спектр пользуются призмами из кварца (для области λ от 1,0 до 4,0 μ), флюорита (от 4,0 до 9,5 μ), каменной соли (от 9,5 до 14,5 μ), сильвина (от 14,5 до 23,0 μ) и отражательными



Фиг. 3.

диффракционными решетками. Вместо линз, в спектральных установках, во избежание хроматической аберрации, применяют вогнутые металлические зеркала.

С п е к т р ы и н ф р а к р а с н ы х л у ч е й. И. л. могут быть названы тепловыми, потому что в большинстве случаев они испускаются в результате тепловых вращательных и колебательных движений молекул. Если обратиться к наиболее простому с теоретич. точки зрения случаю поглощения или излучения газов, то инфракрасные спектры можно разделить на две области: далеких И. л. (примерно от 30 до 200 μ) и ближних (от 1 до 30 μ); первые соответствуют чистым вращательным движениям (ротационные спектры) и в простейшем случае двухатомных газов (например галоидоводородов) могут быть представлены следующей формулой:

$$\nu=\frac{mh}{4\pi^2 I},$$

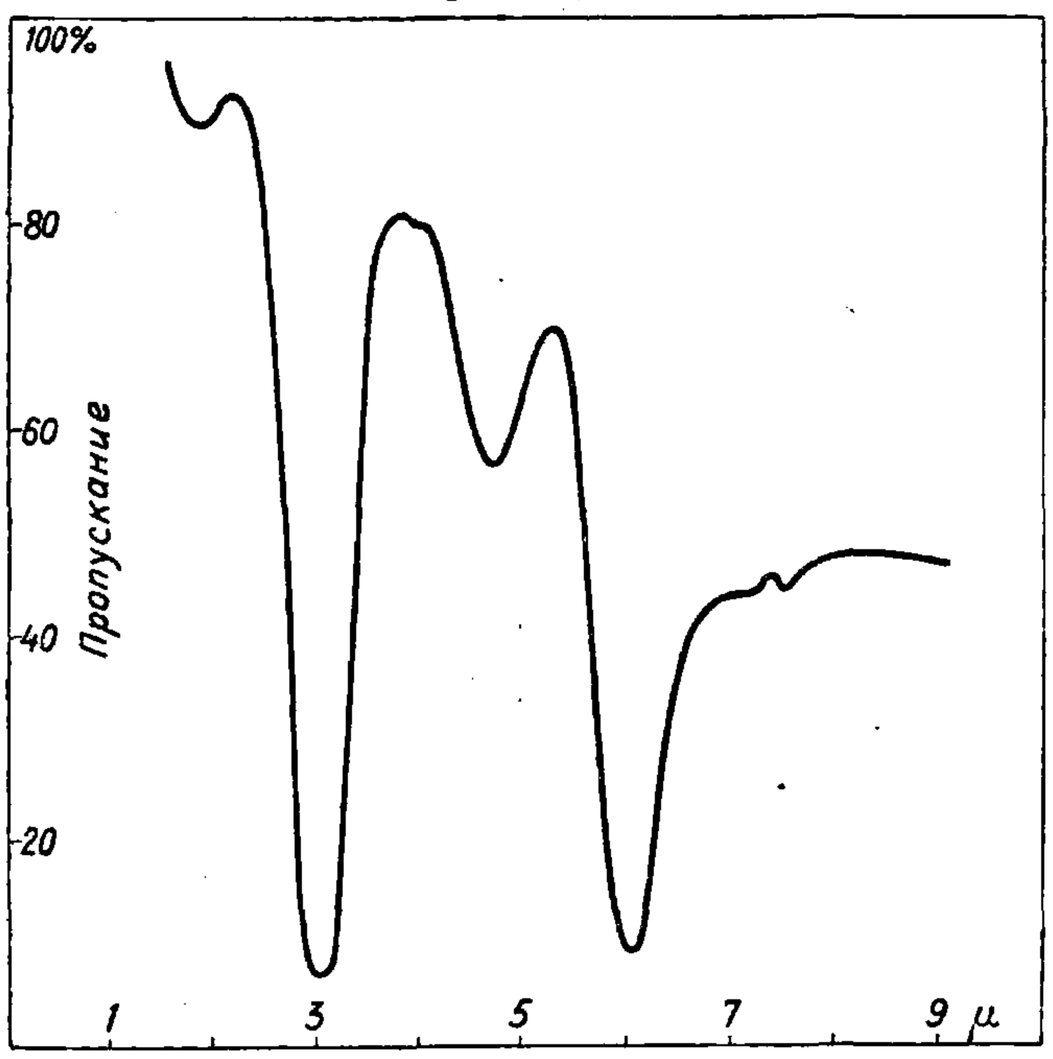
где ν—частота спектральной линии, h—постоянная Планка, m—целое число, I—момент инерции молекулы. Ближние И. л. соответствуют ротационно-вибрационному тепловому движению; их спектры в про-

стейшем случае выражаются формулой:

$$\nu = \frac{E_{n_1} - E_{n_2}}{h} + \frac{m_1^2 h - m_2^2 h}{8\pi^2 I},$$

где E_{n_1} и E_{n_2}—квантовые энергии двух колебательных состояний, между к-рыми происходит переход при поглощении или испускании линии, m_1 и m_2—целые числа, при чем $m_1 - m_2 = \pm 1$. Вид такого спектра для поглощения HCl представлен на фиг. 3.

Знание инфракрасных спектров газов представляет большой интерес для определения моментов инерции молекул, а следовательно, и их строения. Спектры поглощения в жидких и твердых телах более сложны



Фиг. 4.

и теоретически менее изучены; они служат, однако, важным эмпирическим средством для изучения строения молекул. На фиг. 4 представлена пропускаемость (в %) слоя воды толщиной в 0,05 *мм*.

Лит.: Теренин А., О фотографировании в инфракрасной области спектра, «Труды Гос. оптическ. института», Л., 1928, т. 4, вып. 37; Lecompte J., Le spectre infra-rouge, P., 1928; Rawlins F. J. and Taylor A. M., Infra-red Analysis of Molecular Structure, Cambridge, 1929; Coblenz W. W., Investigations of Infra-red Spectra, Wsh., 1905—08; Coblenz W. W., Emerson W. B. a. Long M. B., Spectroradiometric Investigations of the Transmission of Various Substances, «Bureau of Standards, Bull.», Wsh., 1923, *14*, p. 653; Gibson K. S., Spectral Filters, «Journal of the Optical Society of America», Ithaca, 1926, *13*, p. 267. **С. Вавилов.**

ИНФУЗОРНАЯ ЗЕМЛЯ, неправильное название диатомовой земли — диатомита—одной из разностей трепела.

ИОД, J, ат. вес 126,92, открыт в 1811 году Куртуа и изучен Деви и Гей-Люссаком. И. принадлежит к *галоидам* (см.), занимая место в 7-м ряду VII группы периодич. системы. По своему ат. в. И., согласно менделеевскому принципу классификации элементов, должен был бы стоять на месте теллура, отличающегося более высоким ат. в. (127,5). Однако, порядковый номер И. (53) выше порядкового номера теллура (52), что подтверждается при сравнении рентгеновских спектров обоих элементов (см. *Атомная теория*). Аномалия положения И. объясняется тем, что теллур состоит из смеси нескольких *изотопов* (см.), среди к-рых имеется изотоп с ат. в. 126 (меньшим, чем ат. в. И.). Твердый И. образует кристаллы черно-серого цвета с металлич. блеском, б. ч. в форме табличек или листочков ромбич. системы; И. может быть получен и в моноклинич. форме, стабильной только при $t°$ ниже 46,5°. Чистый И. плавится при 113,5° и в расплавленном состоянии обнаруживает электропроводимость; кипит при 184,3°, но уже при комнатной $t°$ обладает значительной летучестью. Пары И. фиолетового цвета с резким запахом, напоминающим запах Cl_2 и Br_2. Плотность паров И. соответствует удвоенному ат. весу. При $t°$ выше 600° происходит диссоциация: $J_2 \rightleftarrows 2J$, к-рая при 1 500° практически доходит до конца. Энергия диссоциации J_2 составляет 35,2 cal на *г*-моль. И. растворяется в ряде жидкостей, давая окрашенные растворы: жидкостям, содержащим кислород, он придает желто-бурый цвет (вода, спирт, эфир, глицерин), а жидкостям, не содержащим кислорода, фиолетовый (бензин, хлороформ, сероуглерод). Растворимость И. в воде сильно повышается от наличия иона И., с к-рым он дает комплексный ион: $J' + J_2 \rightleftarrows J_3'$. Особенно характерно непрочное соединение И. с растворами крахмала, отличающееся интенсивно синим цветом, вызываемым уже ничтожными количествами И. (0,3—0,4 *мг* на 1 *л* воды); это окрашивание служит для открытия И. Твердые крахмальные зерна также удерживают И. на своей поверхности. И. энергично адсорбируется углем, чем пользуются при определении адсорбционной способности угля.

И. дает соединения с металлами, образуя иодистые соли, а также с металлоидами: кислородом, хлором, бромом, фосфором и др. По химич. свойствам И. в значительной степени повторяет свойства хлора и брома, но проявляет меньшее сродство к металлам и большее—к кислороду. Вследствие этого И. из своих солей легко вытесняется хлором и бромом, а из кислородных, напр. из хлоратов и броматов, наоборот, И. вытесняет хлор и бром. Сродство к водороду настолько мало, что реакция присоединения водорода к И. имеет отрицательный термич. эффект, равный −0,9 Cal на 1 *г*-моль. Иодистый водород легко диссоциирует на И. и водород ($J_2 + H_2 \rightleftarrows 2\,HJ$), чем пользуются в ряде реакций восстановления при помощи иодистого водорода. Восстановление иода сернистым газом сполна протекает только при сильных разбавлениях, в концентрированных же растворах реакция значительно не доходит до конца. Сродство И. к водороду органических веществ очень невелико. Однако, И. легко присоединяется к ненасыщен. соединениям, что служит характеристикой, напр., ряда непредельных жирных к-т (иодное число). Несмотря на незначительное сродство к водороду И. действует разрушающе на многие растительные и животные ткани. Соединения И. с металлами имеют характер обычных солей, обнаруживающих при растворении сильную электролитич. диссоциацию. При электролизе растворов солей иодистоводородной кислоты И. всегда выделяется на аноде. Соединения И. с кислородом являются ангидридами к-т: иодноватистой HJO, иодноватой HJO_3, иодной HJO_4. Соединения И. с металлоидами выявляют нек-рые свойства металличности И., к-рые соответствуют его

высокому ат. весу. Так, например, треххлористый И., JCl_3, азотнокислый И., $J(NO_3)_3$, уксуснокислый И., $J(CH_3COO)_3$, и т. п. соответствуют слабому основанию $J(OH)_3$.

И. широко распространен в природе, однако, в ничтожн. концентрациях: в нек-рых горных породах он содержится в количестве от 100 до 8 850 *мг* (микрограмм) на 1 *кг*; в минералах содержание иода доходит до 38 000 *мг* на 1 *кг*; в воздухе (у земной поверхности) — от 0,1 до 0,8 *мг* на 1 $м^3$; в почве, в речной воде, в морях и океанах—десятки *мг* на 1 *л*. И. содержится в растительных и животных тканях и в питьевой воде. Нек-рые растения, напр. морские водоросли, содержат довольно значительное количество И.: в морской капусте (Laminaria japonica) у Японских о-вов содержится до 2,5 *г* И. на 1 *кг* сухой водоросли, а в нек-рых губках у греч. о-вов—до 14% от сухого веса. Много И. содержится и в яичном лецитине (600 *мг* на 1 *кг*) и в рыбьем жире (5—7 *мг* на 1 *кг*). В минералах И. встречается редко, в соединении с серебром, медью и ртутью (иодобромит, иодэмболит, иодаргирит, иодит, купроиодаргирит, кокцинит и др.).

Первыми источниками добывания И. были морские водоросли, из золы которых Куртуа и выделил впервые И. Но с открытием в Чили селитренных залежей и с обнаружением в них И. в виде иодатов главным сырьем для добывания И. сделались маточные растворы кристаллизации селитры. При мировой добыче в 1927 г. примерно в 1 100 000 *кг* И., 800 000 *кг* падает на И. из Чили, и только 300 000 *кг* на И. из других источников; из них 150 000 *кг* И.—из водорослей и 150 000 *кг* И.—из минеральных источников на о-ве Яве.

Добывание И. в Чили ведется т. о., что маточные растворы, в которых накопляется И. (до 6—12 *г* на *л*), сначала обрабатывают раствором бисульфита:

$$2\,NaJO_3 + 5\,NaHSO_3 = 3\,NaHSO_4 + 2\,Na_2SO_4 + H_2O + J_2$$

или же смесью сульфита и бисульфита:

$$2\,NaJO_3 + 3\,Na_2SO_3 + 2\,NaHSO_3 = 5\,Na_2SO_4 + H_2O + J_2;$$

обработка маточных растворов производится в деревянных освинцованных чанах, снабженных мешалками. Выпадающий И. отделяют от среды и отжимают в виде блоков (иодные «сыры»), содержащих 70—75% И. Бисульфит готовится на месте сжиганием серы и поглощением SO_2 содой, а сода—раскислением селитры углем по ур-ию:

$$4\,NaNO_3 + 5\,C = 2\,Na_2CO_3 + 2\,N_2 + 3\,CO_2.$$

Полученный сырой И. подвергают возгонке из больших свинцовых реторт, куда его загружают до 1 *т* в каждую. Приемниками служат длинные керамиковые трубы большого диаметра, составленные из отдельных звеньев, обмазанных в местах соединения глиною. Для получения чистого иода сырой продукт приходится сублимировать дважды, при чем для второй сублимации часто употребляют керамиковые чашки, прикрытые такими же чашками и обмазанные в месте соприкосновения глиной. Чашки помещают на паровую плиту и возгонку ведут очень медленно. На острове Яве И. добывают из вод минеральных источников; из концентрированных их растворов смесью медного купороса и восстановителя осаждают полуиодистую медь:

$$2\,NaJ + 2\,CuSO_4 + 2\,FeSO_4 = Na_2SO_4 + Fe_2(SO_4)_3 + 2\,CuJ$$

или

$$2\,NaJ + Na_2SO_3 + H_2O + 2\,CuSO_4 = Na_2SO_4 + 2\,NaHSO_4 + 2\,CuJ.$$

Эта полуиодистая медь и поступает на рынок. Из нее И. получают перегонкою с перекисью марганца и серной к-той:

$$2\,CuJ + 2\,MnO_2 + 4\,H_2SO_4 = 2\,CuSO_4 + 2\,MnSO_4 + 4\,H_2O + J_2$$

или же накаливанием полуиодистой меди с перекисью марганца:

$$2\,CuJ + 3\,MnO_2 = 2\,CuO + Mn_3O_4 + J_2.$$

Во Франции, Норвегии, Шотландии, а в последнее время и в Японии для добывания И. используются морские водоросли.

И. богаты виды Fucus (vesiculosus, nodosus, serratus, palmatus), а гл. обр. Lamina-riae (digitata, stenophylla, flexicaulis, saccharina и др.), затем виды Ulva (sinea, pavonia, umbicilabilis, lactuca и др.). В Черном море богата И. Philophora rubra. Зола иодсодержащих водорослей в Шотландии называется kelp, а во Франции (Нормандия)—varech. Обычно пользуются водорослями, выбрасываемыми во время волнения морем, но в Нормандии идет сбор водорослей и на скалах. Наиболее богаты И. водоросли, растущие на больших глубинах, при чем содержание И. колеблется в зависимости от времени года: в летние месяцы, июль и август, водоросли богаче И. Добывание И. из водорослей ведется следующим образом: собранные водоросли высушивают на воздухе и сжигают в длинных ямах-печах, построенных т. о., что образование пламени предотвращено, а происходит лишь тление — это обеспечивает меньшие потери от улетучивания И. Получающаяся зола имеет вид серо-зеленой, спекшейся плотной массы, содержащей обугленные остатки. Varech в среднем содержит 1,1—1,7%, а норвежская зола 0,4—1,2% иода. Спекшиеся куски золы грубо измельчают и подвергают в аппаратах Шанкса извлечению по принципу противотока, до исчерпания. Полученный раствор, содержащий 7—9 *г* И. на *л*, сгущают в железных чренах до концентрации 12—40 *г* на *л*, при чем выделяется хлористый калий и другие соли. В Шотландии концентрацию раствора доводят даже до 100 *г* на *л*. Полученный концентрат обрабатывают серной кислотой для разрушения карбонатов и полисульфитов и барботируют паром (пропускают тонкие струи пара из перфорированных трубок), для того чтобы вызвать коагуляцию коллоидальной серы и окончательно разложить сульфиты и гипосульфиты. Серу отделяют, раствор фильтруют и нагревают со смесью перекиси марганца и H_2SO_4 в чугунных котлах. Отгоняющийся вместе с водою И. собирают в особые глиняные приемники. Во Франции вместо отгонки часто применяют выделение И. при помощи $KClO_3$:

$$KClO_3 + 6\,KJ + 6\,HCl = 3\,J_2 + 7\,KCl + 3\,H_2O.$$

Т. к. реакция протекает медленно (несколько дней), то ее ускоряют пропусканием хлора. Выпавший И. отделяют и подвергают сублимации. Для получения И. из водорослей

пользуются также процессами брожения. Водоросли, сложенные в чанах, легко сбраживаются: при этом из них вытекает рассол, который собирают и перерабатывают на И.

Вопрос о производстве И. в России возник еще во время войны 1914—18 гг. Впервые производство было организовано Писаржевским и Аверкиевым в Екатеринославе из водорослей Черного моря—Philophora rubra; водоросли вылавливали в районе Одесса—Севастополь—Дунай, сжигали на берегу, а золу транспортировали в Екатеринослав. Экономически производство оказалось невыгодным вследствие высокой стоимости вылавливания (траления) водорослей из глубины, и добыча И. вскоре прекратилась. Содержание И. в золе черноморских водорослей, как показала экспедиция Аверкиева в 1927 г., не превосходит 0,5%. Другим источником И. были водоросли Белого моря: Laminaria saccharina, L. digitata, Fucus и др. В 1916 году в Архангельске был построен иодный з-д для переработки водорослей. Однако, з-д выпустил в 1920—1923 гг. только 132 *кг* И. и прекратил свою работу вследствие нерентабельности. Организовавшаяся кустарная артель на острове Жижгине, в центре заготовки золы (250 *км* от Архангельска), покупая золу у местных крестьян, сумела создать рентабельное производство. Выработка И. достигает 400 *кг* в год и м. б. значительно увеличена. Гораздо бо́льшие возможности получения И. из водорослей представляются на дальневосточном побережьи. В золе Laminaria (angustata, longissima, ochotensis, japonica и др.), к-рые выбрасываются океаном на берег в громадных количествах, содержится до 1% И. Построенный в 1916 г. в бухте Ченьювай з-д за 1916 и 1917 гг. дал свыше 1 000 *кг* иода. Большие возможности для организации иодного производства в СССР лежат в иодсодержащих водах нефтяных скважин Апшеронского полуо-ва. Две основные канавы, отводящие промысловые воды в море, Кишлинская и Романинская, ежегодно уносят свыше 450 000 *кг* И. Однако, малое содержание И. (12—24 *мг* на 1 *л*), щелочность и в особенности значительное содержание других солей и присутствие нефтяных к-т в этих водах в значительной мере усложняют процессы добывания И. В 1925 г. Химико-фармацевтич. ин-том ВСНХ был разработан способ поглощения И. из вод нефтяных источников посредством картофельного крахмала. Для проверки этого метода на озере Беюк-Шор в 10 *км* от Баку была построена опытная иодная станция, к-рая показала несомненную возможность добывания И. из нефтеносных вод. Однако, встретившиеся технич. затруднения не дали возможности развить опытную станцию в промышленное предприятие. Имеются сведения о нахождении И. возле Краснодара («Горячий ключ»), в озерах Сибири, в медно-серебряных рудах Дальне-Восточного края (Дарасунский завод ст. Шилка) и в ряде других местностей.

Колич. определение И. производится при помощи титрования гипосульфитом $Na_2S_2O_3$, с к-рым он реагирует по ур-ию:

$$J_2 + 2\,Na_2S_2O_3 = 2\,NaJ + Na_2S_4O_6;$$

конец титрования указывается индикаторной реакцией окрашивания крахмала или хлороформа.

Применяется И. гл. обр. в медицине—в виде растворов, солей или органич. соединений (см. *Иода соединения*), при получении некоторых иодированных красок (эритрозин, цианин, бенгальский розовый) и в качестве реагента в ряде реакций (получение иодистых алкилов).

Лит.: Магидсон О., К разрешению иодного вопроса, «ЖХП», 1927, *1*; Аверкиев Н., О добыче иода из водорослей Черного моря, «Хим.-фарм. журнал», М., 1928, *8*, *9*; его же, Исследование иодсодержащих водорослей морей СССР, «Хим.-фарм. вестник», Харьков, 1926, *3*, *4*; Иванов В. Е., Морская капуста и утилизация ее в условиях Дальне-Вост. края для производства иода, «Производит. силы Дальнего Востока», вып. 6, Хабаровск, 1927; Уразов Г. Г., Бакинские иодные озера, «Материалы по изучению естеств. производит. сил СССР», 1919, *28*; Константов С., К вопросу о добыче иода, брома и буры, «Поверхность и недра», П., 1916, *3*; Gmelin-Kraut, Handbuch d. anorgan. Chemie, B. 1, Abt. 2, p. 285, Heidelberg, 1909; Handbuch d. anorgan. Chemie, hrsg. v. R. Abbeg u. F. Auerbach, B. 4, Abt. 2, p. 340, Lpz., 1913; Hollard A., La fabrication de l'iode, «Revue générale de sciences», Paris, 1926, *23*; Fellenberg Th., Das Vorkommen, d. Kreislauf u. d. Stoffwechsel d. Jods, München, 1926; Scharer M., Chemie u. Biochemie d. Jods, Stuttgart., 1928.

О. Магидсон.

ИОДА СОЕДИНЕНИЯ. Неорганические соединения иода. К ним относятся: соединения иода с водородом и металлами, соединения с металлоидами и кислородные соединения иода (напр. к-ты).

Иодистый водород, HJ, бесцветный газ, дымящий на воздухе, сжижающийся при −36° и затвердевающий при −51°. Он легко растворяется в воде (при 10°—425:1) давая иодистоводородную кислоту (см. *Галоидоводородные кислоты*). HJ отличается непрочностью и уже на воздухе или в водных растворах в присутствии воздуха окисляется по уравнению:

$$2\,HJ + O = J_2 + H_2O.$$

HJ диссоциирует также и на свету; получается при медленном приливании взвеси 5 ч. красного фосфора в 10 ч. воды к смеси 100 ч. иода и 10 ч. воды. Можно получать HJ и каталитически, пропуская сухой водород с парами иода через нагретый платинированный асбест. От получающегося при этом избытка иода HJ освобождают сильным охлаждением. Иодистоводородная к-та получается также при пропускании тока сероводорода в воду, в к-рой находится иод, с последующей перегонкой к-ты. Для получения концентрирован. к-ты насыщают к-ту уд. в. 1,7 газообразным HJ. Иодистоводородная к-та образует ряд солей, из к-рых нек-рые отличаются очень малой растворимостью,—напр. соль серебра AgJ, легко образующаяся при смешении растворов иодистых солей с раствором азотнокислого серебра, в виде бледножелтого хлопьевидного осадка, нерастворимого в аммиаке. Растворимость иодистого серебра при 25° в 1 *л* воды = $2{,}4 \cdot 10^{-6}$ *г*. Мало растворимы также: полуиодистая медь Cu_2J_2 (0,25 *г* на 1 *л*), иодистая ртуть Hg_2J_2, иодистый свинец PbJ_2, иодистый таллий TlJ, иодистый палладий PdJ_2 и другие иодистые соединения тяжелых металлов.

Иодистый калий, KJ, был впервые получен Гей-Люссаком и Вокеленом (1814 г.) и вскоре после этого был введен в медицину как ценное лекарство. Он образует прекрас-

ные кристаллы кубическ. системы, прозрачные при медленном образовании из не очень крепких растворов и матовые—из щелочных горячих и сильно концентрированных растворов. KJ имеет резкий горьковато-соленый вкус. Уд. в. при 15° 3,07. При обыкновенной $t°$ KJ растворяется в воде (75% от его веса) с сильным поглощением тепла.

Растворимость KJ в 100 *г* воды.

Темп-ра .	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
Растворимость, *г*	127,9	136,1	144,2	152,3	160	168	176
Темп-ра .	70°	80°	90°	100°	110°	118,4°	—
Растворимость, *г*	184	192	201	209	218	222,6	—

В 90%-ном алкоголе KJ растворяется в отношении 1:12, плавится при 680°, хорошо растворяет иод, давая комплексное соединение KJ_3. Сухой KJ на воздухе устойчив, во влажном же состоянии и при действии света он разлагается и окрашивается в желтый цвет (от выделяющегося иода). Озон, перекись водорода, окислы азота и другие окислители выделяют из KJ свободный иод.

Получение KJ обычно ведется след. обр.

1) В деревянный или керамиковый сосуд загружают иод, маточные растворы от предыдущей работы и затем по частям мелкие железные стружки. Происходит довольно энергичная реакция образования иодисто-иодного железа:

$$3\,Fe + 4\,J_2 = Fe_3J_8.$$

Раствор полученного иодисто-иодного железа постепенно (при хорошем перемешивании) приливают к кипящему раствору поташа. При этом образуются иодистый калий и закись-окись железа:

$$Fe_3J_8 + 4\,K_2CO_3 = 8\,KJ + 4\,CO_2 + Fe_3O_4.$$

К концу реакции среда должна оставаться слабо щелочной. Затем прибавляют немного иодистого бария для осаждения могущего содержаться в поташе сульфата. После того как черный осадок железных окислов осядет, прозрачный раствор сливают через фильтр в котел с паровой рубашкой и здесь упаривают. Черный же осадок переносят на нуч и здесь промывают горячею водою, которая вместе с маточниками от кристаллизации идет для новой загрузки иода. Растворы KJ упаривают в котле до 66,5° Bé и спускают для кристаллизации в керамиковые чаши; для увеличения поверхности соприкосновения стенок с раствором, чаши делают ребристыми или подвешивают керамиковые шары. Чистые кристаллы отцеживают, промывают раствором чистого KJ и тщательно центрифугируют, затем они поступают на сушилку, где на эмалированных противнях их высушивают горячим воздухом при 130—140°.

2) Значительно менее распространен способ получения KJ путем растворения J в KOH, при чем происходит реакция образования иодистого и иодноватокислого калия:

$$6\,KOH + 3\,J_2 = 5\,KJ + KJO_3 + 3\,H_2O.$$

К раствору прибавляют измельченный чистый уголь, упаривают досуха и прокаливают остаток до сплавления; при этом уголь восстанавливает иодноватокалиевую соль до иодистой соли. Затем сплав растворяют в воде, отфильтровывают от нерастворенных частиц и упаривают до кристаллизации, как описано выше.

3) Для непосредственной переработки полуиодистой меди на KJ ее сплавляют с поташом при высокой темп-ре (900—1 000°). При этом получают KJ и окись меди. После растворения сплава нерастворимую окись меди отфильтровывают.

4) KJ получают также окислением иодом сернистого бария в водной среде:

$$BaS + J_2 = BaJ_2 + S.$$

Полученный иодистый барий осаждают сернокалиевой солью:

$$BaJ_2 + K_2SO_4 = 2\,KJ + BaSO_4.$$

Сернокислый барий отфильтровывают вместе с серою и раствор KJ подвергают упариванию и кристаллизации.

KJ применяется гл. обр. в медицине, а также в фотографич. производстве и в хим. лабораториях в качестве реактива. Количество производимого в СССР KJ вполне удовлетворяет потребности страны.

Иодистый натрий, NaJ, выкристаллизовывается при обыкновенной $t°$ в бесцветных моноклинич. кристаллах с 2 молекулами воды, а выше 40°—в безводных кубич. кристаллах; плавится при 664°; NaJ легко притягивает влагу, окрашиваясь в желтый цвет от выделяющегося иода; при 15° растворяется в 0,6 ч. воды или в 3 ч. 90%-ного спирта. Растворимость в абс. спирте при 22,5° 43:100, в метиловом спирте—77,7:100. В отличие от KJ, NaJ хорошо растворим в ацетоне. Иодистый натрий получается теми же методами, что и KJ, из соответствующих натриевых соединений и применяется для тех же целей, что и KJ.

Иодная ртуть, HgJ_2, существует в трех модификациях: красная, желтая и бесцветная. Самая устойчивая—красная, получающаяся обменным разложением водного раствора хлорной ртути с раствором иодистого калия:

$$HgCl_2 + 2\,KJ = HgJ_2 + 2\,KCl.$$

При этом HgJ_2, мало растворимая в воде, выпадает из растворов. Она плавится при 238°. При малой растворимости в воде HgJ_2 б. или м. хорошо растворяется в ряде органич. веществ (в алкоголе, метиловом спирте, жирах). *Желтая модификация получается* при выливании в воду спиртового раствора красной модификации. В медицине HgJ_2 применяется для изготовления мазей в виде растворов в иодистом калии. В фотографии HgJ_2 применяется в качестве усилителя. В растворе KJ иодная ртуть образует комплексное соединение K_2HgJ_4, к-рое применяется как реактив на алкалоиды, а при смешении со щелочью—как реактив на аммиак (несслеров реактив).

Иодистый цинк, ZnJ_2, желтые гигроскопич. кристаллы, плавящиеся при 446°; получают ZnJ_2 растворением цинковых стружек в воде с иодом и выпариванием получающегося раствора; применяется в меди-

цине как прижигающее; с крахмалом—в качестве реактива на окислители.

Иодистый аммоний, NH_4J, получается нейтрализацией иодистоводородной кислоты аммиаком в виде белых гигроскопич. кристаллов; применяется в медицине.

Иодистое железо, FeJ_2, получается растиранием железа с иодом и водою с последующим выпариванием фильтрата; представляет собою кристаллич. массу, плавящуюся при 177°. Из воды FeJ_2 выкристаллизовывается в зеленых кристаллах состава $FeJ_2 \cdot 4H_2O$; применяется в медицине.

Треххлористый иод, JCl_3, лимонно-желтые иглы или ромбические кристаллы с $t°_{пл.}$ 27°. JCl_3—сильно пахнущее вещество, получаемое прямым соединением Cl с J; применяется в растворе 1 : 1000 до 1 : 1500 как сильное дезинфицирующее средство.

Иодноватая кислота, HJO_3, получается окислением иода дымящей азотной к-той; представляет собой легко растворимые кристаллы; применяется при иодометрии.

Иодноватокалиевая соль, KJO_3, получается действием иода в кислой среде на хлорноватокалиевую соль при нагревании или же электролитическим окислением KJ на аноде; хорошо растворима в воде и нерастворима (в отличие от KJ) в спирте; плавится при 560°; применяется как реактив.

Органические соединения иода. Иод способен вступать в молекулу органич. веществ, но не с такой легкостью, как Cl или Br (см. *Галоидные алкилы*); только в немногие группы органич. соединений можно ввести иод непосредственно: так, фенол иодируется в присутствии щелочи, давая ди- и трииодфенолы. Анилин также легко дает иоданилины. Большое значение имеет иодэозин, тетраиодфлуоресцеин $C_{20}H_8J_4O_5$, получающийся действием иода на щелочные растворы флуоресцеина. Иодэозин является очень чувствительным индикатором при титровании слабых оснований. Иодирование парафенолсульфокислоты дает ценную группу дезинфицирующих веществ: так наз. созоиодоловую к-ту (дииодфенолосульфокислоту) и ее соли—натриевую, калиевую, ртутную и цинковую. На ароматич. углеводороды иод прямо не действует, и для получения их приходится прибегать к окольным путям. Так, напр., иодбензол получается из анилина через диазореакцию:

$$C_6H_5NH_2 \rightarrow C_6H_5 \cdot N_2 \cdot J \rightarrow C_6H_5J.$$

В органич. соединениях иод либо является одновалентным либо способен проявлять более высокую валентность и бывает 3- и даже 5-валентен. Так, иодбензол присоединяет хлор, образуя хлорид иодбензола $C_6H_5JCl_2$, в котором иод трехвалентен. При гидролизе этого хлорида образуется иодозобензол C_6H_5JO, имеющий характер органич. основания, способного давать соли, напр. уксуснокислую $C_6H_5 \cdot J(OCOCH_3)_2$ или упомянутый выше хлорид. Еще более сильными основаниями являются т. н. иодониевые соединения, в к-рых две валентности иода насыщены органич. радикалами, а третья—гидроксилом, напр. дифенилиодониевое основание $(C_6H_5)_2 \cdot J(OH)$, легко растворимое в воде, с сильно щелочной реакцией и образующее прочные соли, как, напр., иодистый дифенилиодоний $(C_6H_5)_2J \cdot J$. Наконец, существуют еще иодосоединения, в которых иод пятивалентен: иодобензол $C_6H_5JO_2$, образующийся из иодозобензола путем окисления. Иодосоединения уже не отличаются щелочным характером и представляют собою хорошо кристаллизующиеся вещества, легко разрушающиеся при нагревании.

Фармацевтические препараты иода. К ним относятся иодная настойка (тинктура) и целый ряд органических соединений иода.

Иодная настойка, 10%-ный раствор иода в крепком спирте, получается простым настаиванием иода в 95%-ном спирте в виде красно-бурой жидкости.

Иодвазоген, 10%-ный раствор иода в оксигенированном вазелине; применяется вместо иодной настойки.

Иодипин, продукт иодирования сезамового (кунжутного) масла; содержит от 10 до 25% иода; получается действием хлористого иода в присутствии алкоголя на сезамовое масло или же неполным насыщением масла газообразным иодоводородом.

Сайодин, $Ca(C_{22}H_{42}O_2J)_2$, кальциевая соль моноиодбегеновой кислоты; получается выделением из сурепного или жирного горчичного масла эруковой кислоты, обработкою ее хлористым иодом и превращением затем в кальциевую соль. Сайодин—белый порошок без вкуса и запаха, нерастворимый в воде; содержит 26% иода.

Иодиваль, моноиодизовалерилмочевина, $\begin{matrix}CH_3\\CH_3\end{matrix}\!\!>\!CH \cdot CHJ \cdot CO \cdot NH \cdot CO \cdot NH_2$, белый порошок, нерастворимый в воде, не резко плавящийся при 180°, слабо горьковатого вкуса. Содержит 47% J, получается действием иодистого калия на бромурал. Применяется вместо KJ.

Иодол, тетраиодпиррол, C_4J_4NH, получается иодированием пиррола в присутствии очень слабых оснований; светложелтый порошок, без запаха и вкуса, трудно растворимый в воде и легко растворимый в алкоголе: применяется аналогично *иодоформу* (см.).

Иодотирин, действующее вещество щитовидной железы, содержащее до 10% J. Иодотирин представляет собою соединение двух веществ: 1) белковой субстанции—тиреоглобулина и 2) иодированной аминокислоты, которая, по последним работам (Гаррингтон и Баргер), представляет собой дииодоксифениловый эфир дииодтирозина:

Продажный препарат иодотирина (тиреоидина) представляет собою высушенную и измельченную в порошок щитовидн. железу.

Лит.: Кравков Н. П., Основы фармакологии, ч. 2, стр. 276—284, 2 изд.. М.—Л., 1928; Handb. d. anorgan. Chemie, hrsg. v. R. Abbeg u. Fr. Auerbach, B. 4, Abt. 2, p. 403—524, Lpz., 1913. **О. Магидсон.**

ИОДНОЕ ЧИСЛО выражает количество иода (в процентах), к-рое связывается непредельными жирными к-тами и их глицеридами. И. ч. является одной из констант, характеризующих жиры и масла по содержанию в них ненасыщенных составных частей. Из различных методов определения И. ч. чаще всего применяется способ Гюбля,

принцип которого состоит в том, что хлорная ртуть со спиртовым раствором иода реагирует с образованием хлориода:

$$HgCl_2 + 2\,J_2 = HgJ_2 + 2\,JCl;$$

хлориод легко присоединяется к ненасыщенным соединениям по месту двойной связи.

Для определения И. ч. по Гюблю поступают следующим образом. В склянке с притертой пробкой растворяют от 0,5 до 1,0 *г* испытуемого вещества (в случае большого содержания непредельных соединений, например в высыхающих маслах, берут 0,15—0,20 *г*) в 10—15 *см*³ хлороформа или четыреххлористого углерода и из пипетки прибавляют 25 *см*³ иодного раствора, к-рый предварительно приготовляют, смешивая растворы из 25 *г* иода в 500 *см*³ 95%-ного спирта и из 30 *г* хлорной ртути в 500 *см*³ 95%-ного спирта. Если жидкость в течение 1—2 часов обесцветится, то это означает, что иода недостаточно, и тогда приливают еще 25 *см*³ иодного раствора. Смесь осторожно взбалтывают и оставляют в темноте при комнатной $t°$ на 12—24 ч., после чего к смеси приливают 300—400 *см*³ воды и 15—20 *см*³ 10%-ного раствора иодистого калия (для растворения иодистой ртути) и титруют раствором гипосульфита (24 *г* в 1 000 *см*³ воды) до слабожелтого цвета (титр гипосульфита устанавливают по раствору 3,847 *г* двухромовокислого калия в 1 000 *см*³ воды; 1 *см*³ этого раствора выделяет 0,01 *г* иода); затем к слабожелтой жидкости прибавляют крахмал и дотитровывают до исчезновения синей окраски. Одновременно с испытанием производят в тех же условиях с л е п о й опыт для установления количества иодного раствора, связанного не самим испытуемым веществом, а его растворителями. В слепом опыте титрование производится непосредственно перед или после титрования испытуемой пробы.

И. ч. $= 100\,\frac{(a-a')\,c}{b}$, где a и a' обозначают количества (в *см*³) раствора гипосульфита, израсходованного при титровании в испытуемой пробе и в слепом опыте, c—титр этого раствора по иоду, b—навеска жира.

Кроме способа Гюбля, существует ряд методов определения И. ч., из к-рых некоторые (метод Вийса, Винклера) позволяют совершать всю операцию значительно быстрее и не менее точно, чем по методу Гюбля. Вийс в качестве иодирующей жидкости применяет раствор иода и хлора, взятых в эквивалентных количествах, в уксусной кислоте. Винклер пользуется $^1/_5\,N$ раствором бромата калия, содержащим бромистый калий (40 *г* на 1 *л*). Определение И. ч. по этим методам производится аналогично методу Гюбля.

Иодное число естественных жиров и масел см. *Спр. ТЭ*, т. III.

Лит.: Л я л и н Л., Жиры и масла. Состав, свойства и технич. переработка, Л., 1925; М е у е г Н., Analyse u. Konstitutionsermittelung d. organ. Verbindungen, p. 1127, B., 1922. **С. Медведев.**

ИОДОМЕТРИЯ, метод объемного анализа (см. *Анализ химический*), служащий для количественного определения как свободного иода, так и всех тех веществ, к-рые прямым путем или через посредство промежуточных операций способны выделять свободный иод из его соединений. Выделившийся иод оттитровывают раствором гипосульфита, при чем происходит реакция согласно уравнению:

$$2\,Na_2S_2O_3 + J_2 = 2\,NaJ + Na_2S_4O_6.$$

В качестве индикатора к раствору иода незадолго до окончания титрования прибавляют немного крахмального клейстера или «растворимого крахмала», дающего с иодом синее окрашивание. Приливание гипосульфита из бюретки ведется до момента наступления обесцвечивания раствора, к-рое указывает на восстановление всего иода согласно вышеприведенному ур-ию. Особенно удобно применять иодометрич. метод анализа, пользуясь следующей реакцией:

$$KJO_3 + 5\,KJ + 6\,HCl = 6\,KCl + 6\,J + 3\,H_2O.$$

Количество выделяющегося иода строго соответствует количеству прибавляемой к-ты, вследствие чего указанной реакцией можно пользоваться для проверки титра гипосульфита, а также для ацидиметрического определения кислот.

И. принадлежит к наиболее точным методам аналитич. химии и имеет большое применение. Так, методом И. пользуются при количественном определении следующих веществ: свободных иода, хлора, брома и хлорноватистой к-ты; ионов иода и брома (в частности в минеральных водах); перекисей тяжелых металлов, двуокиси марганца, перманганата, теллуровой к-ты, окиси церия, ванадиевой и молибденовой к-т, хлоратов, иодатов и периодатов, хроматов, озона, перекиси водорода, железа, меди, сахара, мышьяковистой к-ты, трехокиси и пятиокиси сурьмы, сероводорода, сульфидов и сульфгидратов, сернистой и железистосинеродистоводородной кислот, формалина, фенола и др.

Лит.: Т р е д в е л л Ф. П., Курс аналитич. химии, т. 2—Количественный анализ, пер. с нем., М.—Л., 1927. **А. Баландин.**

ИОДОФОРМ, CHJ_3 — мелкие, блестящие, жирные на ощупь гексагональные таблички или пластинки лимонно-желтого цвета и сильного, навязчивого запаха с $t°_{пл.}$ 120° и уд. в. 4,008 (при 17°); И. обладает значительной летучестью уже при обыкновенной $t°$. И. мало растворим в воде (1: 5 000), растворяется в 50 ч. спирта, 5 ч. эфира, хорошо растворим в хлороформе, петролейном эфире, сероуглероде, эфирных и жирных маслах. Под влиянием света и воздуха разлагается с выделением иода. И. получается при действии щелочных растворов иода на этиловый спирт, ацетальдегид, уксусный эфир, ацетон, молочную к-ту, сахар, белки и другие органические соединения, содержащие группы $CH_3 \cdot CO \cdot C\equiv$ и $CH_3 \cdot CH(OH) \cdot C\equiv$. Этой реакцией пользуются для обнаружения этилового спирта и для количественного определения ацетона в метиловом спирте. С этиловым спиртом реакция идет по ур-ию:

$$CH_3 \cdot CH_2OH + 4\,J_2 + 6\,KOH = CHJ_3 + 5\,KJ + 5\,H_2O + H \cdot COOK;$$

с ацетоном—по уравнению:

$$CH_3 \cdot CO \cdot CH_3 + 3\,J_2 + 4\,KOH = CHJ_3 + 3\,KJ + CH_3 \cdot COOK + 3\,H_2O.$$

Обыкновенно для фабричного производства И. пользуются последней реакцией, при чем образующийся при этом иодистый калий обрабатывают раствором хлорноватистонатриевой соли, к-рая переводит его снова в иод,

так что, в конечном итоге, вся реакция может быть выражена следующим уравнением:

$$2\,CH_3\cdot CO\cdot CH_3 + 3\,J_2 + 2\,NaOH + 3\,NaOCl = 2\,CHJ_3 + 3\,NaCl + 2\,CH_3\cdot COONa + 3\,H_2O.$$

Для проведения этого процесса готовят щелочной раствор иода в керамиковом сосуде, в него вливают при хорошем перемешивании и охлаждении ацетон. Поддерживая все время низкую $t°$, приливают понемногу (при перемешивании) раствор хлорноватистонатриевой соли, имеющий приблизительно $\frac{2}{1}\,N$ концентрацию, приготовленный пропусканием хлора в охлажденный раствор едкого натра; при этом выпадает желтый порошок И., к-рый по окончании реакции отфильтровывают, промывают водою и высушивают. Для получения чистого препарата его еще подвергают кристаллизации из спирта. В практике большого фабричного производства И. применяется также и электрохимич. метод [1], заключающийся в том, что этиловый спирт сначала обрабатывают иодом в растворе углекислой щелочи, а получающийся после выпадения И. раствор подвергают электрохимическому окислению на аноде с перемешиванием при помощи тока углекислоты; при этом происходит полное использование иода.

И. легко восстанавливается в иодистый метилен напр. мышьяковистой к-той

$$AsO_3''' + 2\,CHJ_3 + H_2O = AsO_4''' + 2\,CH_2J_2 + 2\,J' + H^{\cdot}$$

или же действием цинковой пыли и щелочи.

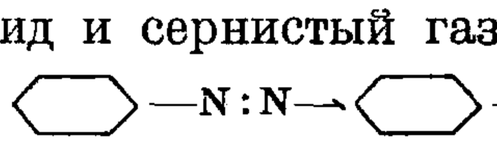
И. имеет большое применение в медицине, употребляется как наружное при заживлении ран. Чрезвычайно неприятный запах И. побудил заменить его препаратами, в к-рых И. не имеет этого недостатка. К ним относятся: белковое соединение И.—иодоформоген; соединение с гексаметилентетрамином—иодоформин; соединение иодоформина с иодистым этилом—иодоформаль и др. (дииодоформ, аристол, виоформ, лоретин).

Лит.: [1]) «Ch. Ztg», Cöthen, 1925, p. 18.—Кравков Н. П., Основы фармакологии, ч. 2, 2 изд., М.—Л., 1928.

О. Магидсон.

ИОНАМИНЫ, красители для искусственного ацетатного шелка, открыты в 1923 г. А. Грином. И. являются легко растворимыми препаратами аминоазокрасителей, именно ω-метилсульфонатриевыми солями аминоазокрасителей простейшего строения:

И. легко омыляются, распадаясь при этом на окрашенный аминоазокраситель, формальдегид и сернистый газ:



На этом свойстве основано применение И. в крашении ацетатного шелка, к-рый пропитывают ионаминами, и затем подвергают И. на волокне омылению. При этом на волокне остается лишь фиксированный окрашенный аминоазокраситель.

И. получаются обычным для *азокрасителей* (см.) методом азо-сочетания диазониевой соли с ω-сульфометиламином. Применение И. не нашло широкого распространения в виду того, что и свободные аминоазокрасители хорошо адсорбируются из их суспензий ацетатным шелком, вследствие чего они выпущены в продажу под названием азонинов различных марок, более дешевых, чем И.

Лит.: Green A., «Journ. of the Society of Dyers a. Colorists», Bradford, 1923, *1*, p. 39.

И. Иоффе.

ИОНИЗАЦИЯ, процесс распада электрически нейтральной молекулы на (+) и (−) заряженные части, называемые ионами. Нормальными ионами являются: 1) отрицательно заряженные электроны, 2) атомы, несущие на себе свободные (+) или (−) заряды, 3) атомные группы, или молекулярные остатки с соответственными зарядами. Облекаясь сольватными оболочками в растворах или осаждаясь на пылинках в газах, нормальные ионы обращаются в так назыв. медленные ионы (или ионы Ланжевена); масса таких ионов может в тысячи раз превосходить нормальную массу. Заряд иона всегда является кратным от элементарного электрического заряда $= 4{,}774\times10^{-10}$ электростатических единиц (см. *Электрон*); поэтому говорят об однократно-, двукратно-, трехкратно- и т. д. ионизованных атомах. Причины, вызывающие И., могут быть разделены на три группы: 1) поглощение света, 2) удары электронов, атомов или молекул (ударная И.) и 3) химич. причины.

Если энергия поглощенного кванта (см. *Кванты*) света $h\nu$ достаточна для переноса поглощающего электрона в предельное возможное для атома стационарное состояние (предельную орбиту), то происходит вылет электрона за пределы атома, т. е. фотоэлектрич. эффект; иными словами, происходит И. Если частота поглощенного света недостаточно велика, то электрон в атоме только переходит в другое стационарное состояние (возбуждение атома). Таким образом, И. при поглощении света возможна только начиная с определенной предельной частоты ν_0 или длины волны λ_0; эффективным ионизатором в газах является только радиация с достаточно большой частотой (ультрафиолетовые, рентгеновские, γ-лучи). При поглощении света молекулами может произойти не только вылет электрона, но и распад молекулы на атомы или молекулярные ионы. Экспериментально это впервые было доказано А. Н. Терениным в случае освещения паров галоидных солей ультрафиолетовым светом.

Ударная И., или И. толчком, подчиняется по существу тому же закону, как и И. светом; она осуществима только начиная с определенного предельного значения $\frac{mv_0^2}{2}$ кинетической энергии ударяющего ионизатора (m—масса, v_0—предельная скорость). До тех пор пока это значение не достигнуто, ударяющий электрон, ион, атом или молекула могут только «возбуждать» ударяемую молекулу или упруго отражаться от нее. Предельная частота ν_0 при ионизации светом и предельная скорость v_0 при ударной ионизации связаны соотношением:

$$h\nu_0 = \frac{mv_0^2}{2},$$

где h—постоянная Планка.

Ударная И. имеет основное значение при электрическом разряде в газах (а также и в твердых телах—см. *Диэлектрики*). При ускоряющемся в электрич. поле движении элек-

троны (или вообще ионы) приобретают наконец (при достаточном напряжении) скорость, нужную для И., и при ударе расщепляют встречные молекулы на ионы; последние в свою очередь, разгоняясь в электрич. поле, становятся ионизаторами, и т. д. Для достижения ударной И. нужен нек-рый минимальный потенциал V_0, называемый ионизационным потенциалом и связанный с v_0 и ν_0 соотношением:

$$eV_0 = \frac{mv_0^2}{2} = h\nu_0,$$

где e—заряд иона. Механизм диссоциации молекул на ионы в растворах (см. *Диссоциация электролитическая*), так же как И. при различных химич. процессах, теоретически еще недостаточно выяснен.

Ионы, к-рые возникают в газе под влиянием какого-либо ионизатора, в случае прекращения его действия быстро исчезают, что объясняется соединением положительных и отрицательных частей молекул, разрушенных действием ионизатора. Это явление называется воссоединением, или рекомбинацией, а также молизацией ионов.

С формальной стороны ионы можно рассматривать как некоторую примесь к газу, отличную от него по ее свойствам; поэтому по отношению к ионам вводится понятие о концентрации (n), или числе ионов в 1 $см^3$. Точно так же вводится понятие о диффузии ионов, определяемой по аналогии с диффузией газов. Поток диффузии ионов, т. е. количество ионов, проходящих в единицу времени через 1 $см^2$ поверхности в направлении x, нормальном к ней, определяется ур-ием:

$$Q = B\frac{dn}{dx},$$

где n—концентрация ионов и B—коэфф-т диффузии газов.

Находясь в электрическом поле, ионы движутся в направлении силовых линий соответственно своему знаку. Скорость, к-рую развивают ионы при движении в поле с напряжением, равным единице, называется подвижностью (u) ионов. Измерения подвижностей и коэфф-тов диффузии ионов дают возможность сделать выводы о свойствах и природе ионов. Подвижность отрицательных нормальных ионов несколько больше подвижности положительных. Так, для ионов, образующихся в воздухе, как среднее можно принять

$$u^* = 1{,}35\ см/сек : V/см,$$
$$u' = 1{,}83\ см/сек : V/см.$$

Чрезвычайно малая подвижность ионов и, соответственно этому, малый коэффициент диффузии заставляют предполагать, что вокруг иона образуется группа молекул, которые удерживаются его зарядом и движутся вместе с ионами,—это т. н. кучевая теория образования ионов. Другие авторы объясняют те же факты увеличением внутреннего трения, которое испытывает ион в газе вследствие электростатич. действия его заряда на молекулы газа. При очень больших напряженностях полей (ок. 10 000 V/$см$) подвижность ионов сильно возрастает.

Что касается рекомбинации ионов, то число ионов, воссоединяющихся в единицу времени, зависит от числа столкновений ионов того или другого знака, т. е. пропорционально произведению концентраций ионов обоих знаков. Допуская, что концентрация положительных и отрицательных знаков одинакова (n), имеем:

$$\frac{dn}{dt} = -\acute{\alpha}n^2,$$

где α—положительная величина, называемая коэфф-том рекомбинации, или воссоединения. Из этого ур-ия путем интегрирования находим:

$$n = \frac{n_0}{1 + n_0 \alpha t},$$

где n_0—значение концентрации в начальный момент времени ($t=0$). Из этой ф-лы видно, что в газе после прекращения действия ионизатора убывание числа ионов идет по гиперболическому закону. Определение числового значения α в среднем приводит к числу $\alpha = 1{,}5 \times 10^{-6}$ электростатич. единиц. Коэффициент α зависит от примесей в газе; он уменьшается при уменьшении давления газа и при повышении темп-ры.

Лит.: Эйхенвальд А. А., Электричество, 5 изд., М.—Л., 1928; Семенов Н. Н., Электронные явления, Л., 1928; Thomson J. J., Conduction of Electricity through Gases, Cambridge, 1928; Townsend J. S., The Theory of Ionization of Gases by Collision, L., 1910; Townsend J. S., Electricity in Gases, Oxford, 1914; Franck J. u. Jordan P., Anregung v. Quantensprüngen durch Stösse, Berlin, 1926; Bloch L., Ionisation et résonance des gas et des vapeurs, P., 1925.

К. Яковлев.

Ионизация атмосферного воздуха. Изолированный проводник, экспонированный в атмосфере, постепенно теряет свой заряд, в чем можно убедиться, наблюдая спадение соединенного с ним электроскопа. Это явление приводит к заключению о нек-рой электропроводности атмосферы—свойству, которым она обязана присутствию в ней положительных и отрицательных ионов.

В атмосфере обнаружены ионы различной массы и подвижности; наиболее изучены обыкновенные, или малые, ионы. Ионизаторами атмосферы являются α-, β- и γ-лучи радия, тория, актиния и их производных, находящихся в почве, в водах, в атмосфере, а также ультрафиолетовые лучи солнца, проникающая радиация и некоторые другие факторы. Около 64% И. обусловливается действием радиоактивных веществ, находящихся в почве: измерения радиоактивности почвенного воздуха показали, что он в несколько раз богаче ионами, чем воздух атмосферы. И. почвенного воздуха имеет суточный и годовой ход (maximum—летом и днем, minimum—зимой и ночью), а также зависимость от метеорологич. условий—эти явления обусловливаются интенсивностью транспирации воздуха в почве. В большей или меньшей степени радиоактивными являются все породы земной коры. В среднем граниты содержат $3{,}46 \times 10^{-12}$ Ra и $1{,}17 \times 10^{-15}$ Th на 1 $г$ породы, осадочные породы—$0{,}9 \times 10^{-12}$ Ra и $0{,}05 \times 10^{-15}$ Th, океанические воды—от 3,4 до $0{,}9 \times 10^{-14}$ Ra на 1 $см^3$. Те же ионизующие элементы были найдены в различных и меняющихся количествах в атмосферном воздухе. Заряженная и изолированная проволока, экспонированная в

атмосфере, всегда получает известную активность. Исследования атмосферы обнаруживают эманации Ra, Th, Ac, при чем в среднем Ra : Th = 13 : 1.

Ионы, получаемые в атмосфере в результате действия ионизаторов, не однородны по своей массе и подвижности. Различают гл. образом обыкновенные (легкие) и тяжелые ионы, получающиеся оседанием электрич. зарядов на частицах пыли, молекулах водяного пара и т. п. Режим ионосодержания в атмосфере м. б. выражен ур-ием:

$$q = an^2 + bN^2 + cN_1n + dNn\,, \qquad (1)$$

где q—число малых положительных или отрицательных ионов, образующихся в 1 $см^3$ в секунду; n, N и N_1—числа малых и тяжелых ионов и нейтральных ядер в 1 $см^3$; a, b, c и d—некоторые постоянные. Отдельные слагаемые правой части последовательно представляют собою числа ионов, теряемых 1 $см^3$ от молизации малых и тяжелых ионов, от перехода малых ионов в тяжелые и от оседания ионов на нейтральных ядрах. Теоретич. подсчет ф-лы (1) дает q равным от 5 до 12 ионов в 1 $см^3$ в ск. С другой стороны, радиации почвы, вод, атмосферного воздуха и других ионизаторов суммарно дают около 9 ионов в 1 $см^3$ в ск. Получается хорошее совпадение для таких общих подсчетов, показывающее, что деятельность этих агентов в состоянии объяснить И. атмосферного воздуха и ее особенности.

Количество ионов в 1 $см^3$ в атмосфере измеряется особыми приборами—счетчиками ионов: если n—число ионов какого-либо знака в 1 $см^3$, D—количество воздуха, протекающее в единицу времени через единицу поверхности, нормальной к потоку, dv—потеря заряда конденсатора в V, C—его емкость и ε—заряд иона, то

$$C\,dv = Dn\varepsilon, \qquad (2)$$

откуда м. б. определено и n. Непосредственные наблюдения дали в среднем для обыкновенных ионов:

	$n^\bullet$	n'	$n^\bullet : n'$
Для наблюдений на земной поверхности	737	668	1,23
Для наблюдений над морем	736	558	1,28

Хотя отдельные наблюдения отличаются от этих величин ($n^\bullet$ и n' могут доходить до 1 000 и более), все же средние числа довольно устойчивы, так же как и электрополярность атмосферы (т. е. превышение количества положительных ионов над числом отрицательных ионов). Количество тяжелых ионов может значительно превышать эти числа, в особенности у земной поверхности. С увеличением высоты число ионов возрастает,—для $H = 2\,000 \div 3\,000$ $м$ находим: $n^\bullet$ и n' равны 2 000—3 000.

Характерным свойством ионов является их подвижность; для обыкновенных ионов она равна 1,5 $см/ск : V/см$, при чем отрицательные ионы несколько более подвижны: $v' : v^\bullet = 1{,}1$; тяжелые ионы обладают подвижностью в 1 000—3 000 раз меньшей.

Ионосодержание атмосферы является геофизич. элементом, т. е. имеет определенное географич. распределение и вариации в течение года и суток и зависит от других элементов. Годовой и суточный ход И. атмосферного воздуха подобен ходу И. почвенного воздуха; из геофизич. элементов наибольшее влияние оказывает относительная влажность, понижающая количество ионов и их подвижность.

Из практич. приложений учения об И. атмосферного воздуха упомянем о его приложениях в деле разведки полезных ископаемых и в сел. хозяйстве. Так как одной из причин И. атмосферного воздуха является влияние радиоэлементов земной поверхности, то это открывает возможность исследовать при помощи полевых измерений И. распределение радиоэлементов в геологич. и разведочных целях. Применяемые методы основаны на измерении ионизационного эффекта: 1) всех излучений (α-, β-, γ-) от радиоэлементов земной поверхности в атмосфере; 2) тех же излучений внутри камеры с открытым дном, помещенной на поверхности почвы; 3) γ-излучений при помощи γ-электрометра. Работы этими методами установили факт повышенной И. и ионообразования на участках, богатых радиоэлементами. Те же явления обнаружены в связи с тектонич. линиями (разломами, сбросами), зонами трещиноватости, усиленным метаморфозом, петрографическим составом пород и т. д. Измерения в шахтах, шурфах, разведочных канавах и пр. дают еще более резкие указания на присутствие радиоактивных пород. У нас подобные работы производятся Геологическим комитетом.

И. в атмосфере (в радиотехническом отношении), особенно в верхних слоях ее, определяет в значительной степени законы распространения электромагнитн. волн (коротких и средних); подробности см. *Электромагнитные волны*, *Беспроволочная связь*.

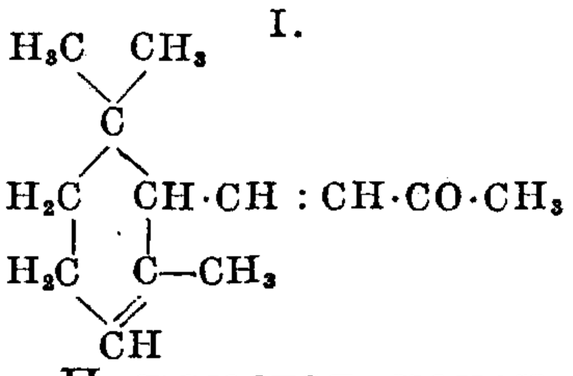
Лит.: Оболенский В., Атмосферное электричество, СПБ, 1912; Mathias E., Traité d'électricité atmosphérique et tellurique, P., 1924; Kähler K., Luftelektrizität, B., 1921; Ambron R., Methoden d. ang. Geophysik, Dresden—Lpz., 1926; «Terrestrial Magnetism a. Atmospheric Electricity», Baltimora.

С. Бастамов.

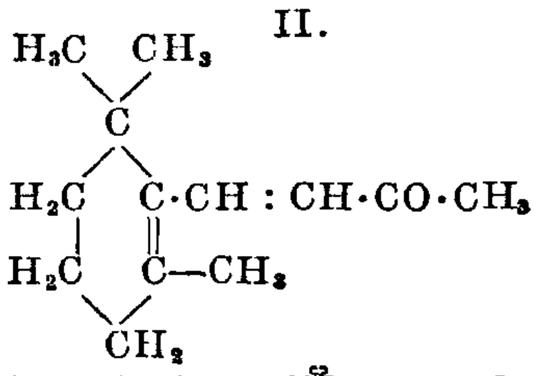
ИОНИЙ, Io, ат. в. 230, ат. номер 90, радиоактивный элемент, изотоп тория. Был открыт Б. Болтвудом в 1907 г. из урановых минералов. И., будучи изотопом тория, обладает одинаковыми с ним химическими свойствами; отсюда—трудность выделения И. в чистом виде. См. *Спр. ТЭ*, т. II, ст. «Радиоактивность».

ИОНОН, циклоцитрилиденацетон, $C_{13}H_{20}O$, одно из самых распространенных синтетических душистых веществ, обладает в концентрированном виде запахом кедрового дерева, а при сильном разбавлении—запахом фиалкового корня и фиалки. В продажу поступает или в виде смеси обоих существующих изомеров—α-ионона (I) и β-ионона (II) или в виде отдельн. изомеров, из к-рых α-ионон имеет более нежный запах.

I.



II.



Получается ионон конденсацией цитраля с ацетоном в присутствии едких щелочей,

гидрата окиси бария, металлическ. натрия, амида натрия и т. п., при чем сначала образуется п с е в д о и о н о н:

$(CH_3)_2C:CH\cdot CH_2\cdot CH_2\cdot C(CH_3):CH\cdot CHO + CH_3\cdot CO\cdot CH_3 \rightarrow$

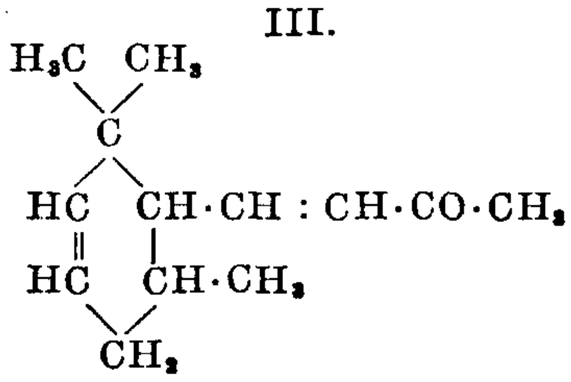
цитраль ацетон

$\rightarrow (CH_3)_2C:CH\cdot CH_2\cdot CH_2\cdot C(CH_3):CH\cdot CH:CH\cdot CO\cdot CH_3.$

Псевдоионон при действии к-т превращается в И., при чем серная к-та вызывает преимущественное образование β-ионона, тогда как действием фосфорной или муравьиной кислоты достигается преобладание α-изомера. Разделение изомеров, обладающих очень сходными свойствами, осуществляется на основании различной растворимости бисульфитного соединения в насыщенном растворе поваренной соли или на более легкой расщепляемости бисульфитного соединения β-ионона. При замене ацетона метилэтилкетоном или метилпропилкетоном получаются соответственно метил- и этилионон. Другой путь получения И. и его гомологов состоит в получении сначала циклоцитраля, а затем в конденсации последнего с перечисленными выше кетонами.

В природных продуктах И. не встречается, но в эфирном масле, получаемом из корневища Iris pallida, содержится изомерный ему продукт β-и р о н (III), выделяемый из этого масла разгонкой в вакууме и очищаемый путем переведения в оксим или фенилгидразон. Синтез ирона осуществлен в лабораторном масштабе, но промышленного значения не имеет. Изомерный β-ирону α-ирон обладает таким же запахом, как И. и β-ирон, и может быть получен из циклоцитраля и ацетона при действии этилата натрия.

III.



И. и β-ирон находят широкое применение в мыловаренном и парфюмерном производстве как основа для отдушек типа фиалки. В продаже И. встречается под различными наименованиями: иральдеин, виодорон, ионардон, иридия и т. п. Потребность союзной промышленности в 1932/33 г., согласно пятилетнему плану, определяется: ок. 5 000 *кг* И., ок. 7 500 *кг* метилионона; развитие внутреннего производства находится в зависимости от сырьевой базы, т. е. от производства эфирных масел, богатых цитралем. Благоприятные перспективы в этом отношении имеются в виде удачных опытов культуры лимонного сорго, лимонной вербены, молдавской мяты и других растений.

Лит.: см. *Душистые вещества.* **Б. Рутовский.**

ИОНЫ, атомы (а т о м и о н ы) или соединения нескольких атомов, в которых общее число электронов больше или меньше суммы положительных зарядов ядер. И., из которых построены твердые вещества, или И. в растворах могут существовать неопределенно долго; газовые И. при обычных условиях быстро приобретают недостающие электроны и молизуются (см. *Ионизация*).

Свойства И. характеризуются: 1) знаком и величиной их заряда, 2) их строением, т. е. расположением электронов, особенно внешних, 3) их размером, измеряемым радиусом внешней электронной оболочки, и 4) прочностью этой оболочки (деформируемость И.). Легче всего образуются И., внешняя электронная оболочка к-рых является наиболее устойчивой (напр. соответствует оболочке благородных газов). И., образующие кристаллы и встречающиеся в растворах, принадлежат б. ч. к этому типу (напр. $Na^{\cdot}$, $Ba^{\cdot\cdot}$, Cl', S'' и т. д.), хотя встречаются и т. н. переходные И., внешние оболочки к-рых могут содержать от 9 до 17 электронов, способные переходить в И. другого типа (напр. $Cu^{\cdot\cdot}$, $Fe^{\cdot\cdot}$ и т. д.). При действии сильных агентов (высокая $t°$, излучение большой частоты, электроны большой скорости) образуются И. любой значности, включительно до голых ядер. Химич. и физич. свойства И. резко отличаются от свойств нейтральных атомов, имитируя в некоторых отношениях свойства атомов, имеющих такую же внешнюю электронную оболочку (например $K^{\cdot}$ напоминает Ar, F'—Ne).

Взаимодействие И. в кристаллах прежде всего зависит от числа зарядов и размеров И., а затем от строения электронной оболочки, так как отталкивательные силы, действующие между И., являются результатом взаимодействия их оболочек. Цветность И. связывают, с одной стороны, с деформируемостью ионных оболочек, а с другой—с образованием соединений И. с молекулами растворителя (например Cu с H_2O и с NH_3). Действия, производимые ионами на молекулы неэлектролитов, сводятся также почти исключительно к действию их электрич. поля и поэтому зависят прежде всего от величины их заряда и радиуса. В разведенных растворах мерой силы этого поля служит, как показали Льюис и Дебай, и о н н а я с и л а Γ—сумма произведений из молярн. концентраций на квадрат валентности соответствующего И.; напр. для 0,1-молярного раствора H_2SO_4 $\Gamma = 0{,}2\cdot 1 + 0{,}1\cdot 4 = 0{,}6$. Так наз. действие нейтральных солей теоретически объясняется действием электростатич. поля И. (теория высаливания Дебая, теория влияния солей на катализ Христиансена и т. д.). Насколько вообще мощно действие этого поля, показывают вычисления Цвикки, по которым молекулы воды вблизи И. находятся под давлением 50 000 *atm*.

В растворах И. поляризуют и притягивают молекулы растворителя, образуя оболочки перемен. состава (см. *Сольватация*); благодаря поляризации и связанной с ней ориентации молекул растворителя, свойства растворов электролитов (теплоемкость, диэлектрическая постоянная) резко отличаются от свойств растворителя и далеки от аддитивности. Простые атомионы как общее правило могут существовать гл. обр. только в растворителях с большими диэлектрич. постоянными, сильно ослабляющих взаимодействие между И. В растворителях с малыми диэлектрическими постоянными растворяются преимущественно электролиты, дающие комплексные И. Комплексы образуются иногда из И. растворяющегося вещества, иногда же в их образовании принимает участие и растворитель. Для веществ с малыми ди-

электрич. постоянными характерно также образование комплексных И. при прибавлении неэлектролитов; напр. $(C_2H_5)_2OBr_3$ дает проводящую систему при смешении с хлороформом. Внешним признаком образования комплексных И. служит аномальный ход кривой «молярная электропроводность—разведение», дающей максимум в области концентрированных растворов и проходящей через минимум электропроводности при дальнейшем разведении.

Лит.: Семенченко В., Молекул. силы и их электрич. природа, гл. 6, § 7, М., 1929; Handbuch d. Physik, hrsg. v. H. Geiger u. K. Schell, B. 24, Кар. 6, § 466, B., 1927. **В. Семенченко.**

ИПРИТ, горчичный газ, военный термин, который обозначает $\beta\beta'$-дихлордиэтилсульфид или ди-(2-хлорэтил)-сульфид, $S(CH_2 \cdot CH_2Cl)_2$, боевое отравляющее вещество (О. В.), сыгравшее значительную роль в войне 1914—18 гг. Это соединение в нечистом виде впервые получено и описано в 1860 г. (Ниман, Гутри); индивидуализировано и ближе изучено в 1886 г. (В. Мейер и Н. Д. Зелинский); в войне применено впервые германцами (июль 1917 г.) в боях под Ипром, откуда и произошло название И. (Ypérite). В послевоенное время И. и его производные были всесторонне изучены целым рядом исследователей.

Физические свойства. Чистый И.—бесцветная жидкость или кристаллы с неприятным, но не резким запахом; $t°_{пл.}$ 14°; $t°_{кип.}$ 217° (760 *мм*), с частичным разложением; $t°_{кип.}$ 117° (26 *мм*), 103—105° (16 *мм*), 97° (10 *мм*). Удельн. вес $D_{13}=1{,}338$ (тверд.), $D_{15}=1{,}280$ (жидк.). Упругость пара при 20° равна 0,065 *мм* рт. ст.; концентрация насыщенного пара равна 0,6—0,7 *мг/л* (20°); вес 1 *л* пара равен 7,1 *г*; плотность пара (по воздуху) $\Delta=5{,}5$. Вязкость $\eta_{15}=4{,}85$. Растворимость в воде 0,05% (0,48 *г/л*); легко растворим во всех обычных органич. растворителях. Хорошо растворяет кристаллич. серу (при 100°—до 20%). Технич. И.—желтое или бурое масло с чесночным или горчичным запахом, начинающее затвердевать с +10° и ниже; уд. в. 1,3—1,4. Такой И. содержит свободную серу (в виде «псевдораствора» или непрочного химич. соединения), полисульфиды, продукты дальнейшего хлорирования и т. д.; свободные HCl и S_2Cl_2 допускаются лишь в следах. Сера может быть удалена продолжительным нагреванием (100°), при чем она выпадает в кристаллическом состоянии; при длительном хранении технический иприт постепенно густеет от выделения аморфной серы.

Химические свойства. И. представляет собою хлорозамещенный тиоэфир с двумя атомами Cl в β-положении по отношению к атому S; это—весьма устойчивое вещество с нейтральной реакцией; на металлы при обыкновенной $t°$ не действует; при 100° начинает реагировать только с оловом. Способен к реакции гидролиза, но водою и углекислыми щелочами гидролизуется крайне медленно; быстрее действуют едкие щелочи при нагревании. Продукты гидролиза: тиодигликоль ($\beta\beta'$-диоксидиэтилсульфид) $S(CH_2 \cdot CH_2OH)_2$ и соляная к-та или ее соль. При нагревании с едкой щелочью в спиртовом растворе И. быстро разлагается с образованием летучего, неустойчивого дивинилсульфида $S(CH{:}CH_2)_2$. При действии хлора или хлористых соединений серы И. подвергается дальнейшему хлорированию, образуя ряд хлорозамещенных сульфидов, предельных и непредельных. Хлорная известь нацело разрушает И. (сухая—со вспышкой), образуя хлороформ, хлорал, CO_2 и ряд высших хлоропроизводных. При действии брома на иприт получаются продукты присоединения; свободный иод на иприт не действует. Энергичные окислители (HNO_3, CrO_3, $KMnO_4$, H_2O_2, озон) переводят И. в $\beta\beta'$-дихлордиэтилсульфоксид $SO(CH_2 \cdot CH_2Cl)_2$, $t°_{пл.}$ 110°, и далее—в $\beta\beta'$-дихлордиэтилсульфон $SO_2(CH_2 \cdot CH_2Cl)_2$, $t°_{пл.}$ 56°; при дальнейшем окислении получается β-хлорэтансульфоновая кислота $ClCH_2 \cdot CH_2 \cdot SO_2OH$ и продукты ее распада. Галоид в И. обладает малой подвижностью; атомы Cl при действии соответствующих солей могут обмениваться на Br, J и CNS. Отнять два Cl и замкнуть молекулу иприта в 5-членное кольцо не удалось. 6-членные гетероциклы образуются с большей легкостью: из И. и Na_2S получается 1, 4-диэтилендисульфид $S\langle{}^{CH_2—CH_2}_{CH_2—CH_2}\rangle S$, $t°_{пл.}$ 111° (содержится как примесь в техническом И.); из иприта и NH_3 — 1,4-тиазан $S\langle{}^{CH_2—CH_2}_{CH_2—CH_2}\rangle NH$; из И. и динатрмалонового эфира—эфир пентиофен-$\gamma\gamma$-дикарбоновой кислоты $S\langle{}^{CH_2—CH_2}_{CH_2—CH_2}\rangle C\langle{}^{COOR}_{COOR}$ и т. д.

Токсические свойства. И. обладает высокой общей ядовитостью и резко выраженным местным действием на все ткани и органы тела, с к-рыми он приходит в соприкосновение. Особенно важной в боевом отношении оказалась способность И. поражать кожу (т. н. «нарывное» действие), вызывая на ней сначала красноту, затем пузыри и язвы, очень медленно заживающие. Для И. характерны: а) замедленность токсич. эффекта, к-рый проявляется лишь через 4—12 ч. и более после воздействия О. В.; б) способность отдельных малых доз И. как бы накопляться в организме («кумуляция»), вследствие чего даже ничтожные концентрации этого О. В. опасны, и в) длительность заболевания. Концентрации паров И. от 0,0005 *мг/л* вызывают воспаление глаз; выше 0,002 *мг/л*—поражают кожу; концентрация 0,1 *мг/л* при экспозиции в 15 мин. смертельна. Смертельная доза—12 *мг*. Туман и капли жидкого И. поражают наиболее сильно; И. чрезвычайно легко переносится на кожу через зараженные предметы и почву. Из производных И. аналогичным кожным действием обладает сульфон, а также бромистый и иодистый аналоги. При нарушении типовой структуры (2 атома галоида в β-положении к S) токсичность резко уменьшается, а кожное действие почти или вовсе исчезает.

Производство И. велось в 1917—1918 гг. двумя различными путями.

1. В Германии применялся процесс, в основу которого был положен синтез В. Мейера. Исходным материалом служил винный спирт; из него каталитич. разложением получался этилен (I). Последний в смеси с CO_2

пропускался в холодный раствор хлорной извести: т. о. получали монохлоргидрин этиленгликоля (II) в виде 10%-ного раствора. Этот раствор, отфильтрованный от $CaCO_3$ и сконцентрированный в вакууме до 20%-ной концентрации, обрабатывался твердым сернистым натрием при 90—100° для превращения в тиодигликоль (III); продукт сгущался выпариванием и отфильтровывался от выпавшей соли. Последняя операция (IV)—обработка тиодигликоля струей газообразного HCl при 50° велась в сосудах, выложенных свинцом; только эта фаза производства требует особых предосторожностей со стороны работающих. Готовый И. промывался раствором соды и водой, высушивался в вакууме и переливался прямо в резервуары для хранения. Весь ход процесса соответствует уравнениям:

$$\text{I.}\quad C_2H_5\cdot OH = H_2O + CH_2{:}CH_2;$$
$$\text{II.}\quad CH_2{:}CH_2 + Cl\cdot OH = ClCH_2\cdot CH_2OH;$$
$$\text{III.}\quad 2ClCH_2\cdot CH_2OH + Na_2S = 2NaCl + S(CH_2\cdot CH_2OH)_2;$$
$$\text{IV.}\quad S(CH_2\cdot CH_2OH)_2 + 2HCl = 2H_2O + S(CH_2\cdot CH_2Cl)_2.$$

Метод дает хорошие выходы и очень чистый продукт, но технически сложен и дорог.

2. Другой метод получения основан на прямом синтезе И. из этилена и хлористых соединений серы. При пользовании двухлористой серой SCl_2 (вариант, предпочитавшийся во Франции) реакция идет теоретически без образования побочных продуктов. На деле, однако, она мало удобна, так как требует применения растворителя (четыреххлористый углерод или хлорбензол), тщательного охлаждения и дает продукт с плохими выходами, сильно загрязненный нетоксичными примесями (высшими хлоридами). Реакция с однохлористой серой (S_2Cl_2) идет по ур-ию:

$$S_2Cl_2 + 2\,CH_2{:}CH_2 = S(CH_2\cdot CH_2Cl)_2 + S,$$

при чем половина всей серы должна выделиться в свободном виде. Если процесс вести при 55—60° (Поп и Гибсон), то бо́льшая часть свободной серы выпадает в аморфном состоянии, засоряя аппаратуру. Этот мало удобный вариант применялся в Англии; к S_2Cl_2 добавлялось 5% готового И., реакционная смесь энергично перемешивалась; выход И. (по S_2Cl_2) достигал 80%. В другом варианте (Грин и Левинстейн) $t°$ процесса понижена до 30—35°: избыточная сера при этом почти не выпадает, оставаясь в готовом продукте в количестве 15—18%. Выход И. равен 81—84%. Способ Левинстейна оказался наиболее рентабельным, хотя и дает наименее чистый И. (с 25—30% бесполезных примесей); он был принят в Англии и в С. Ш. А. и сохранился, повидимому, до настоящего времени. За период 1917—18 гг. было изготовлено И. в *m*: Германией 9 000, Францией 2 000, Англией 650, С. Ш. А. 700, а всего около 12 350 *m*.

Применение И. ограничено исключительно областью химич. борьбы, где он до настоящего времени остается одним из важнейших и наиболее действительных О. В. В период 1917—18 гг. И. применялся гл. обр. в артиллерийских снарядах (герм. снаряды марки «Желтый крест»); в будущем возможно, кроме того, широкое применение его в авиабомбах и в различных заражающих аппаратах, возимых по земле или установленных на самолетах. Снаряды наполнялись обычно смесью технич. И. с 20—30% растворителя; последний служил для повышения летучести, понижения $t°_{пл.}$ и для маскировки запаха И. В качестве растворителей применялись: четыреххлористый углерод CCl_4, нитробензол $C_6H_5\cdot NO_2$, хлорбензол C_6H_5Cl, хлористый бензил $C_6H_5\cdot CH_2Cl$, хлорпикрин $CCl_3\cdot NO_2$ и другие вещества. Как весьма стойкое О. В. иприт особенно пригоден для заражения участков местности на срок от нескольких часов до нескольких недель, в зависимости от времени года и характера местности. Боевая плотность заражения—10 *г* и более на $м^2$ почвы.

Определение И. с помощью характерных химич. реакций затруднено вследствие того, что он мало реакциеспособен. Из всех реактивов, предложенных для распознавания И., пока единственно пригодным является реактив Гриньяра: раствор 10 *г* кристаллич. иодистого натрия ($NaJ\cdot 2H_2O$) в 100 $см^3$ воды, с прибавлением 1 $см^3$ 7,5%-ного раствора медного купороса ($CuSO_4\cdot 5H_2O$) и 1 $см^3$ 35%-ного раствора гуммиарабика. Реакция основана на образовании мути вследствие выпадения нерастворимого $\beta\beta'$-дииодиэтилсульфида $S(CH_2\cdot CH_2J)_2$; она специфична и годна для определения И. в водных растворах и вытяжках (при концентрации не ниже 0,1 *г/л*); для обнаружения паров И. в воздухе чувствительность реактива недостаточна. Аналогичная реакция (с крепкой иодистоводородной к-той) предложена Гриньяром для количественного определения дихлордиэтилсульфида в технич. иприте.

Средства защиты. Пары И. энергично адсорбируются активированным углем; туман распыленного жидкого И. задерживается особыми механич. фильтрами, имеющимися в современных противогазах. Защита кожи (на определенный ограниченный срок) достигается ношением масок, обуви, перчаток и костюмов из непроницаемого для И. материала. И. в капельно-жидком состоянии обезвреживается действием хлорной извести, гипохлоритов, перманганата, азотной к-ты и других окисляющих средств. Если нейтрализация И. химич. средствами невозможна, применяется смывание его подходящим растворителем (бензин, керосин) или выжигание огнем; подробнее см. *Дегазация*. Те же растворители удобны для удаления И. с кожи человека (в первые 1—2 минуты после попадания). Для ослабления кожных поражений рекомендовалась обработка свежепораженных мест «хлорамином Т» (толуол-*n*-хлораминсульфоновокислый натрий $CH_3\cdot C_6H_4\cdot SO_2Na\cdot NCl\cdot 3H_2O$) и жидкостью Дакена (водный раствор равных количеств гипохлорита натрия и борной к-ты).

Лит.: Meyer V., «B», 1886, B. 19, p. 3259; Ан. П. 142875 и 142879/18; Grignard, Rivat et Scatchard, «A. Ch.», 1921, série 9, t. 15, p. 5 (анализ И.); Pope W. J., «Soc.», 1919, v. 115, p. 402; Pope a. Gibson, ibid., 1920, v. 117/118, p. 271; Davies, ibid., p. 297; Bauser, Gibson, Pope, ibid., p. 1453; Naik, ibid., 1921, v. 119, p. 379; Pope W. J., ibid., p. 396; Bennett M., ibid., p. 418, 1860; Pope W. J., Mann F. G., Vernon, ibid., p. 634; Mann F. G. a. Pope W. J., ibid., 1922, v. 121, p. 594 (хлорирование И.); Bennett M., ibid., p. 2139; Bales, Nickelson, ibid., p. 2137 (гидролиз И.), ibid., 1923, v. 123, p. 2486; Pope W. J., «J. Ch. I.»;

1919, v. 38, p. 344 (R), 432 (R); Green S. J., ibid., p. 363 (R), 469 (R); Williams, ibid., p. 451 (R); Homberg, «Am. Soc.», 1919, v. 41, p. 1414 (герм. способ получения И.); Conant J. B., Hartshorn E. B., Richardson G. O., ibid., 1920, v. 42, p. 585 (получение И.); Helfrich O. B. a. Reid E. E., ibid., p. 1208—1232 (химич. свойства и производные И.); Wilson a. oths, ibid., 1922, v. 44, p. 2762 (гидролиз И.); Lawson a. Dawson, ibid., 1927, v. 49, p. 3119, 3125 (новые данные о хлорировании И.); Dorsey, «I. Eng. Chem.», 1919, v. 11, p. 289; Norris, ibid., p. 821 (германский способ производства И.); Felsing a. oths, ibid., 1920, v. 12, p. 1054, 1063 (исследование технич. И.). См. также лит. к ст. *Боевые отравляющие вещества*.

В. Яковский.

ИРИДИЙ, Ir, ат. в. 193,1, ат. номер 77, уд. в. $D^{17,5}$ 22,395, один из наиболее тяжелых металлов; он тверже платины, ковок только при белом калении, $t°_{пл.}$ 2 225°. В сплошной массе И. белого цвета, в мелкораздробленном состоянии—черного. И. принадлежит к VIII группе периодич. системы, к триаде тяжелых платиновых металлов (Os, Ir, Pt). И. очень стоек к химич. воздействиям; прокаленный, он почти совсем не растворяется в царской водке. В сплаве с платиной (при содержании не более 20% Ir), золотом и серебром растворяется; И. растворяется также в царской водке в мелкораздробленном виде, напр. осажденный муравьиной к-той. Для растворения чистого компактного металлич. И. его нагревают с хлористым натрием ниже $t°_{пл.}$ последнего в токе непросушенного хлора; при этом образуется Na_2IrCl_6; другой способ—сплавление И. с NaOH и селитрой в серебряном тигле; при этом происходит окисление И. до Ir_2O_3, который затем растворяется в царской водке с образованием Na_2IrCl_6. В химическ. отношении И. довольно близок к родию. Одним из отличий его от последнего является нерастворимость И. в расплавленном кислом пиросульфате калия.

С кислородом И. соединяется с большим трудом; его окислы обладают промежуточными (не резко основными и не резко кислотными) свойствами; известны окислы: IrO, Ir_2O_3 (черного цвета) и IrO_2 (сине-черного или с металлич. блеском). Хлористый И., $IrCl_3$—темнозеленого и бурого, хлорный И., $IrCl_4$—черного цвета. Первое соединение более устойчиво; $IrCl_4$ уже при 50° выделяет хлор; хлористое олово, железный купорос, щавелевая кислота, гидроксиламин восстанавливают его до $IrCl_3$. Хлор в $IrCl_4$ очень подвижен: щелочи реагируют с $IrCl_4$, образуя, как и со свободным хлором, соли соляной и хлорноватистой к-т:

$$2\,IrCl_4 + 2\,NaOH = 2\,IrCl_3 + NaCl + NaOCl + H_2O\,.$$

Цинк, а также муравьиная к-та в присутствии уксуснокислого аммония (избыток водородных ионов вреден) восстанавливают $IrCl_4$ до металла.

И. может вступать также и в анион, образуя соли, например: иридиевой кислоты H_2IrO_3, иридиевохлористоводородных кислот H_2IrCl_6 и H_3IrCl_6, иридиевосинеродистоводородной кислоты $H_3Ir(CN)_6$ и друг. Из раствора $IrCl_4$ хлористый аммоний осаждает темнокрасную аммонийную соль иридиевохлористоводородной кислоты («нашатырный иридий») $(NH_4)_2IrCl_6$, нерастворимую в избытке нашатыря. Эта соль имеет большое значение, так как при прокаливании ее, аналогично процессу, протекающему при прокаливании соответствующих соединений платины, остается металлический И. Хлористый калий дает с $IrCl_4$ черно-бурый осадок K_2IrCl_6 (подобно соответствующей платиновой соли), нерастворимый в избытке KCl и спирте и трудно растворимый в воде, тогда как K_3IrCl_6 легко растворяется в воде и в растворе KCl (отличие от Pt, чем и пользуются при разделении Pt и Ir). Вследствие большей устойчивости $IrCl_3$ сравнительно с $IrCl_4$ восстановление Na_2IrCl_6 в Na_3IrCl_6 должно протекать очень легко.

Качественные реакции на И. 1) Раствор хлористого И. слегка подщелачивают содой, нагревают до кипения и по охлаждении приливают раствор хлорноватистокислого натрия: получается синий осадок $Ir(OH)_4$; чувствительность—до 0,2% Ir в его сплавах. 2) При прибавлении избытка азотистокислого калия к концентрированному раствору $(NH_4)_2IrCl_6$ при кипячении выпадает тяжелый светложелтый осадок состава $3K_3[Ir(NO_2)_6]\cdot K_3(IrCl_6)$, нерастворимый в холодной воде и разбавленной соляной к-те. 3) Темнобурый раствор $IrCl_4$ от KJ светлеет до желтого цвета—отличие от $PtCl_4$ (желтый раствор), к-рый от прибавления иодистого калия буреет; чувствительность—1 часть Ir в 100 частях Pt.

Количественный анализ производится осаждением соли $(NH_4)_2IrCl_6$ и ее прокаливанием до образования металла.

Разделение металлов платиновой группы и выделение из них И.—довольно сложно.

В природе И. встречается как главнейший спутник платины в ее рудах в виде следующих минералов: сысерскит $IrOs_3$ (Урал, Калифорния), невьянскит IrOs (Урал, Бразилия и Калифорния), иридистая платина $PtIr_4$ (Урал, Бразилия) и др.

И. применяется в чистом виде для изготовления тиглей, электропечей, термоэлементов (пара—Ir и сплав Ir-Ru—позволяет измерять $t°$ в пределах 1 600÷2 200°), неамальгамирующихся катодов. В мелкораздробленном состоянии И., подобно платине, обладает каталитическ. свойствами. Продажные сорта платины содержат до 2,5% И., к-рый увеличивает как механическую, так и химическую сопротивляемость платины. Большое применение имеет И. в сплавах. Следует отметить почти не расширяющийся при нагревании, твердый и химически чрезвычайно устойчивый сплав из 10,1% Ir и 89,8—89,9% Pt (Девиль и Дебрей), к-рый идет на приготовление эталонов метрич. мер. Сплав осмий-иридий применяется, вследствие твердости и отсутствия магнитных свойств, для изготовления остриев морских компасов, а также кончиков вечных перьев. Окись И., Ir_2O_3, применяется в живописи по фарфору (дает черный цвет). Годовая добыча И. в С. Ш. А. в 1916 г. составляла ок. 8 *кг*. Главные места добычи—Урал и Америка.

Лит.: Менделеев Д. И., Основы химии, т. 2, 9 изд., М.—Л., 1928; Тредвелл Ф., Курс аналит. химии, т. 1—Качественный анализ, пер. с нем., 4 изд., М.—Л., 1927; Leidié, Palladium, Iridium, Rhodium, Encyclopédie chimique, publiée sous la direction de M. Frémy, t. 3, P., 1901; Classen A., Ausgewählte Methoden d. analyt. Chemie, B. 1, p. 312, Leipzig, 1901; Mylius u. Dietz, «B», 1898, B. 31, p. 3187; Ullm. Enz., Wien—Berlin, 1915—23, B. 6, p. 524.

А. Баландин.

ИРНОЕ ЭФИРНОЕ МАСЛО получается отгонкой с водяным паром из корневищ Acorus Calamus L., дико произрастающего в руслах многих рек Азии, С. Америки и Европы. Выход масла на европ. з-дах, в значительной степени являющихся потребителями русского ирного корня, равен 1,5—3,5 %, тогда как переработка свежих корневищ, содержащих ок. 70—75% воды, дает выход в 0,8—1,0%. Очистки, получающиеся при приведении в ликвидный для экспорта вид ирного корня, также содержат масло нормального состава. В состав масла входят: α-пинен, камфен, каламен, каламеон, камфора, эвгенол, азариловый альдегид, гептиловая и пальмитиновая к-ты и сесквитерпеновые спирты. Применяется И. э. м. в парфюмерии и при изготовлении ликеров. Производство его в СССР существует в небольшом масштабе на Украине; перспективы экспорта И. э. м. учтены недостаточно.

Лит.: Чернухин А., Эфирные масла, «Труды Научн. хим.-фарм. института НТУ ВСНХ», Москва, 1928, вып. 19, стр. 199. **Б. Рутовский.**

ИРРАДИАЦИЯ (в физиологической оптике), один из случаев кажущегося изменения контуров видимого объекта. Сюда относятся явления преувеличения светлых предметов, находящихся на темном фоне, по сравнению с объективно равными им темными предметами на светлом фоне: белый квадрат кажется больше черного квадрата, серп молодого месяца кажется охватывающим остальной, слабо освещенный, диск луны, накаленные волоски лампы кажутся толще ненакаленных, темная нить на фоне яркого пламени кажется тоньше или даже вовсе прерывающейся. Это иллюзорное расширение контуров светлых объектов тем больше, чем ярче объект и чем темнее фон, на к-ром мы его видим. Первоначальное объяснение И. распространением физиологич. возбуждения на места, соседние с прямо раздраженным местом сетчатки (Декарт, Плато), в настоящее время заменяется иным (Кеплер, Гельмгольц), согласно к-рому причиной И. являются круги светорассеяния, всегда получающиеся у нас на сетчатке в силу недостаточной аккомодации глаза, явлений диффракции и сферич. и хроматич. аберрации в нем. Поэтому-то эффект И. сказывается тем резче, чем хуже глаз аккомодирован. В силу наличия кругов светорассеяния иллюзорному преувеличению могут, при известных условиях (напр. очень тонкие черные нити), подвергаться и темные предметы на светлом фоне (т. н. негативная И., наблюдавшаяся Фолькманом).

Лит.: Bouasse H., Vision des formes et des couleurs, P., 1917; Hofmann F., Die Lehre v. Raumsinn d. Auges, B. 1—2, B., 1920—25. **С. Кравков.**

ИРРАЦИОНАЛЬНЫЕ ЧИСЛА, числа, которые не м. б. выражены точно ни целыми ни дробными числами; к ним относятся квадратные радикалы из чисел, не являющихся точными квадратами, как $\sqrt{3}$, а также и другие несоизмеримые числа, как e, π. Для всех приложений достаточно знать приближенное значение И. ч. с нужной степенью точности (см. *Вычисления приближенные*). В противоположность И. ч. рациональными числами называются все положительные и отрицательные числа (включая и нуль),

ИРРИГАЦИЯ, отрасль с.-х. гидротехники, занимающаяся вопросами искусственного доставления влаги в почву для более успешного выращивания культурных растений. Действие воды в этом случае сводится: 1) к увлажнению почвы; 2) к удобрению (т. к. вода несет с собою в почву растворенные в ней вещества); 3) к предохранению почвы и растений от заморозков; 4) к уничтожению вредных свойств почвы (напр. болотистой или солончаковой, к-рые содержат вредные для растений растворимые к-ты и соли), и, наконец, 5) к уничтожению вредных животных. Важнейшее из всех этих влияний ирригации—увлажнение.

Районы ирригации. Главными районами применения И. являются местности с отрицательным балансом между выпадающей и испаряющейся влагой. В Зап. Европе, благодаря влиянию Гольфстрема, таких местностей относительно мало. К ним м. б. отнесены только: южная Испания, нек-рые местности южной Франции, Италии и Балканского полуо-ва. В европейской части СССР таких местностей уже больше: Нижнее Поволжье, восточная часть Сев. Кавказа, южная часть Украины и Крым. Еще больше мест, нуждающихся в искусственном увлажнении, в Азии: обширные пространства пустыни Гоби с прилегающими к ней частями Китая, ср.-азиатские республики СССР, весь Аравийский полуо-в, почти вся Персия, значительная часть Турции и западная часть Индии (Пенджаб). К таким же местностям относятся: вся сев. Африка (Сахара, Алжир, Тунис, Египет), зап. часть юж. Африки, вся ю.-з. Австралия и значительные площади земель в С. и Ю. Америке, расположенные возле Скалистых гор и Кордильеров (фиг. 1).

Искусство И. чрезвычайно древне; оно возникло, повидимому, одновременно с земледелием. По имеющимся статистическим данным, в различных странах земного шара постоянно орошается свыше 49 млн. *га*, а именно:

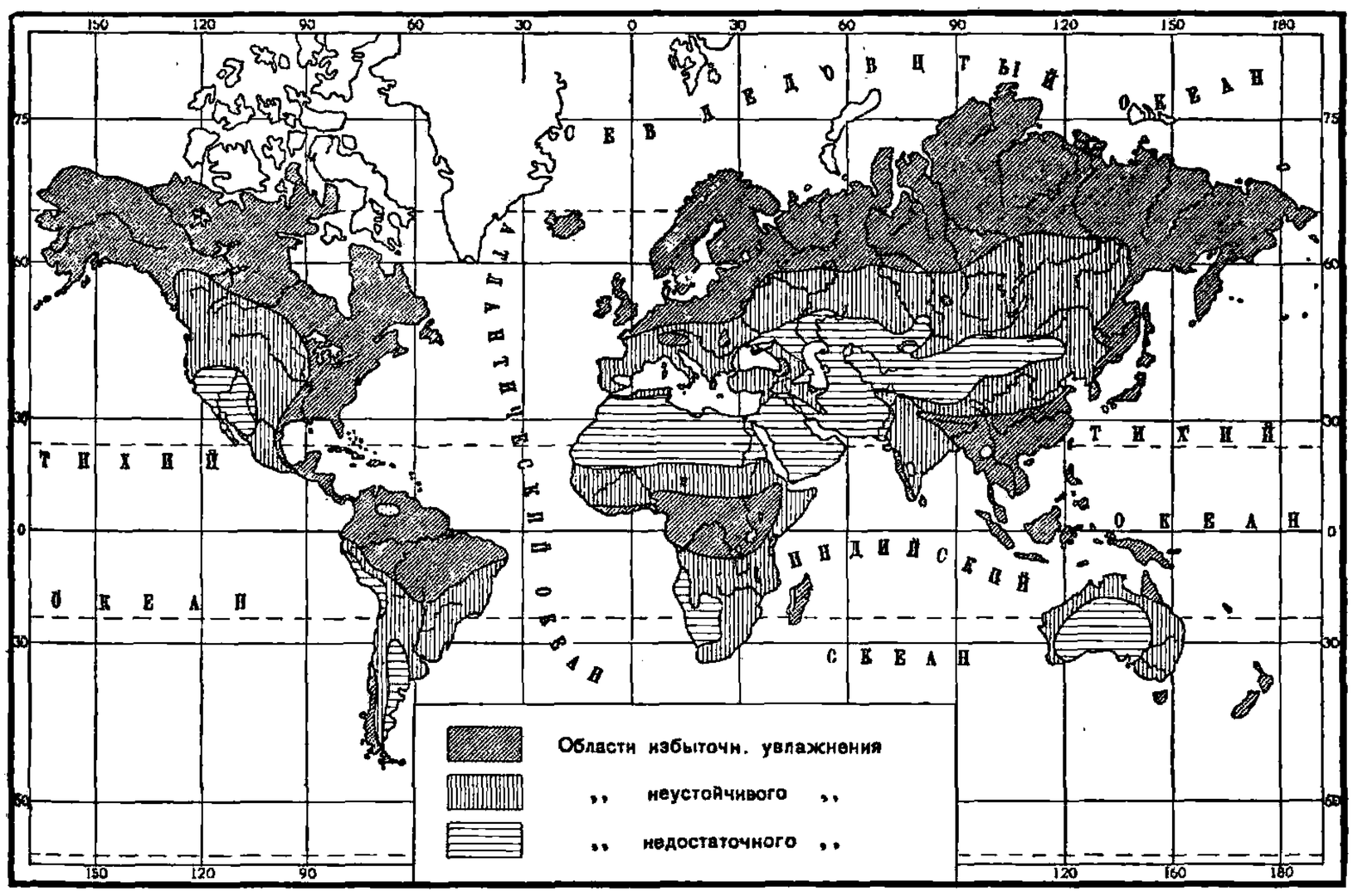
	Млн. *га*		Млн. *га*
Индия	20	Ява	1,2
С. Ш. А.	8	Испания	1,0
СССР	3,5	Аргентина	0,8
Египет	3	Сиам	0,7
Япония	2,6	Австралия	0,4
Франция	2,4	Перу	0,3
Италия	1,8	Ю. Африка	0,3
Мексика	1,6	Канада	0,26
Чили	1,2		

Но сюда не вошли многие страны с широким применением И., не располагающие статистич. данными: Китай, Турция, Персия и др. Поэтому можно принять, что общая площадь орошаемых земель на земном шаре составляет не менее 60—70 млн. *га*.

Как в стране с резко выраженным континентальным климатом, в СССР ощущается большая потребность в И. Все сельское хозяйство ср.-азиатских республик, производящих такие ценные и необходимые продукты, как хлопок, основано на И., для развития к-рой здесь имеются чрезвычайно благоприятные условия благодаря горному характеру рек, высоким паводкам их в самые жаркие месяцы и богатству их вод питательными наносами. В дореволюционное

время в Ср. Азии орошалось посевов около 3 743 000 *га*, из к-рых в 1916 г. ок. 750 000 *га* было занято под хлопок.

Наибольшее значение в качестве источников оросительной воды имеют реки Ср. Азии: Нарын и Кара-Дарья, образующие вместе



Фиг. 1.

Сыр-Дарью; затем, правый приток ее Чирчик и приток Аму-Дарьи—Зеравшан. Из Нарына выведено 13 каналов, из которых Янги-арык, орошающий Наманганский оазис и несущий воды ок. 40 *м³/ск*, имеет в длину до 110 *км*. Из Кара-Дарьи выведено ок. 50 каналов; из них Шарихан-сай имеет в длину 111 *км* и несет до 70 *м³/ск*, а Андижан-сай—6,5 *м /ск*. Чирчик питает ок. 45 каналов, самые крупные из к-рых: Зах-арык, 77 *км* длиною, и Боз-су, несущий воды ок. 70 *м³/ск*. Из Зеравшана выведено более 100 каналов; из них Даргом и Нарпай не уступают по многоводию самым большим кара-дарьинским и чирчикским каналам. Много воды для И. дают в Ср. Азии и многочисленные горные речки, стекающие с гор по конусам своих выносов и представляющие, благодаря своему большому уклону, особые удобства для вывода из них оросительных каналов самотеком. К сожалению, крупнейшие реки Ср. Азии—Аму-Дарья, Сыр-Дарья, Или, Чу и др.—используются только отчасти, в самом верхнем течении; при выходе же на равнину они, вследствие трудности выведения из них каналов, остаются совершенно неиспользованными и непроизводительно теряют свои воды на испарение в тех замкнутых озерах, в к-рые они впадают. Исключением в этом отношении отчасти является р. Аму-Дарья, в низовьях к-рой имеется несколько крупных каналов (напр. Палван-ата, Хазават, Шах-абад, Ярмыш и др.), выведенных для орошения Каракалпакского (б. Хивинского) оазиса. Эта река в низовьях течет по возвышенному ложу, образованному ее собственными наносами, что значительно облегчает вывод из нее каналов. При более полном использовании водных источников и применении наиболее совершенных приемов вывода из них воды можно рассчитывать оросить в Ср. Азии, сверх уже орошенных земель, еще более 6 млн. *га*, пригодных для культуры хлопка. Земли, хотя и непригодные по своему климату для культуры хлопка, но требующие И., находятся в низовьях р. Сыр-Дарьи (1 160 000 *га*) и в особенности по линии Туркестано-Сибирской жел. дор.

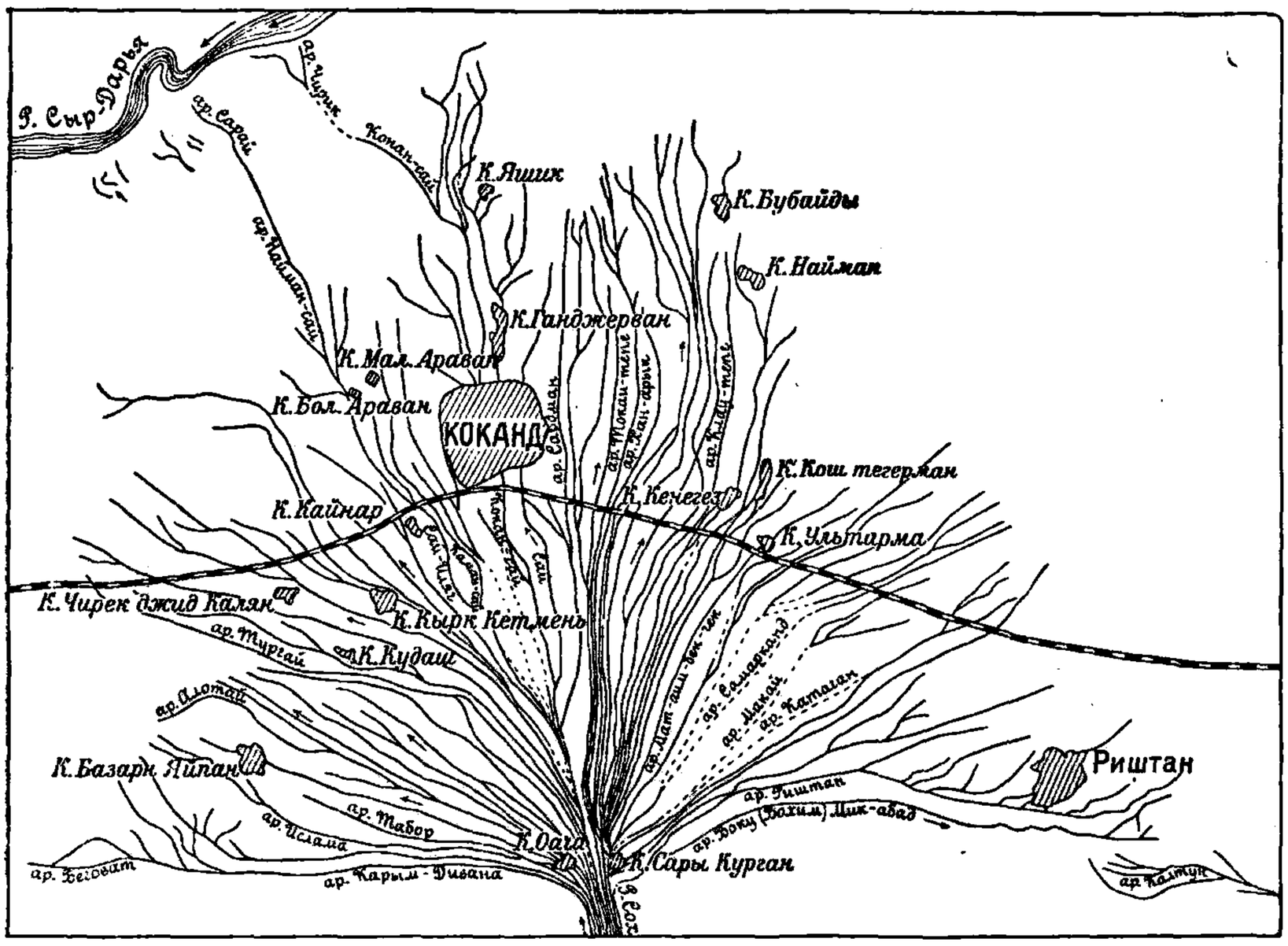
В Закавказьи (Азербайджан, Армения и Грузия) общая площадь орошаемых земель составляет (по дореволюционным данным) 1 430 000 *га*, к-рые, за небольшими исключениями, сосредоточены в восточной части (в Азербайджане и Армении). Для орошения этих земель по преимуществу служат притоки рр. Куры и Аракса. Наиболее крупные массивы земель, еще могущих быть орошенными, находятся в Муганской, Мильской и Ширванской степях.

В других частях Союза—в Нижнем Поволжьи, на юге Украины и на С. Кавказе—также имеются обширные пространства, хотя и не столь засушливые, но все же страдающие периодически от засухи. В этих местностях широкому применению И. препятствуют: недостаточность уклона рек, высокое положение страдающих от засухи земель, непригодность климата для ценных культур (хлопок) и высокая урожайность зерновых хлебов в благоприятные годы без всякого орошения. Здесь И. может практиковаться лишь небольшими участками, распределенными среди обширных пространств т. н. сухого земледелия, в целях страхования хозяйств от разорения во время засух (оазисное орошение). Однако, и здесь общая сумма площадей таких небольших участков может измеряться млн. *га*.

В небольших размерах И. применяется еще в горных частях Крыма (орошается ок. 20 000 *га* главным образом садовых культур) и в Дагестане.

Схема ирригации. Вода для И. м. б. получена как из наземных источников (реки, ручьи, озера, пруды), так и из подземных (ключей, родников, водосборных галлерей и колодцев). Первый род источников находит значительно большее применение. Так, по данным ирригационного обследования 1920 г. в С. Ш. А., из наземных источников орошалось земель 84,5%, из подземных—8,1% и из смешанных—7,4 %. Главнейшие наземные источники воды для И.—реки, из к-рых вода в большинстве случаев выводится самотеком. По америк. данным, таким способом орошается около 75% всей орошаемой площади С. Ш. А. Наиболее распространенная схема оросительной системы, получающей воду из реки самотеком, заключается в следующем. От реки, текущей со значительным уклоном, отводится канал с меньшим уклоном, чем река. Канал постепенно отдаляется от реки и на некотором расстоянии оказывается занимающим командующее положение над участком земли, расположен-

ным между ним и рекой. Такой канал обыкновенно называется г л а в н ы м, или м а г и с т р а л ь н ы м, и из него м. б. орошаема любая часть командуемой им площади. От главного канала отводятся по направлению наибольшего уклона р а с п р е д е л и т е л ь н ы е каналы, а от них — о р о с и т е л ь н ы е каналы, из которых вода уже распределяется по полям. Последние две категории каналов в совокупности составляют р а с п р е д е л и т е л ь н о - о р о с и т е л ь н у ю сеть. Эта схема вывода воды из реки самотеком является наиболее типичной и наиболее распространенной. Она изменяется только в том случае, когда горная речка протекает по конусу своих выносов или когда река возле своего устья протекает



Фиг. 2.

по приподнятому руслу, образованному ее собственными наносами. В первом случае ирригационные каналы располагаются в виде веера по образующим конуса (фиг. 2), а во втором — магистральные каналы могут отходить в направлении, перпендикулярном к реке, а распределительные и оросительные—в обе стороны от них. Чтобы излишне проведенная на орошаемые участки вода на них не застаивалась и для предупреждения подъема грунтовых вод от просачивающейся в подпочву оросительной воды, в наиболее пониженных местах орошаемых площадей устраивают особые водоотводные каналы. Они бывают разных размеров, начиная от чрезвычайно малых, собирающих сбросные воды непосредственно с полей, и кончая большими коллекторами, впадающими обратно в реку или в отдельные низины, из к-рых сбросные воды выкачивают насосами. Сеть таких каналов носит название в о д о о т в о д н о й или в о д о с б р о с н о й с е т и.

Воду из реки в главный канал направить не всегда бывает просто; для этого устраивают приспособления и сооружения, стоимость к-рых составляет значительную часть стоимости всей системы и которые необходимо содержать в постоянной исправности. Эти сооружения обыкновенно называются головными (см. *Головные сооружения*).

М а г и с т р а л ь н ы е к а н а л ы. Для удобства отвода воды уровень воды в магистральных каналах д. б. выше окружающей местности, как показано на фиг. 3, где можно видеть и другие детали—откосы, банкеты, бермы и пр. Для большей экономии в земляных работах магистральные каналы проводят обыкновенно в полувыемке и в полунасыпи, при чем количество вынутой земли делают равным количеству насыпанной. Глубина воды в магистральных каналах делается небольшой, редко больше 2 *м*, т. к. только при таких условиях можно легко использовать воду для орошения. Фиг. 3 представляет поперечное сечение магистрального канала, проходящего по ровной местности, где он служит для орошения земель. На косогорных участках, где вода из магистрального канала не выводится для орошения, его поперечное сечение получает более компактный вид с меньшей шириной русла, но с большей глубиной. Главным условием правильного проведения магистрального канала является подбор таких скоростей течения

Фиг. 3.

воды, чтобы русло канала не размывалось и не засорялось наносами, попадающими в канал из реки. Эти скорости в каждом отдельном случае зависят от свойств грунтов, по которым проходит данный канал, и от свойств воды, впускаемой в него. Средняя скорость течения воды (в *м/ск*) в каналах определяется по формулам:

$$v = c\sqrt{Ri}\ ;\ Q = vF\ ,$$

при чем $R = \frac{F}{p}$, а $c = \frac{23 + \frac{0,00155}{i} + \frac{1}{n}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{i}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}}$ (ф-ла Гангилье-Куттера) или $c = \frac{87}{1 + \frac{n}{\sqrt{R}}}$ (ф-ла Базена). В этих ф-лах: i—уклон русла канала, F—площадь его поперечного сечения, R—гидравлич. радиус, p—смоченный периметр и n—коэффициент шероховатости. Значения коэффициента шероховатости разных русел приведены в табл. 1.

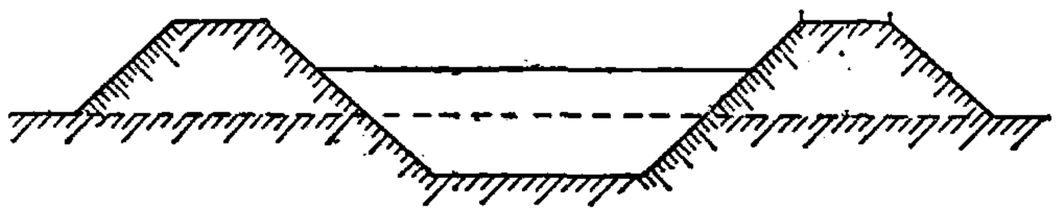
При проектировании каналов, вообще говоря, лучше им придавать несколько бóльшую скорость, т. к. при слишком малой скорости отложение наносов в канале потребует ежегодной дорогой очистки и вызовет

Табл. 1.—Коэффициенты шероховатости русла.

Характер русла	В ф-ле Гангилье-Куттера	В ф-ле Базена (новой)
Земляные русла весьма гладкие	0,018—0,020	0,85—1,00
Земляные русла средней шероховатости	0,025	1,30
Земляные русла шероховатые	0,030	1,50
Земляные русла, засоренные и заросшие растениями	0,035	1,75
Земляные русла, загроможденные камнями и друг. предметами	0,040	2,00
Очень гладкая цементная штукатурка, строганые доски, железные стенки	0,011	0,06
Нестроганые доски, каменная кладка	0,015	0,16
Бутовая кладка	0,020—0,022	0,46

потерю земли вдоль берегов канала, для склада вынутого грунта (фиг. 4).

Мероприятия по борьбе с наносами, поступающими из рек в магистральные каналы, представляют одну из главнейших забот строителей ирригационных систем. Мелкие



Фиг. 4.

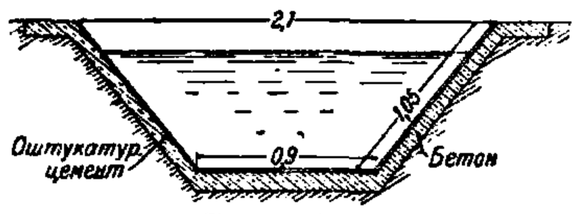
илистые частицы наносов, имеющие удобрительное значение, не представляют особой опасности, так как могут с большой пользой пропускаться на поля или же извлекаться из каналов и служить для удобрения. Наоборот, крупные наносы, галечниковые и песчаные, могут засорять удобные земли и вызывать большие расходы на их удаление с полей и из каналов. Во избежание таких наносов, при головных сооружениях ирригационных систем устраиваются особые промывные приспособления (см. *Головные сооружения*). Очень часто в русле канала, недалеко от его головной части, устраиваются особые п е с к о л о в к и, задерживающие песчаные наносы и сбрасывающие их затем, при открытии соответствующих затворов, в ту же реку, из к-рой выведена была вода. При проектировании магистральных каналов, в особенности небольших, обыкновенно принято для экономии в земляных работах проводить их согласно рельефу местности, постепенно сводя их с горизонтали на горизонталь сообразно уклону. Это очень часто вызывает необходимость придавать трасе каналов большую извилистость и малые радиусы закруглений, что может очень вредно отражаться на вогнутых откосах, размыв к-рых прямо пропорционален скорости течения и обратно пропорционален радиусу кривизны. Для определения безопасных радиусов кривизны R на поворотах предложен ряд эмпирич. ф-л; одна из лучших—ф-ла Девиса (R в *м*):

$$R = 11\,v^2\sqrt{F} + 12,$$

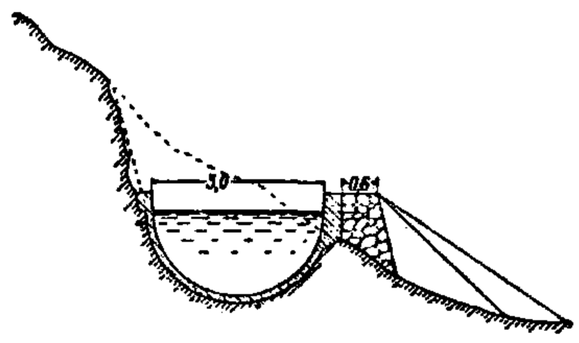
где v есть средняя скорость воды в *м/ск*, F—площадь живого сечения в $м^2$; число 12—постоянная величина, обеспечивающая минимальный радиус в 12 *м*. В более плотных грунтах величину радиуса, получаемую из этой формулы, можно несколько уменьшить, и наоборот, для легких и легко размываемых грунтов следует ее увеличить.

Когда при трасировании канала радиусы закруглений на поворотах оказываются чрезмерно малыми, канал, для обеспечения большей прямизны и сокращения длины, проводится местами в выемках и местами в насыпях.

В ирригационной системе, когда она состоит из каналов с земляными руслами, бо́льшая часть забираемой воды теряется различными способами, и только 25—35% ее расходуется полезно на питание растений. На всем пути от головного сооружения до полей орошения происходят непрерывные потери воды в каналах. Потери на испарение с водной поверхности каналов ничтожны (1—2% общих потерь) и потому редко учитываются. Потери же на фильтрацию через дно и откосы земляных каналов чрезвычайно велики, и к тому же они очень опасны, т. к. способствуют подъему грунтовых вод, заболачиванию и засолению почвы. Лучшим способом предохранения каналов от фильтрации является бетонирование их русла (фиг. 5 и 6), благодаря чему потери уменьшаются на 90%, а равно уменьшаются расходы по очистке каналов от наносов, по удалению из них водяных растений, по исправлению оползней и обвалов; кроме того, в бетонированных руслах можно безопасно увеличить скорость течения воды до 3 *м/ск* и более. Расходы на бетонирование окупаются экономией в земляных работах, т. к. благодаря увеличению скорости течения воды можно уменьшить площадь поперечного сечения. Толщина слоя бетона, которым одеваются каналы, находится в зависимости гл. обр. от климата. В суровом климате, с морозами до —20°, слой бетона д. б. 0,3 *м*, в климате же мягком, когда понижение $t°$ ниже 0° представляет редкое явление, можно ограничиться слоем в 0,1 *м*. При бетонировании ирригационных каналов необходимо заботиться о хорошем дренаже под бетонной одеждой и об устройстве темп-рных швов. Бетонирование каналов обыкновенно ведется непосредственно в их русле, путем набивки в формы или путем покрытия из «цемент-пушки»; в нек-рых же случаях бетонная одежда заготовляется отдельно в виде плит или железобетонных полуколец, соединяемых в русле канала цементной спайкой.



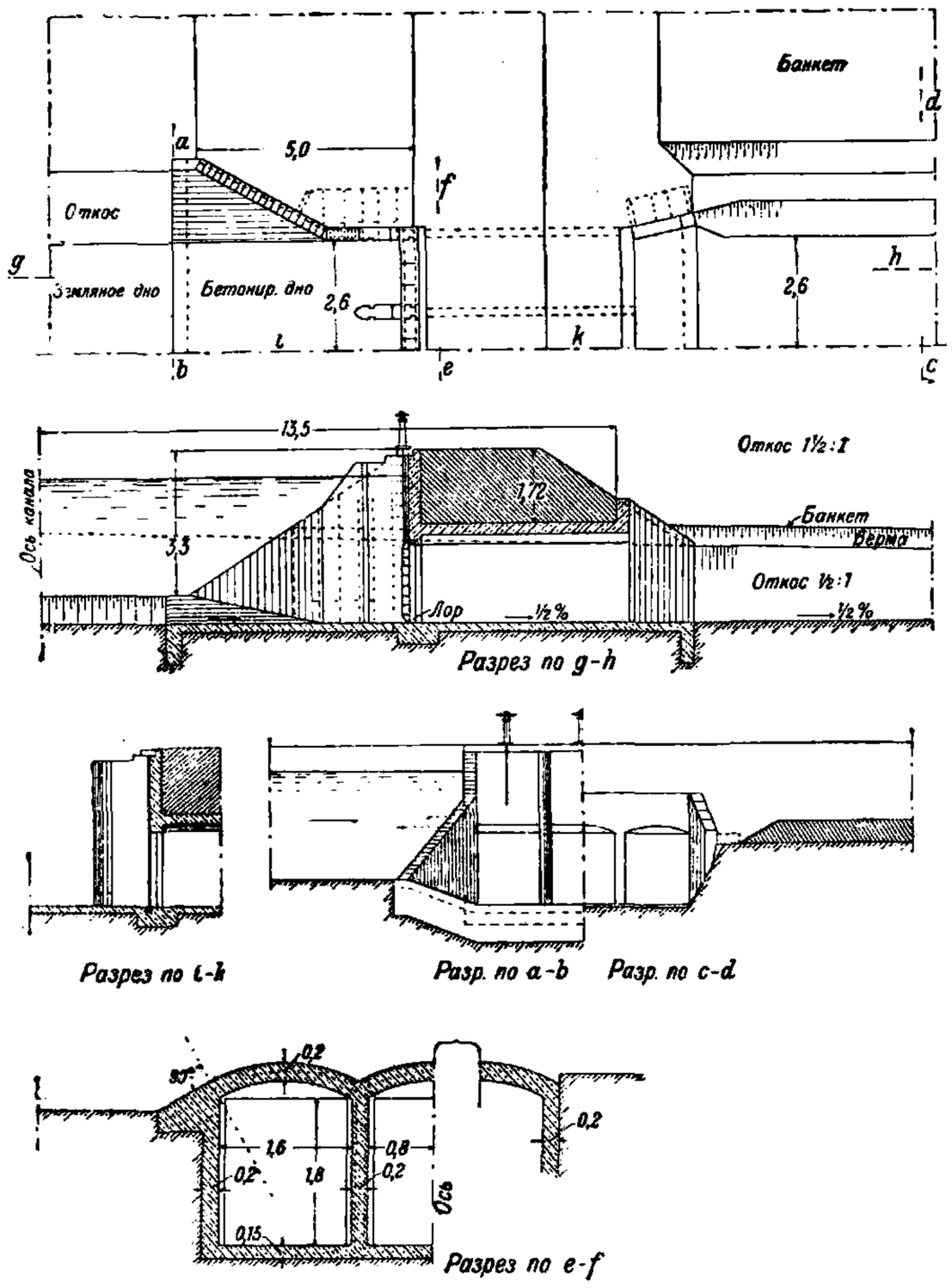
Фиг. 5.



Фиг. 6.

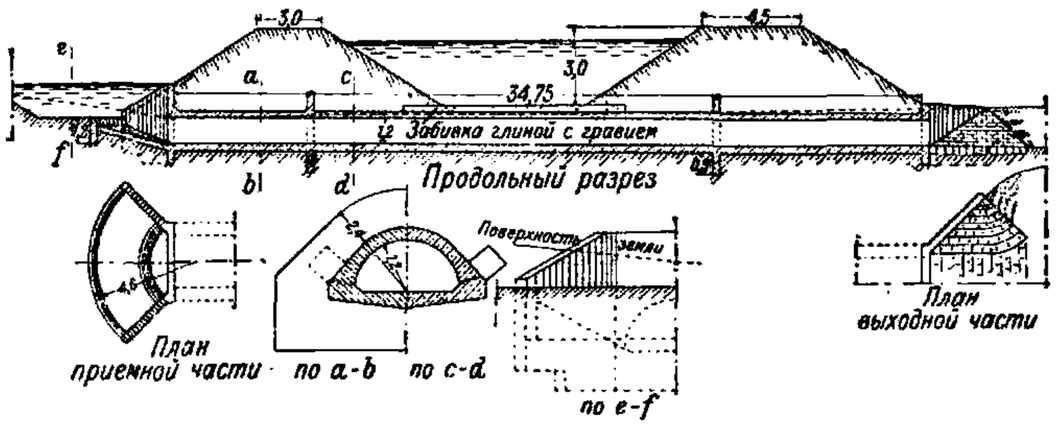
Каждый значительный магистральный канал снабжается по пути его следования целым рядом искусственных сооружений, необходимых для правильной его эксплоатации. Для предотвращения переполнения и, как следствие этого, размыва берегов канал снабжают водосливами, устройство которых заключается в понижении небольшой части

банкета канала, обращенного к реке, до проектного уровня воды и в соответствующем укреплении этого участка бетонной или каменной кладкой. Излишняя вода, попавшая в канал, переливается через такой водослив и по укрепленному руслу уходит обратно в реку. Такие водосливы располагаются обыкновенно непосредственно ниже



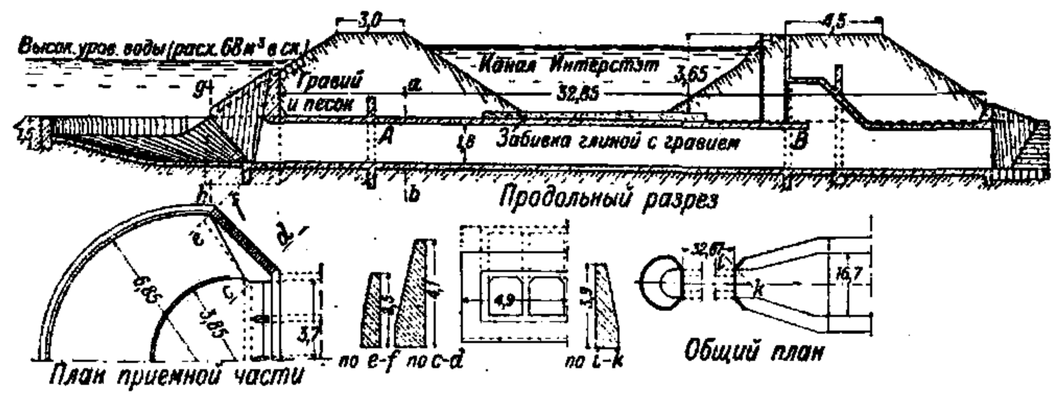
Фиг. 7.

головного сооружения канала, а также перед всеми опасными местами канала, например перед косогорными его профилями, где можно ожидать обвалов и перепружива-ния канала. Для возможности освобождения магистральных каналов от воды, например с целью ремонта, в нескольких местах, наиболее опасных, располагают в о д о с б р о с ы (фиг. 7), т. е. в банкете канала, обращенном к реке, устраивают укрепленные каменной или бетонной кладкой и закрываемые щитами отверстия, через к-рые вся вода из



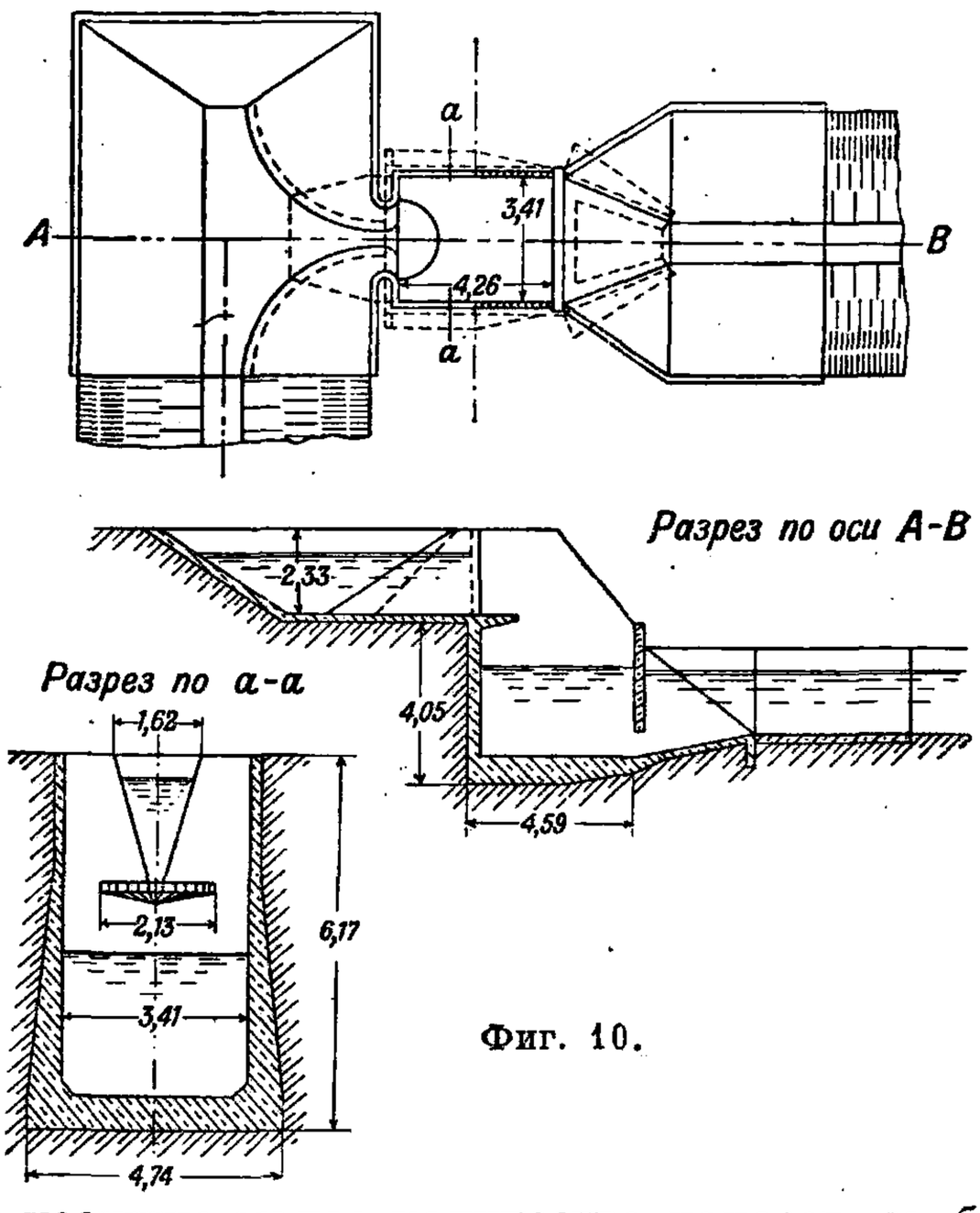
Фиг. 8.

канала может быть выпущена к реке. Для пропуска дождевой или ливневой воды по низинам, пересекаемым магистральными каналами, устраиваются л и в н е с п у с к и (фиг. 8). Иногда для экономии они соединяются с водосбросами (фиг. 9). Когда канал пересекает значительные низины, балки, овраги или же реки, то он переводится через них при помощи особых сооружений, а к в е д у к о в; расчет и конструкция опорных частей акведуков отвечают общим



Фиг. 9.

правилам дорожных мостов, верхнее же строение их представляет собою жолоб для пропуска воды канала. Если почему-либо нельзя применить акведук, то устраивают *дюкер* (см.), или так наз. обратный сифон. Составными частями сифона являются верхний и нижний колодцы, труба и верхний и нижний бьефы канала. Сифоны в верхнем (а часто и в нижнем) колодце снабжаются решетками для улавливания всякого рода плавающих тел. Вода движется по сифону в силу разности отметок горизонтов в верхнем и нижнем колодцах. Небольшие водные потоки, пересекающие магистральный канал приблизительно на одном с ним уровне

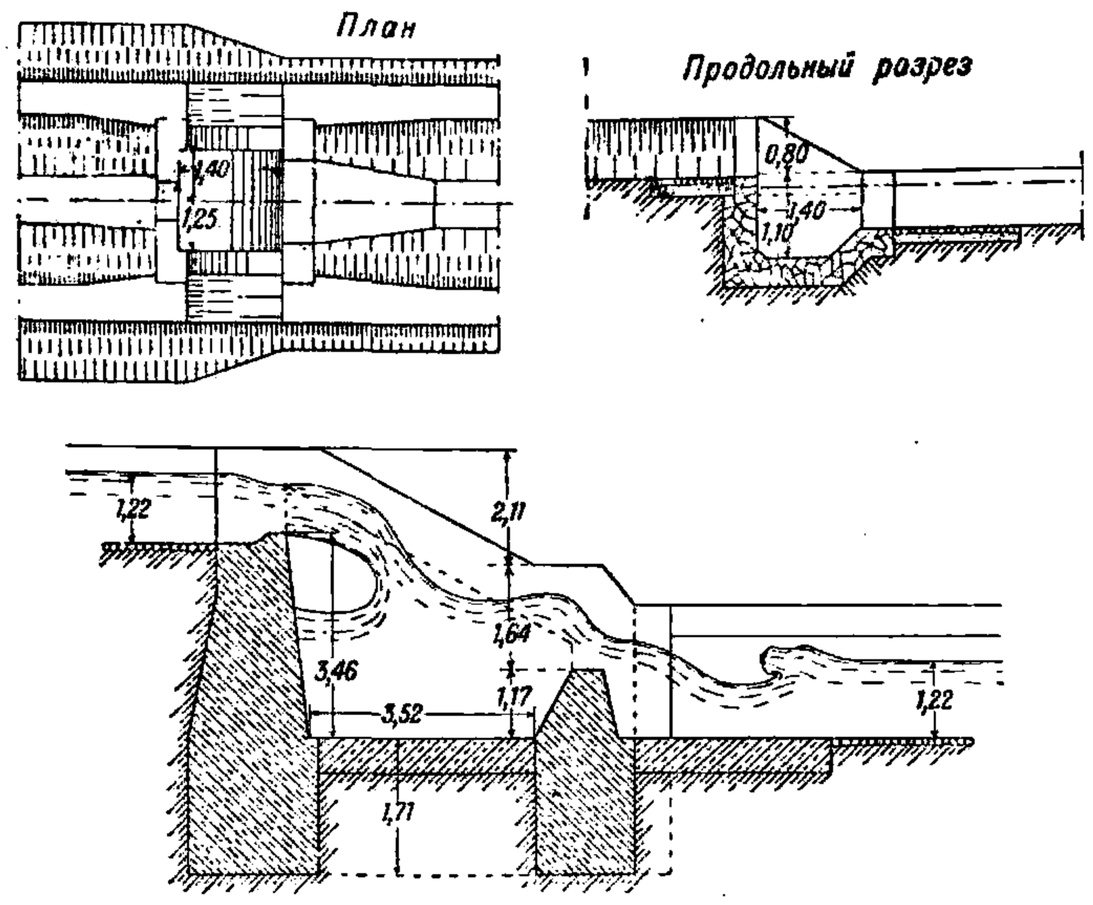


Фиг. 10.

и несущие малое количество наносов, м. б. впущены в канал без большого вреда. Если же поток имеет большие размеры и несет большое количество воды с высокой скоростью, то этого допускать нельзя, т. к. вода, насыщенная наносами, занесет русло канала и вызовет переливание воды через банкеты и размыв их. В таких случаях прибегают к т. н. с ю п е р п а с с а ж а м, к-рые представляют собою невысокий акведук, по жолобу к-рого проходит вода потока, а под ним—вода канала.

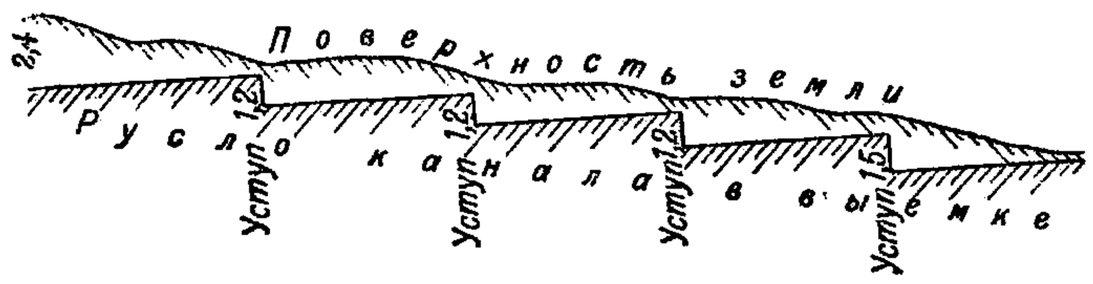
Если уклон русла, определенный расчетом, меньше уклона местности, по которому приходится проводить канал, то в нек-рых местах канала устраиваются уступы, или п е р е п а д ы (фиг. 10 и 11). Место перепа-

да обыкновенно определяют там, где дно канала при своем продолжении поднялось бы в насыпи выше поверхности земли



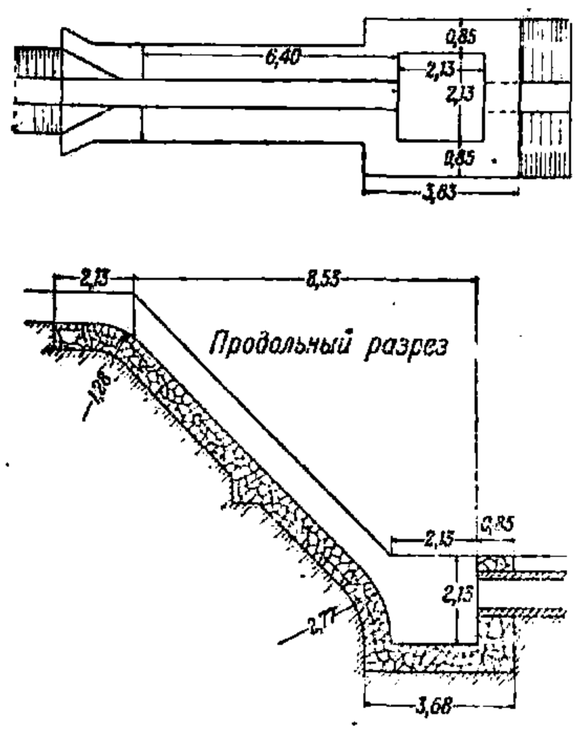
Фиг. 11.

(фиг. 12). Ради экономии перепады стараются приурочить к мосту на большой дороге, регулятору на канале или другому каменному или бетонному сооружению. Высота ступени перепада редко делается выше 4,0—5,0 *м*. Вместо перепада с большой высотой устраивают многоступенчатый перепад или



Фиг. 12.

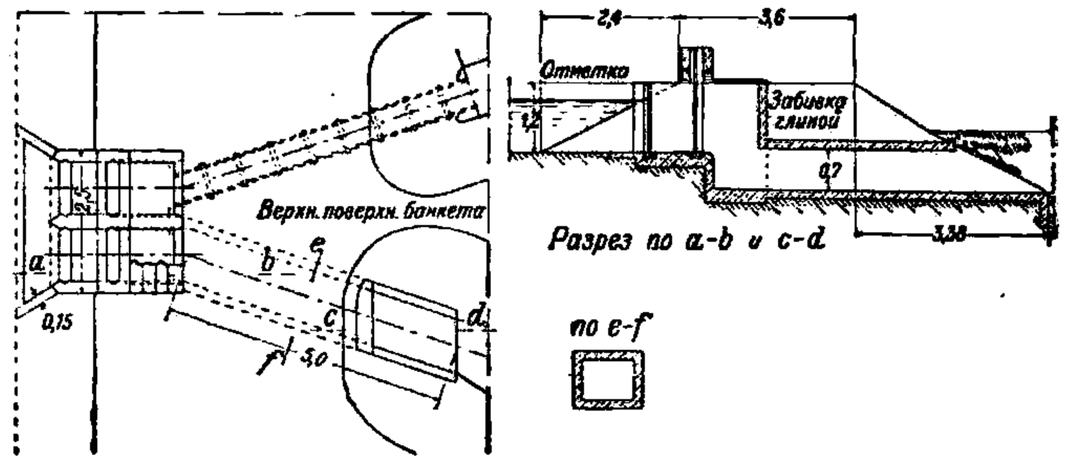
последовательный ряд одноступенчатых перепадов. При незначительных уклонах перепад заменяют б ы с т р о т о к о м (фиг. 13), который, в виду значительной скорости, снабжается в нижнем бьефе водобойным ящиком. Длина быстротоков обычно делается не более 40,0—50,0 *м*. Перепады и быстротоки на больших каналах теперь часто сопровождаются устройством гидроэлектрич. станций.



Фиг. 13.

В тех местах, где от магистрального канала должны отходить его ветви (распределительные каналы), располагаются сооружения, называемые р е г у л я т о р а м и, или в о д о д е л и т е л я м и, назначение которых отделять от магистрального канала количество воды, необходимое для орошения определенных участков орошаемой площади. На оросительных системах туземного типа эти сооружения носят временный характер и по конструкции мало отличаются от головных сооружений тех же магистральных каналов. На системах же инженерного типа они бывают постоянными и снабжаются затворами и щитами, допускающими строго точный раздел и измерение воды (фиг. 14).

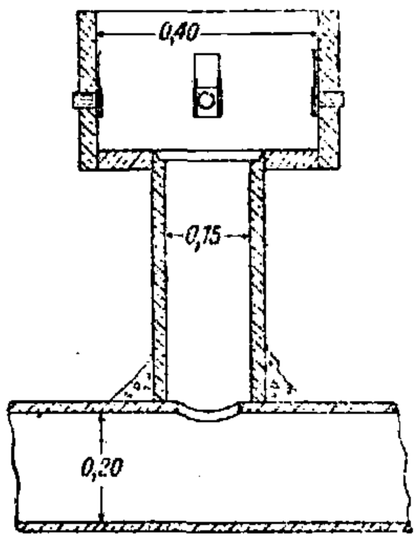
Р а с п р е д е л и т е л ь н ы е к а н а л ы по конструкции своей отличаются от магистральных каналов лишь размерами. Они также проводятся большей частью в полувыемке и в полунасыпи и снабжаются почти такими же сооружениями, как и магистральные



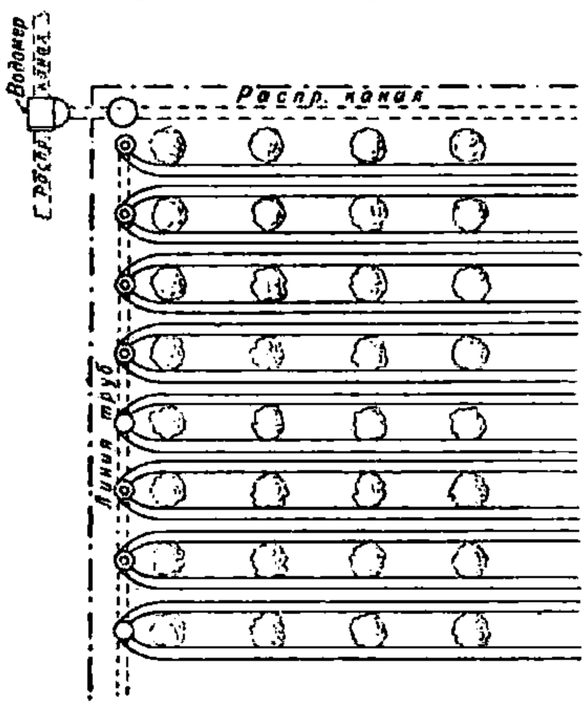
Фиг. 14.

каналы. В виду того что они обыкновенно проходят с большими уклонами, на них особенно часто устраивают перепады.

О р о с и т е л ь н ы е к а н а л ы, подводящие воду к отдельным орошаемым участкам, или околоткам, имеют еще меньшие размеры. Их пропускная способность обыкновенно бывает около 0,03 $м^3/сек$. Так как вода из них выпускается непосредственно к орошаемым растениям, то их стараются проводить либо в насыпных берегах, либо также в полувыемке и полунасыпи. Во всяком случае уровень воды в них д. б. выше поверхности земли. Для избежания больших потерь в мелких оросительных каналах их очень часто заменяют в районах интенсивного хозяйства (садоводство) желобами и трубами. Трубы бывают трех родов: бетонные, глиняные и деревянные. Наиболее ходовые размеры труб: 15—30 *см* диам. при толщине стенок 2,5—4,0 *см*. Для выпуска воды на поверхность к подземным трубам прикрепляют трубчатые стойки с различными приспособлениями для равномерного распределения воды по оросительным бороздам (фиг. 15 и 16). При закрытии трубы ниже стойки вода поднимается по



Фиг. 15.

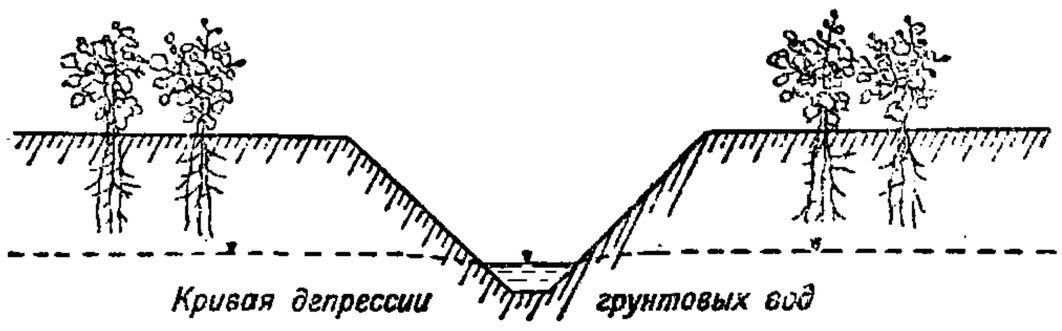


Фиг. 16.

стойке и через отверстия попадает в борозды. Бетонные трубы не выдерживают напора воды более 3—5 *м*. Если же требуется несколько больший напор, то применяются глазурованные глиняные трубы. В нек-рых американских садах водоснабжение устраивается при помощи деревянных труб, собранных из отдельных клепок и стянутых железными обручами.

Каналы водоотводной, или водосбросной, сети, в отличие от каналов сети распределительно-оросительной, располагаются обыкновенно в наиболее пониженных местах оро-

шаемой площади и устраиваются исключительно в выемке (фиг. 17), для того чтобы они могли собрать излишние и фильтрованные воды и отводить их с орошаемых площадей. Расчет каналов водоотводной сети зависит от количества воды, отводимой с орошаемых площадей; последнее, в свою очередь, зависит от многих причин: от оросительных норм принятых водооборотов, проницаемости дна и откосов, проницаемости почв и подпочв,



Фиг. 17.

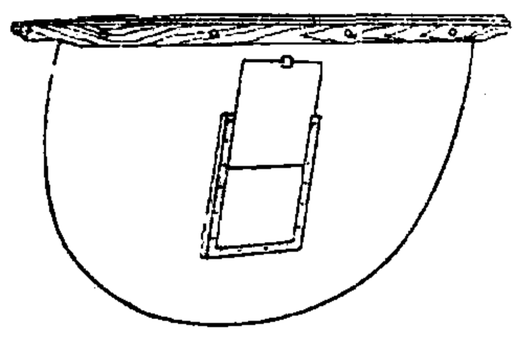
уклонов и пр., и обыкновенно определяется опытом. В среднем расход воды водосбросной сети для систем средней интенсивности может составить около 25% от расхода оросительной сети.

Потребность в воде. Состав культур на орошаемых площадях находится в полной зависимости от климата местности. На орошаемых землях наиболее теплых районов Ср. Азии и Закавказья основными культурами являются хлопок, рис, люцерна, фруктовые деревья (до миндаля включительно), виноград и зерновые хлеба (пшеница, ячмень, просо, овес, джугара и др.); из них в северных районах Ср. Азии постепенно выпадают: хлопок, рис, виноград, более требовательные сорта фруктов, и на первое место становятся: зерновые хлеба, люцерна, сахарная свекла, кенаф, менее требовательные к теплу фруктовые деревья (яблоки, груши, сливы, вишни и пр.), огородные овощи и бахчевые растения (арбузы, дыни). В засушливых местностях Заволжья основными культурами ирригационных систем м. б.: картофель, люцерна, сахарная свекла, кенаф, огородные овощи, фрукты (яблоки) и зерновые хлеба. Потребности тех или иных культур в оросительной воде определяются прежде всего индивидуальными особенностями растений, а затем местными природными условиями. Теоретически установить потребности отдельных культур в оросительной воде невозможно, и при определении количества воды, потребной для орошения, необходимо обращаться к экспериментам, культивируя растения в особых сосудах или же на особых поливных площадках и производя измерения вводимой воды.

Из растений, культивируемых на оросительных системах, менее всего воды требуют зерновые хлеба, хотя орошение отражается очень благоприятно на их росте, обеспечивая постоянные и обильные урожаи. Орошать зерновые хлеба следует 2—3 раза в лето. Если почва очень суха, первый полив делается еще до посева; если же почва достаточно влажна, первый полив откладывается до начала кущения. Второй или третий поливы даются в периоды цветения или начала плодоношения. Количество воды, применяемой при орошении зерновых хлебов, зависит от климата и свойств почвы. В жарких местностях и при легких, хорошо дренируемых почвах применяется воды за один полив до 6 000 $м^3/га$. Напротив, в более холодном климате и при тяжелых почвах это количество понижается до 2 000 $м^3/га$ и ниже. На втором месте по потребности в оросительной воде стоят всякого рода пропашные растения — хлопок, сахарная свекла, картофель, кукуруза, сорго и др. Хлопок в Ср. Азии, по данным опытных станций, должен поливаться ок. 4 раз в лето, с расходом воды 4 000 ÷ 6 000 $м^3/га$, при чем наибольшее количество воды дается во время цветения. Сахарная свекла орошается 2—4 раза, и за каждый раз тратится 1 000÷1 500 $м^3/га$ воды. Картофель также орошается 2—4 раза, и одно из этих орошений дается перед посевом. Общее количество воды для орошения картофеля составляет за все лето 3 000—6 500 $м^3/га$. Почти такого же орошения, как и пропашные растения, требуют правильно содержимые фруктовые сады, особенно если их междурядья содержатся в состоянии черного пара. В садовых районах Крыма в незасушливые годы деревья поливают 3—4 раза, а в засушливые 6—7 раз. При очень влажном лете и для садов, расположенных в низменных местах, ограничиваются 2—3 поливами. Первый полив производят вслед за цветением деревьев—в конце апреля или в мае, второй дается в июне, третий в июле, четвертый в августе. Последний полив делается не позже середины сентября. На каждое дерево дается до 6 $м^3$ воды, а на очень плотных почвах—ок. 3,5 $м^3$. При 130 деревьях на $га$ это составляет от 500 до 800 $м^3$, а за все лето—1 500÷6 000 $м^3$. На третьем месте по потребности в оросительной воде стоит люцерна, культура которой наиболее развита на ирригационных системах вследствие ее высокой рентабельности, окупающей оросительную воду. Люцерну поливают один раз весною, и потом после каждого укоса, к-рых в Нижне-Волжском крае бывает 2, а в наиболее теплых местах Ср. Азии—до 5. При средних условиях, на 1 $га$ люцернового посева следует давать за все лето 6 000—8 000 $м^3$ воды, в зависимости от числа укосов. На четвертом месте стоят огородные овощи, к-рые д. б. постоянно в зеленом состоянии. Огороды в засушливых местностях приходится орошать очень часто—каждые 10 дней и даже каждую неделю. Общее количество воды для них достигает 10 000 $м^3/га$ и более, но при каждом поливе, вследствие тщательности разделки площади, ее тратится относительно немного: 700÷1 000 $м^3/га$. Более всего воды для орошения требует рис, к-рый от посева и почти до созревания должен находиться в воде. Он разводится на ирригационных системах Ср. Азии приблизительно до 44° сев. широты и примерно до той же широты может разводиться и на Кавказе. Для орошения риса требуется воды до 30 000—40 000 $м^3/га$. Надо иметь в виду, что с рисовых полей стекает от $^1/_3$ до $^1/_2$ напускаемой на них воды. Эта сточная вода м. б. ниже вновь применена для орошения.

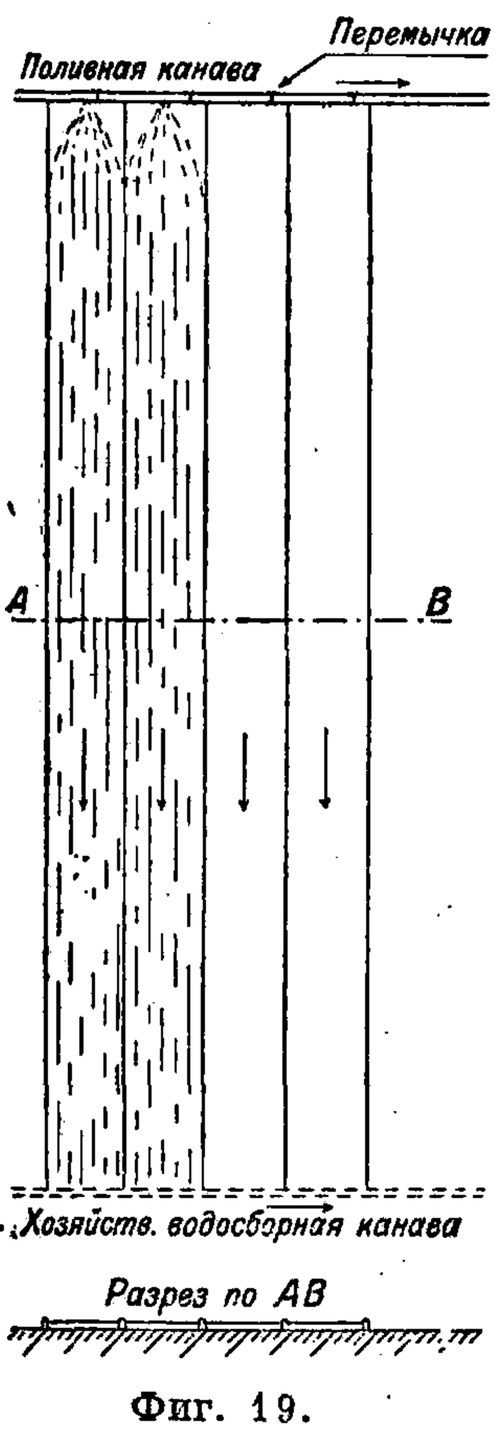
Подготовка почвы. Если под искусственное орошение поступают совершенно дикие земли, никогда ранее не обрабатывавшиеся, то они д. б. предварительно подвергнуты соответствующей подготовке, заключающейся

в удалении дикой растительности и выравнивании их. В местности, покрытой травою или небольшими кустами, такая растительность легко удаляется при вспашке; напротив, когда степь покрыта зарослями крупных кустарников, удаление дикой растительности требует специальных приспособлений и обходится дорого. На ирригационных системах СССР кустарники выкорчевываются обыкновенно при помощи ручного труда, в Америке же применяют особые волокуши, устраиваемые из обыкновенного ж.-д. рельса, в к-рый впрягается по паре лошадей с каждой стороны. Рельс этот протаскивается, преимущественно зимою, когда земля замерзнет, через заросли несколько раз в противоположных направлениях и выламывает кустарник; последний собирают в кучи и сжигают, корни же выпахиваются тяжелыми плугами.



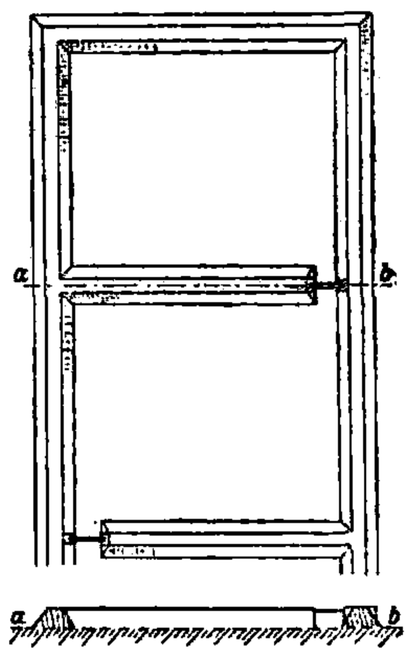
Фиг. 18.

Способы полива. Способы полива (непосредственного орошения) м. б. разделены на 2 группы: орошение путем разлива воды по поверхности почвы (орошение затоплением) и орошение путем подвода воды к корням растений снизу и с боков (орошение инфильтрацией). К первой группе относятся способы полива: 1) напуском, 2) полосами, 3) площадками и 4) трубами. Полив напуском является самым примитивным из всех способов орошения посевов. При нем мало заботятся о тщательном выравнивании почвы, и вода при помощи канала подводится к наиболее возвышенной части поля и распределяется по нему посредством редких канавок, которые перепруживают при помощи специальных заслонок (фиг. 18), брезентовых запрудок или просто пучков травы. Нижний берег канавок раскапывается, и вода выливается на посевы. От поливщика требуется значительное искусство в распределении воды, для чего ему все время приходится ходить по орошаемому полю и следить за правильным распределением струй. Этим способом поливают в гористых местностях зерновые хлеба и люцерновые посевы.



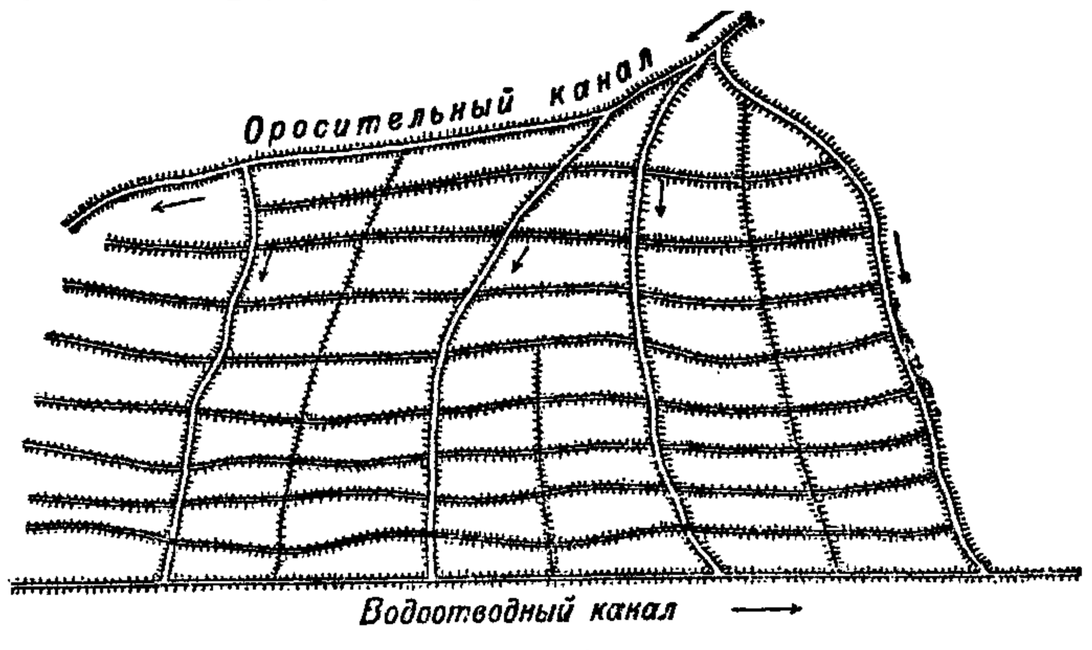
Фиг. 19.

Более совершенным способом полива является способ полос, на к-рые разделяется орошаемое поле (фиг. 19). Полосы отделяются друг от друга невысокими валиками и выравниваются т. о., чтобы они имели небольшой продольный уклон и были горизонтальны в поперечном направлении. Вода напускается в каждую полосу из канала, идущего вдоль верхнего края поля, и стекает при помощи шлюзового затвора в расположенную ниже полосу. При этом способе вода распределяется гораздо более равномерно, труда от поливщика требуется меньше, и урожаи получаются более равномерные. Этот способ практикуется главн. обр. в С. Ш. А. для орошения зерновых хлебов и люцерны на легких открытых почвах, но здесь требуются относительно большие потоки (количества) воды — от 0,05 до 0,2 *м³/сек.*



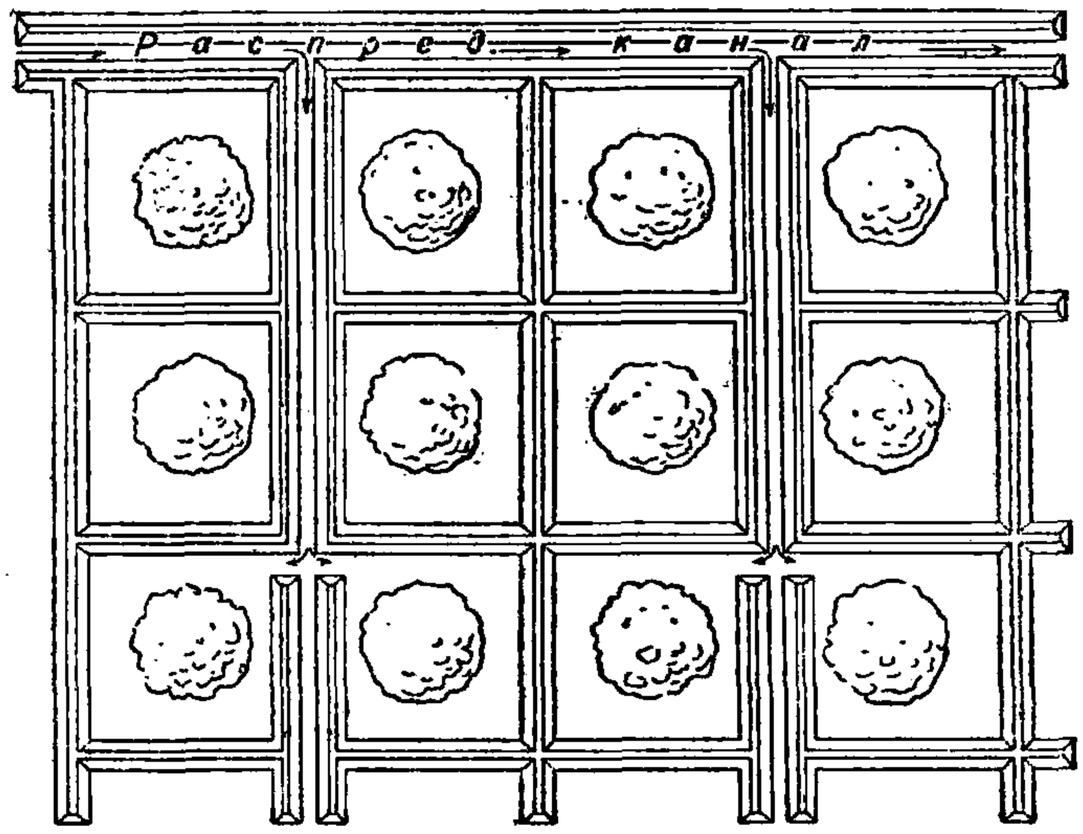
Фиг. 20.

Еще более совершенным способом полива является способ площадок, или «чеков» (checks). Поле разбивается при этом на ряд горизонтальных небольших участков, отделенных один от другого низкими валиками. В участки напускается вода и стоит в них, пока не напитает достаточно почву. Валики располагаются двояко: или под прямым углом друг к другу, образуя прямоугольники



Фиг. 21.

(фиг. 20), или же по горизонталям местности, образуя площадки неправильной формы (фиг. 21). Этому способу наиболее благоприятствует легкая песчаная почва с равномерным уклоном в 0,0002—0,0006 на единицу длины, при обеспеченном притоке оросительной воды, хотя он применяется и на

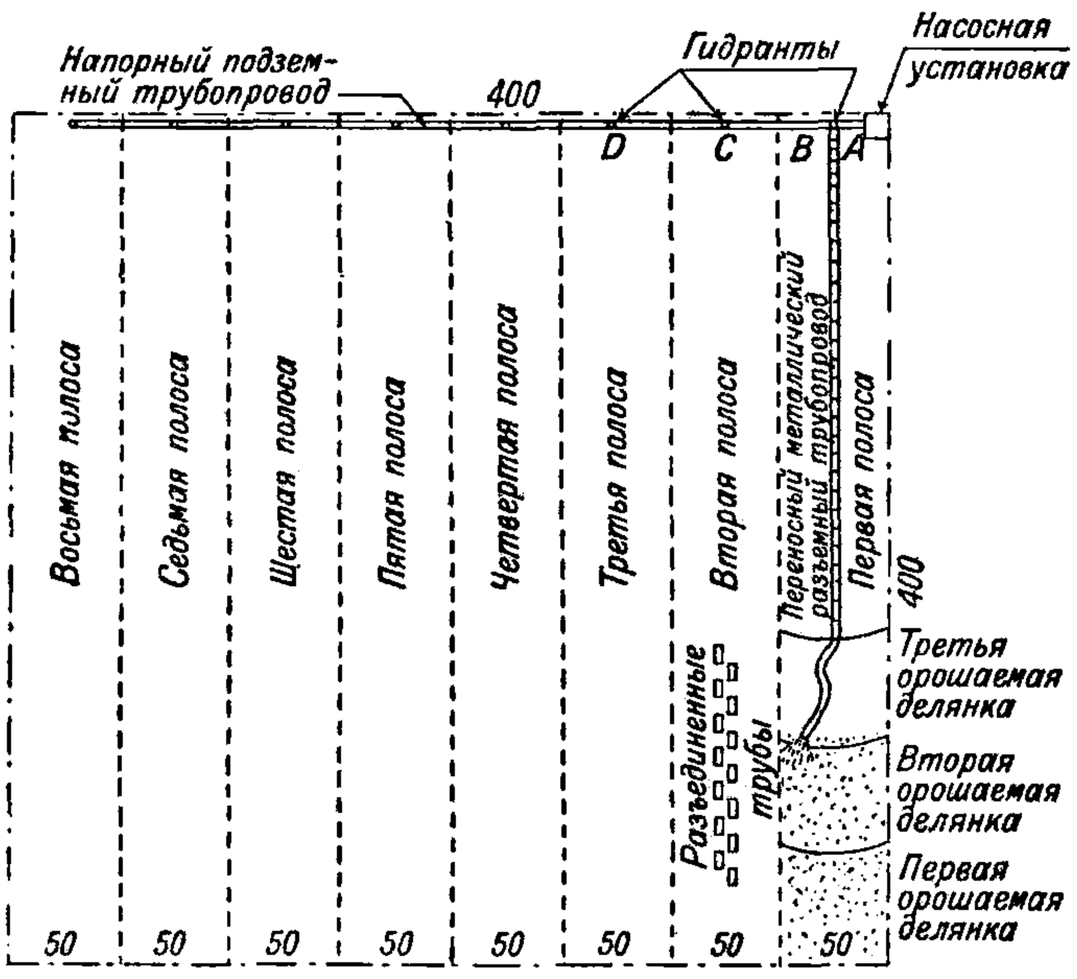


Фиг. 22.

более тяжелых почвах, когда нужно продержать воду дольше, чтобы обеспечить достаточное всасывание. В С. Ш. А. таким способом орошаются зерновые хлеба, люцерна и рис, тогда как в Ср. Азии и Закавказьи—

почти исключительно рисовые посевы. В несколько измененном виде полив площадками применяют для орошения фруктовых садов и огородов. Деревья располагаются строго по квадратам, и ок. каждого дерева устраивается площадка или бассейн (фиг. 22). Вода из канала протекает по валику между двумя рядами бассейнов, поочередно, по парам, напускается в них и держится до тех пор, пока не напитаются в достаточной степени корни деревьев. По окончании полива, когда почва несколько подсохнет, поверхность бассейнов разрыхляется во избежание обратного поднятия влаги кверху по капиллярам и испарения ее. Способ площадок широко применяется в Калифорнии, главным образом для орошения земляники (клубники), цветов и некоторых овощей.

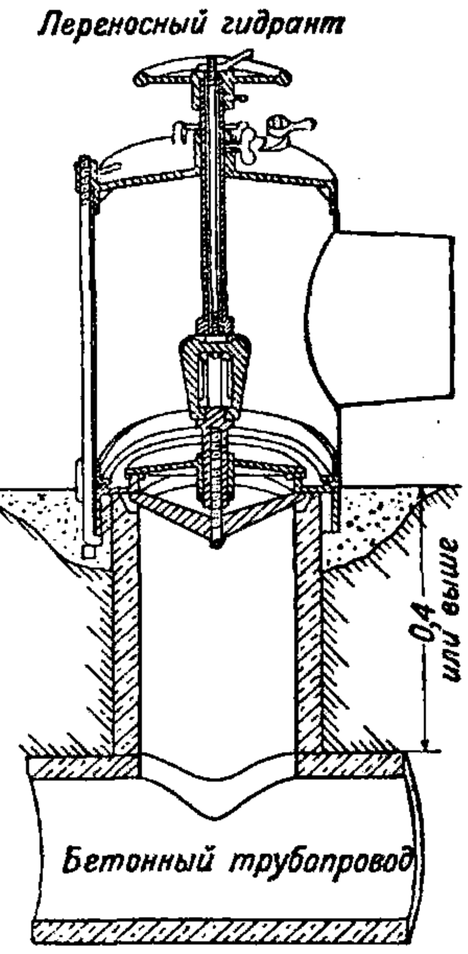
Очень часто полив культур производится при помощи разъемных переносных металлических труб или парусиновых шлангов, по которым вода доставляется непосредственно к поливаемым местам поля. Орошаемая площадка разбивается при этом на полосы 30—50 *м* шириной и длиной не более 400 *м*. Полосы поливаются частями, и после окончания полива части полосы трубы снимаются, производится полив следующей части полосы, а освободившиеся трубы переносятся на соседнюю полосу (фиг. 23). При этом способе не только уничтожаются потери в поливной сети, но и потери на полях достигают минимума, т. к. вода доставляется непосредственно к увлажняемому месту поля. Для получения равномерного увлажнения желательна предварительная подготовка поверхности поля в виде тщательной планировки. Гидранты, соединяющие подземные напорные трубы с трубами, расположенными на поверхности поля, обыкновенно представляют собою кусок бетонной трубы, поставленной вертикально и соединенной на цементном растворе с подземной трубой



Фиг. 23.

(фиг. 24); с верхней стороны к этой трубе прикреплено колено из железной оцинкованной трубы, к к-рому присоединяется парусиновая кишка, передающая воду в переносные трубы. Когда орошение из данного гидранта не производится, он закрывается деревянной пробкой. Разъемные переносные трубы диаметром 30—40 *см* делаются обычно из оцинкованного железа и состоят из отдельных звеньев длиной ок. 3 *м*, достаточно легких для переноски. Один конец труб имеет слегка коническую форму, чтобы при соединении их можно было получить достаточно плотное и водонепроницаемое соединение. Во избежание порчи растений трубы иногда укладывают на легкие переносные козлы. Этот способ находит, однако, вследствие своей дороговизны, крайне ограниченное применение, родиной его является южная Калифорния, где он применяется для полива люцерны и кормовых культур и в меньшей мере—для полива садов.

Переносный гидрант

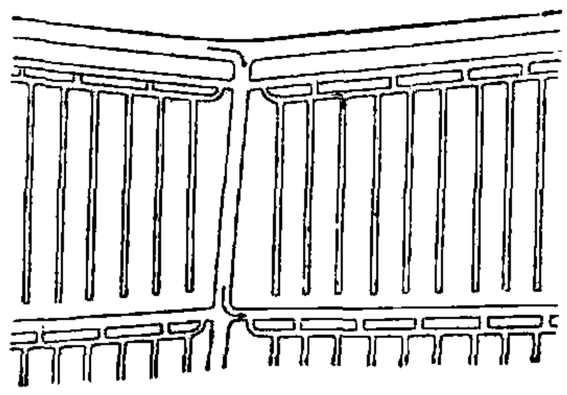


Фиг. 24.

Все вышеописанные способы орошения затоплением м. б. применяемы на легких почвах, неспособных от действия воды спекаться и образовывать корку, а также для тех растений, шейки к-рых (между корнем и стеблем) не боятся смачивания водой. В противном случае приходится прибегать к поливам инфильтрацией, которые бывают 3 видов: бороздами, грядами и джояками.

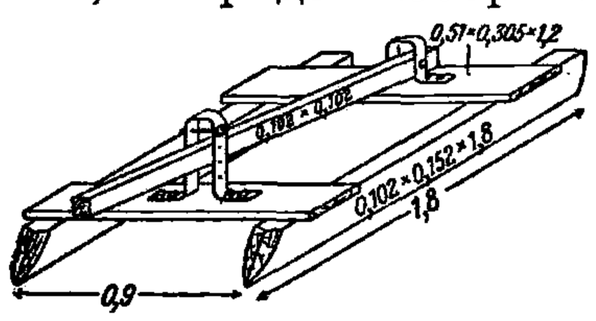
При орошении б о р о з д а м и поле покрывается рядами небольших узких и мелких борозд, по которым пускается вода. Вода впитывается через дно борозд и передается корням, не смачивая непосредственно поверхности почвы в промежутках между ними. Водопроводящие каналы строят поперек поля, оросительные же бороздки—вдоль уклона или под известным углом к нему, в зависимости от ската поля. Каналам придается самый ничтожный уклон, для того чтобы при перепруживании канала вода равными струйками выливалась во все бороздки, расположенные выше подпрудок. В некоторых местностях на таких каналах устраиваются на известном расстоянии один от другого деревянные или бетонные затворы, между к-рыми поддерживается совершенно горизонтальный уровень воды. Затворы снабжаются заставками, при помощи к-рых можно подпруживать воду до желаемой высоты, давая вместе с тем возможность излишней воде сливаться вниз по каналу; вода выпускается из канала в бороздки при помощи трубочек или ящиков, которые сколачивают из дранок и вкапывают в нижний берег канала. Эти трубочки располагаются в одной горизонтальной плоскости, несколько выше низкого уровня воды в канале, когда затворы открыты. Когда же затворы закрываются, вода поднимается и равномерно затопляет устья трубочек, через к-рые и вытекает в бороздки. В других местностях вода из водопроводящего канала отводится в бороздки при помощи простого раскапывания берега канала, без посредства трубочек, и распределяется между отдельными бороздками при помощи лопаты; при этом

способе от поливщика требуется постоянный надзор за распределением воды, что является совершенно излишним при применении трубочек. Иногда вода в бороздки направляется не прямо из канала, а идет сначала в особую распределительную канавку и затем из нее, при помощи раскапывания ее берегов, пропускается в бороздки (фиг. 25).



Фиг. 25.

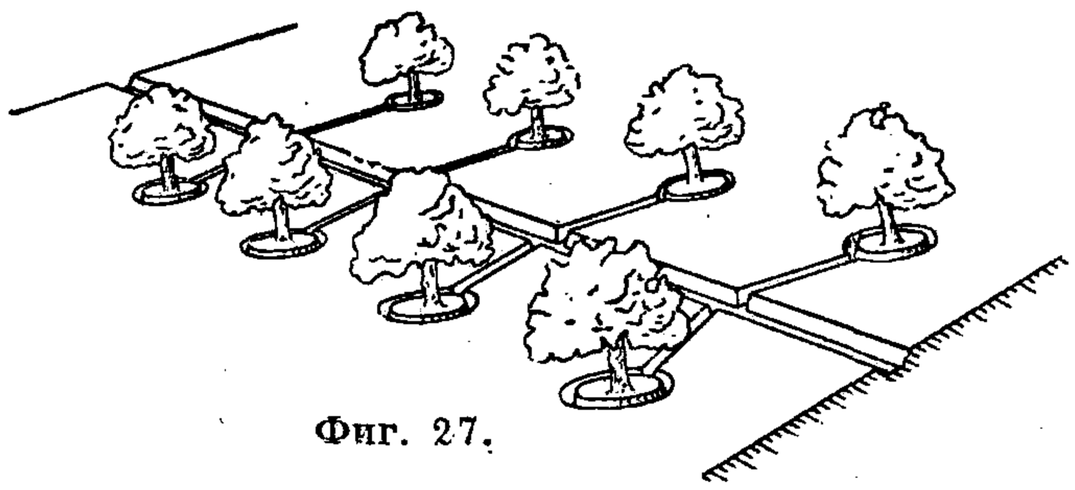
Последний способ применяется обыкновенно на легко размываемых почвах. Способ борозд может применяться при орошении всякого рода культур, но особенно часто он применяется (в Америке) при орошении огородов и плодовых садов. При мелких бороздах промежуток между ними достаточен в 0,75 *м*, при глубоких же—промежутки доходят до 1,5 *м*. Для проведения борозд можно пользоваться простыми орудиями, в роде изображенного на фиг. 26.



Фиг. 26.

В орошаемых районах Крыма борозды проводятся вокруг садовых деревьев кольцеобразно, с расчетом, чтобы вода подводилась непосредственно к мелким корням деревьев, к-рые располагаются под краями кроны (фиг. 27).

Нек-рым видоизменением способа орошения по бороздам является способ орошения по грядам, применяемый на огородах. При этом способе растения располагаются на грядах шириною ок. 1 *м* и самой разнообразной длины, совершенно так же, как это делается при огородничестве без орошения в центральных округах РСФСР; вода же пускается с малым уклоном по бороздам, проведенным между грядами, и орошает растения путем капиллярного просачивания. Такой способ обыкновенно практикуется на почвах более тяжелых, обладающих капиллярными свойствами. В самое жаркое время огородники при помощи лопат выплескивают воду из борозд на гряды для увлажнения самих растений. Этот способ особенно

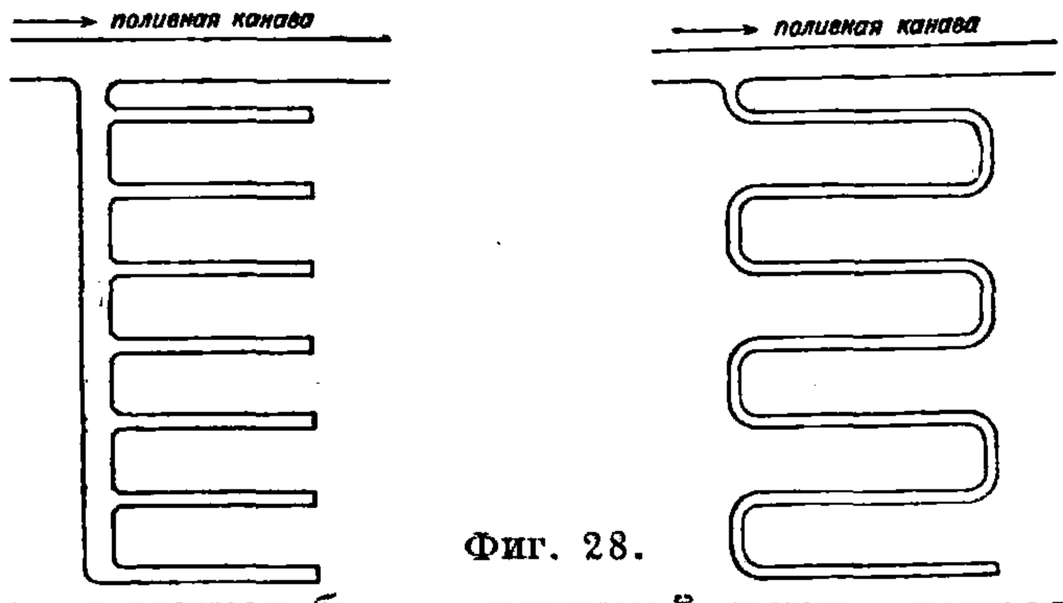


Фиг. 27.

пригоден для местностей, в к-рых, несмотря на преобладание засушливой погоды, среди лета иногда случаются большие дожди, подтопляющие растения. При таком способе это подтопление становится невозможным, т. к. растения расположены высоко на грядах, глубокие же борозды хорошо отводят воду.

Способ полива джояками, распространенный в хлопковых районах Ср. Азии, немногим отличается от способа междугрядного орошения (фиг. 28). В случае больших уклонов, преобладающих на полях Ср. Азии, гряды (джояки) проводятся не в прямом направлении, а зигзагами. Растения располагаются на самых джояках, вода же медленно протекает по междурядиям, постепенно увлажняя с боков корни растений. Так обыкновенно орошаются в туземных хозяйствах посевы хлопка.

Искусственным орошением в местностях с засушливым климатом можно достигать поразительных результатов. Сухие и бесплодные пустыни превращаются в цветущие поля и сады, а доходность засушливых земель увеличивается в десятки и сотни раз. Но то же искусственное орошение, при неправильном и чрезмерном его применении,



Фиг. 28.

легко может быть причиной порчи земель. Ни при одном из существующих методов орошения нет возможности целиком утилизировать воду для поглощения корнями растений, т. к. очень значительная часть воды проходит мимо корней и опускается в подпочву. При малых поливах это количество непроизводительно теряемой воды невелико, но при обильном орошении корни удерживают прежнее количество влаги, весь же излишек воды уходит в подпочву, в грунтовые воды, уровень к-рых поэтому поднимается. В результате получается заболачивание или даже засоление почвы.

Лучшим способом предупреждения таких последствий является наивозможная экономия оросительной воды, достигаемая путем тщательного выравнивания поверхности орошаемых почв, пользования наиболее совершенными методами (поливы по бороздам) и обязательного рыхления междурядий после каждого орошения. Это рыхление, сохраняя в почве влагу, внесенную при поливах и уничтожая сорные травы, часто дает возможность обходиться вдвое меньшим количеством оросительной воды.

Когда вся вода реки, служащей для целей искусственного орошения, оказывается распределенной по каналам, а в долине имеются еще значительные площади земель, нуждающиеся в орошении, то невольно возникает мысль об использовании той воды, которая протекает вне ирригационного периода—осенью, зимою и весною. Использование это возможно путем собирания этой воды в особых водохранилищах, к-рые могут устраиваться двояко: в виде небольших индивидуальных прудов на землях отдельных водопользователей и групп, в пределах орошаемой площади, или в виде больших резервуаров, расположенных выше орошаемых площадей. Водохранилища на орошаемых площадях нежелательны: они отнимают много

площади от культур и требуют дорогих питающих каналов, а потому применяются редко. Водохранилища в верховьях рек гораздо удобнее, тем более что реки, служащие для орошения, имеют обыкновенно горный характер и в их верховьях всегда можно найти подходящие ущелья и места для устройства высоких *плотин* (см.). Особенно крупные плотины и водохранилища устроены в С. Ш. А. У нас в Средн. Азии и Закавказьи также имеется много удобных мест для устройства плотин и водохранилищ, но время для широкого строительства в этой области еще не наступило: до настоящего времени далеко еще не использована наличная летняя вода рек в этих районах.

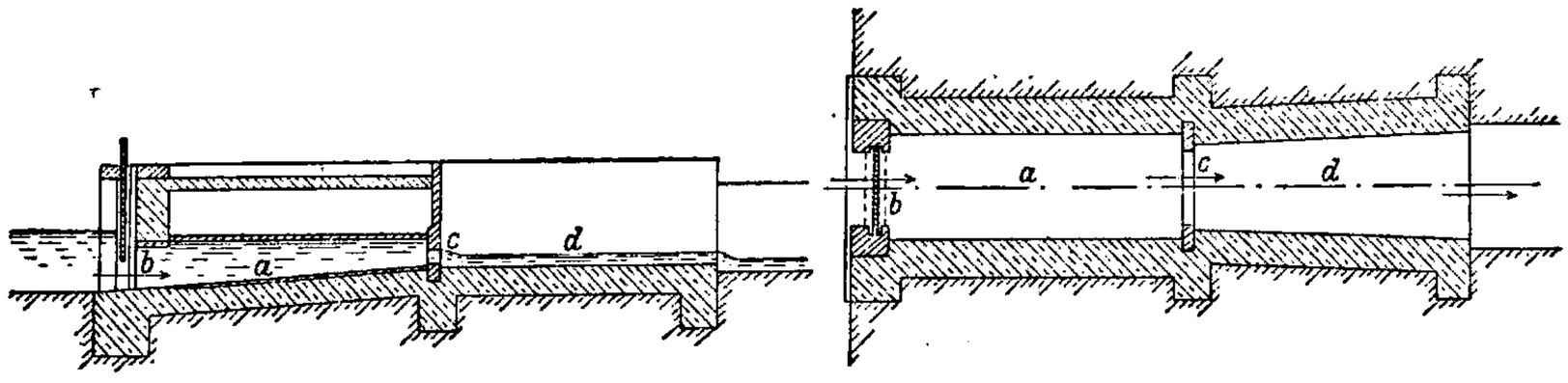
Организация водопользования. Крупная ирригационная система, представляющая весьма сложный и дорогой механизм, требует надлежащей организации для ее эксплоатации. Прежде всего вся вода, поступающая в магистральный канал и остальные части системы, подлежит точному учету. На туземных системах этот учет ведется наглаз, при помощи различных единиц, в роде «кулака» (Ср. Азия), «баша» (Закавказье), «цапки» (Крым) и т. п. весьма неопределенных измерителей, представляющих собою такой поток воды, с которым удобно управляется один водопользователь при орошении своего посева. На системах, устроенных по правилам техники, учет воды ведется при помощи гидрометрич. способов, дающих выражение количеств протекающей воды в *м³/сж* или *л/сж*. Когда приходится измерять воду регулярно в одном и том же месте значительного канала, имеющего небольшой уклон, его русло обделывают на некоторую длину досками или же бетоном в виде прямоугольного жолоба и в этом жолобе скорость течения измеряют при помощи вертушек (см. *Гидрометрия* и *Гидрометрические приборы*). В неглубоких каналах, несущих небольшое количество воды, трудно бывает определить скорость при помощи вертушки. В таких случаях измерение производится при помощи *водослива* (см.). Из различных систем водосливов наибольшим распространением пользуется в последнее время так называемый водослив Чиполетти, представляющий собою трапецоидальный водослив с наклоном боковых стенок в 75°30′. Расход воды через этот водослив определяется по ф-ле:

$$Q = 1{,}86 b h^{\frac{3}{2}},$$

где b—длина порога водослива, а h—напор воды над порогом. Для удобства пользования этой ф-лой составляются таблицы, по к-рым вычисляют количество переливающейся воды, измерив лишь глубину слоя. Часто на водосливе имеется самопишущий прибор.

В Италии при распределении воды между отдельными водопользователями еще с 16 в. применяются т. н. м о д у л и. Это—постоянные устройства, б. ч. каменные, предназначенные специально для измерения расхода воды. На фиг. 29 показан миланский модуль.

При проведении не отягченной взвешенными наносами оросительной воды по трубам иногда пользуются водомерами водопроводного типа, напр. водомером Вентури (см. *Водомеры*). Когда не требуется особенная точность измерения, пользуются простыми

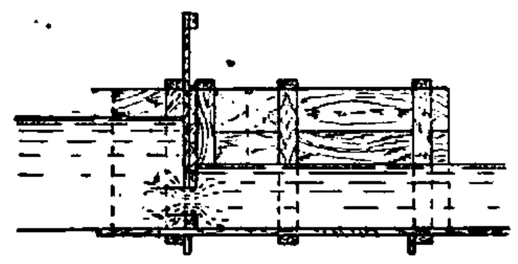


Фиг. 29.

затворами, устанавливаемыми на каналах. Если уклон канала достаточно велик, затворы устанавливаются таким образом, чтобы получить водослив. Расход определяется по ф-ле прямоугольного водослива (см. *Водослив*). Когда уклон канала мал и перепада получить нельзя, воду пропускают под щитом затвора (фиг. 30) и для определения расхода пользуются ф-лой жолоба и погруженного отверстия:

$$Q = 0{,}85 a \cdot b \sqrt{\frac{2gh}{1-\left(\frac{a}{a+h}\right)^2}},$$

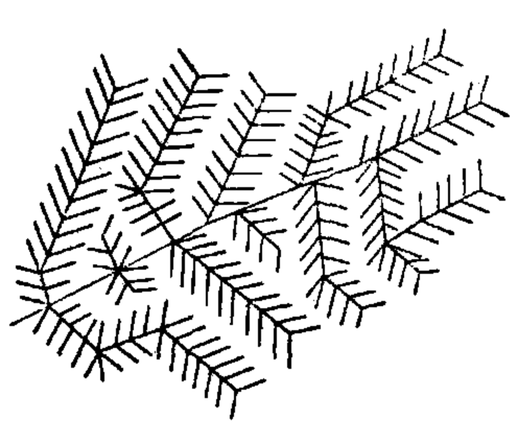
в к-рой a и b—высота и длина отверстия, а h — разница уровней воды перед отверстием и за ним. По этим формулам составляют таблицы, которыми пользуются водные надзиратели при определении количества воды, проходящей через затворы.



Фиг. 30.

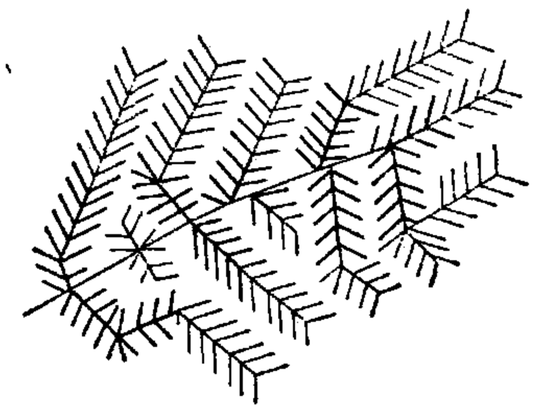
Дальнейшим условием правильн. эксплоатации каждой системы ирригации является правильное распределение воды путем установления соответствующего водооборота. Возможны два случая распределения воды из магистрального канала по каналам распределительно-оросительной сети: 1) когда из него получают воду все младшие каналы одновременно, 2) когда они получают воду по очереди. В первом случае мы имеем дело с н е п р е р ы в н ы м водопользованием. Конечно, оно осуществимо только тогда, когда система обильна водой. Обыкновенно же бывает невыгодно осуществлять непрерывную подачу воды во все каналы системы одновременно и приходится определенным категориям каналов давать воду с перерывами. Промежутки времени, через к-рые каналы получают воду, определяются или по заранее установленным очередям, и тогда мы имеем форму о ч е р е д н о г о водопользования, или же по предварительным заявкам на воду со стороны водопользователей—водопользование по т р е б о в а н и ю. При непрерывной системе водопользования возникают очень большие расходы воды, большие потери на фильтрацию и испарение, большие количества сбросных вод, вызывающие часто заболачивание и засоление полей. Единственное преимущество этого способа заключается в удобстве управления водой и взимания за нее платы пропорцио-

нально орошаемой площади. Такая система обыкновенно применяется в местностях с очень обильными водными запасами и с экстенсивными формами хозяйства. В основе идеи очередного водопользования лежит подача в каналы относительно крупной поливной струи на сравнительно короткое время; продолжительность полива уменьшается для отдельного водопользователя вдвое или втрое сравнительно с первым способом. Выгоды очередного водопользования заключаются в уменьшении рабочей силы, потребной для полива, и в меньших фильтрациях на самых полях при сильно проницаемых почвах. На сильно проницаемых почвах нек-рых районов Туркестана (например Голодная степь) и особенно в первые годы орошения новых земель сокращение времени полива и увеличение поливной струи при очередном водопользовании дают не только лучшие результаты, но и вообще являются единственно возможным способом в виду огромных потерь воды на фильтрацию внутри надельной сети и особенно на полях. Наиболее благоприятной оказывается подача воды отдельным участкам через сравнительно продолжительные промежутки времени.



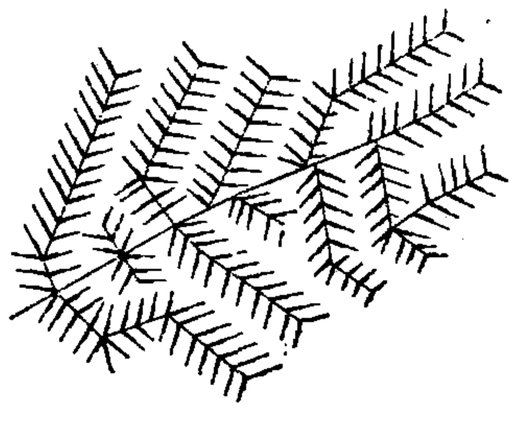
Водораспределение по магистральному каналу

Фиг. 31.



Водораспределение по распределителям

Фиг. 32.



Водораспределение по оросителям

Фиг. 33.

При водопользовании по требованию оросительная вода отпускается в заранее установленное время и в количестве, отвечающем требованиям водопользователей. Плата за воду устанавливается в таких случаях по объему ее потребления, при чем на некоторых наиболее интенсивных системах устанавливается дифференциальный тариф, т. е. при большем потреблении на единицу площади взимается бо́льшая плата за единицу объема воды. Благодаря этому получается значительная экономия воды и меньшая опасность заболачивания и засоления. Система водопользования по требованию обычно связана с большими расходами на администрацию, а потому применяется относительно редко. Гораздо чаще применяется система очередного водопользования, при чем очередь устанавливается или на магистральных каналах, когда работает одновременно только часть распределителей (фиг. 31); или на распределителях, когда магистральный канал и распределители работают непрерывно, а оросители соединяются в группы, питаемые водой поочередно (фиг. 32); или, наконец, по оросителям, когда непрерывно работает вся сеть, а оросители одновременно удовлетворяют только отдельные группы водопользователей по очереди (фиг. 33). Водораспределение в этом случае может быть и комбинированным, если распределение происходит одновременно по двум или по нескольким элементам системы.

Для правильного функционирования сооружений ирригационной системы необходим соответственный штат технико-административного персонала. На туземных системах Ср. Азии во главе каждой системы обыкновенно стоит «арык-аксакал» (водный надзиратель), наблюдающий за технич. состоянием всех каналов, распределением трудовой, денежной и материальной повинностей по ремонту каналов и сооружений и за распределением воды между отдельными распределителями, орошающими отдельные участки площади, находящиеся в общем пользовании отдельных общин. Помощниками арык-аксакала являются «мирабы» (водные старосты), заведывающие отдельными распределительными каналами и распределяющие воду непосредственно между водопользователями. Эти должности являются выборными и оплачиваются б. ч. известной долей урожая с орошаемых земель, что создает заинтересованность администрации в исправной работе каналов. В последнее время в Ср. Азии управление ирригационными системами из рук туземной администрации постепенно переходит в руки управлений водным хозяйством (в о д х о з о в), назначающих арык-аксакалов и мирабов из подготовленных технич. работников; вместе с тем и натуральная оплата труда заменяется денежным довольствием, по ставкам из средств в о д н о г о с б о р а, к-рым заменяется натуральная повинность населения по содержанию систем.

В Америке и Индии во главе каждой крупной инженерной системы обыкновенно стоит главный инженер-гидротехник, при котором находится особая контора, сосредоточивающая в себе все управление системой.

Экономика. Стоимость устройства систем, из расчета на каждую фактически орошаемую единицу площади (*га*), м. б. самой разнообразной—от нескольких десятков рублей до нескольких сотен, в зависимости от местных условий, от размеров орошаемой площади и от оборудования системы. Сведений о стоимости И. в главнейших районах СССР почти не имеется,—большинство систем было сооружено самим населением много лет тому назад без всякого учета стоимости. Нет также сведений и о стоимости эксплоатации их, т. к. до последнего времени эта эксплоатация велась путем натуральной повинности населения. Из заграничных данных в этом отношении безусловно лучшими являются данные С. Ш. А. По данным последнего ценза (1920 г.), средняя стоимость устройства И. на 1 *га* составляет 128 р. 70 к., доходя в отдельных случаях до 800 р. В частности, средняя стоимость орошения 1 *га* при выводе воды из рек самотеком составляет 109 р. 50 к., при подъеме из рек насосами—134 р. 44 к., при отводе воды из самоизливающихся колодцев—177 р. 20 к. и при выкачивании воды из колодцев насосами—220 р. Стоимость эксплоатации на 1 *га* в год составляет в среднем 11 р. 66 к. В част-

ности, при выводе воды из рек самотеком—6 р., при подъеме воды насосами из рек—30 р. 12 к., при отводе воды из самоизливающихся колодцев—13 р. 22 к. и при выкачивании воды из колодцев насосами—48 р. 33 к.

Рентабельность И. определяется теми условиями с. х., к-рые становятся при этом возможными. Пустыни Ср. Азии, получающие менее 250 *мм* атмосферных осадков в год, в своем естественном виде являются пригодными только для пастьбы скота, и то лишь весной. Эти же земли после устройства искусственного орошения дают в среднем с 1 *га* по 1 *т* хлопка-сырца (120—180 р. за *т*), по 2—2,6 *т* риса, до 13,3 *т* люцернового сена, до 1,6 *т* и более пшеницы и пр. В местностях менее засушливых, каковы Поволжье, Северный Кавказ и южная Украина, искусственное орошение значительно увеличивает урожаи зерновых хлебов, как видно из табл. 2, составленной по данным проф. Н. С. Фролова для Новоузенского р. Пугачевского округа.

Табл. 2.—Влияние И. на урожаи зерновых хлебов (в *ц* с 1 *га*).

Урожаи на площадях		Пшеница	Ячмень	Овес	Просо
Средний Хороший	Орошенных. .	15,5	20,0	22,0	17,7
	Неорошенных	11,0	12,8	14,0	11,8
Средний	Орошенных. .	8,0	8,8	9,8	8,8
	Неорошенных	5,4	5,2	5,2	5,9
Плохой	Орошенных. .	4,4	4,4	4,4	4,4
	Неорошенных	1,5	2,0	2,0	2,1

Что касается огородных и садовых культур, то в таких местностях без искусственного орошения они вообще невозможны, при орошении же, по данным проф. Н. С. Фролова, они дают следующие урожаи с 1 *га* (в *т*): картофель 15, капуста 200, яблоки 6, груши 4. Лучшим показателем рентабельности ирригационных устройств могут служить результаты статистич. обследования ирригационного дела в С. Ш. А. с 1890 по 1920 г., приведенные в табл. 3.

климат местности для определения возможности тех или иных культур и их потребности в оросительной воде. При наличии метеорологич. станций пользуются их наблюдениями за б. или м. продолжительный срок; если же таких станций и наблюдений нет, их необходимо организовать во всех местах, предположенных к орошению площадей. Так. обр. выясняются естественные условия увлажнения местности и необходимость орошения. Определяются длина безморозного периода и сумма темп-р за этот период, что дает материал для суждения о возможности культуры тех или иных растений. Если предполагается необходимость в устройстве водохранилищ, то метеорологич. наблюдения д. б. организованы не только на предположенных к орошению площадях, но и в верховьях рек, источников будущего орошения, на их водосборных площадях. Здесь д. б. обращено особое внимание на осадки и, в частности, на снеговой покров. Попутно д. б. организованы гидрологич. обследования для выяснения водных запасов и режима всех водных источников, могущих служить для И. данного района. В местах будущих головных сооружений и водохранилищ устраиваются гидрометрические станции и посты. Одновременно берут пробы воды для определения наносов и хим. состава ее. Все наблюдения дают возможность судить о количестве воды, могущей быть использованной во время ирригационного периода, а равно и о качестве ее. Затем приступают к рекогносцировочным изысканиям для определения общего топографич. строения местности, для выяснения границ площадей, доступных для И., и для выбора ориентировочного направления магистральных каналов. В засушливых районах Ср. Азии и Кавказа, с резко выраженным рельефом, большую пользу при этом может оказать *барометрическая нивелировка* (см.). Одновременно производятся и геоботанич. обследования относительно пригодности почв в данной местности для орошения и культуры. Когда выяснены в общих чертах все эти данные и определены приблизительно подлежащие орошению участки, можно приступить к производству детальных изысканий для составления проектов орошения. Эти изыскания заключаются в производстве подробной съемки и нивелировки участков, намеченных под орошение, с предварительной триангуляцией, в масштабе 1 : 10 000 или 1 : 5 000 для получения

Табл. 3.—Обследование ирригации в С. Ш. А. с 1890 по 1920 г.

Статьи	В 1890 г.	В 1900 г.	% прироста	В 1910 г.	% прироста	В 1920 г.	% прироста
Число орошаемых хозяйств	54 136	113 839	110,3	162 723	43,0	231 541	42,3
Площадь фактически орошаемых земель	1 512 313	3 151 988	108,4	5 874 346	86,4	7 811 027	33,0
Капитал в руб., затраченный на ирригацию к данному году	57 738 816	136 870 711	137,1	628 442 570	359,2	1 363 920 076	117,0

Проектирование. Проектирование крупной ирригационной системы в мало изученных местностях требует предварительных тщательных и разносторонних обследований и изысканий. Прежде всего д. б. выяснен планов в горизонталях через 1 или 2 *м*, в зависимости от сложности рельефа. Вместе с тем производятся детальные почвенные исследования ходовыми линиями, со взятием почвенных образцов. Эти линии и места

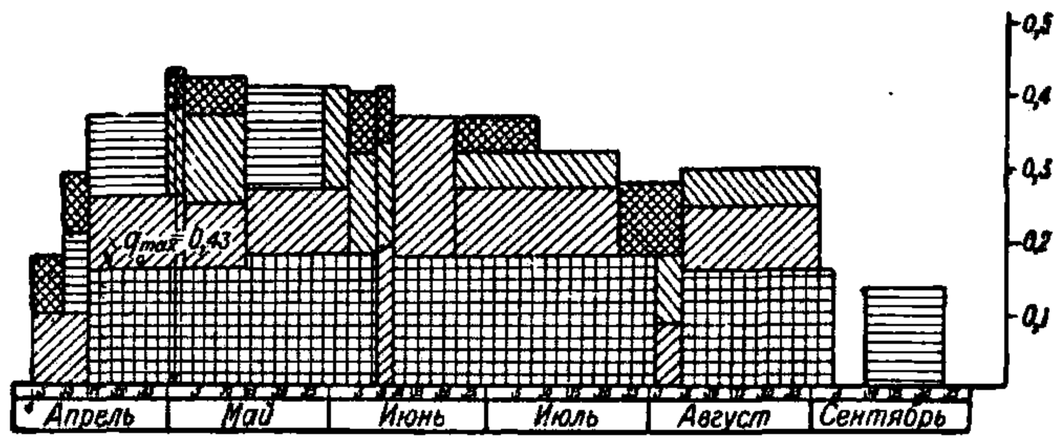
взятия образцов заснимаются, и в результате получается подробная почвенная карта в масштабе съемки. Составляется и геологич. карта с указанием грунтовых вод и выяснением местонахождения пород, пригодных в качестве строительных материалов. После этого на плане местности в горизонталях намечают уже точное направление возможных

Фиг. 34.

магистральных каналов и определяют площади могущих быть орошенными земель. На особо избранных участках местностей, предположенных к орошению, организуются т. н. гидромодульные исследования, заключающиеся в опытах по орошению культур на особых делянках, для орошения к-рых вода добывается из ближайшего водного источника—реки, пруда или колодца. В результате выясняются наиболее желательные в данной местности севообороты, поливные нормы, отношение данных почв к оросительной воде, потребность в дренаже и пр. На основании этих данных составляются т. н. графики поливов (фиг. 34) для выбранной системы севооборота. Графики составляются след. обр. По горизонтальной оси откладываются периоды времени, в продолжение которых должен производиться каждый полив данной культуры, а по вертикальной—секундные расходы воды, необходимые для этих поливов по ф-ле:

$$q = \frac{m}{t \cdot 86\,400},$$

где q—периодич. гидромодуль потребления данной культуры в $м^3/ск$, m—поливная норма в $м^3/га$, t—период полива данной культуры в сутках, а 86 400—число ск. в сутках. В результате нанесения секундных расходов, необходимых для полива всех культур, получается возможность определить общий



Фиг. 35.

секундный расход, необходимый для поливов всей орошаемой площади в продолжение всего ирригационного периода. Т. к. на таких графиках часто получаются очень высокие «пики», вызывающие большие расходы каналов на короткие промежутки времени, и «провалы», когда каналы должны совершенно пустовать, то обыкновенно первоначально выработанный график «укомплектовывается» (фиг. 35) со смягчением пиков и провалов, но, по возможности, без ущерба для фаз развития растений. Укомплектование графика поливов производится так, чтобы в результате он по возможности соответствовал кривой режима источника орошения.

График поливов дает необходимый секундный расход воды данной системы у места потребления ее на полях. Для получения расхода подачи воды в головной части системы необходимо разделить расход, определенный по графику поливов, на кпд системы; кпд колеблется в пределах 0,2—0,9, в зависимости от состояния каналов данной системы. Получив т. о. необходимый расход магистрального канала, определяют все необходимые его элементы и в том числе уклон по вышеприведенным ф-лам Гангилье-Куттера или Базена. Точно так же определяют элементы распределительных, оросительных и водосбросных каналов, а затем эти каналы наносят на план предположенной к орошению местности и трасируют в натуре, принимая во внимание топографические условия и почвенные особенности, при чем намечают необходимые искусственные сооружения. Места расположения каналов и искусственных сооружений заснимают в крупном масштабе (около 1:100) и приступают к составлению окончательного проекта со всеми сооружениями.

Организация ирригационных предприятий. Предприятия по устройству И. могут организовываться разными способами. Пионер-колонист засушливого района, водворившийся близ горной речки, обыкновенно своим личным трудом выводит небольшой оросительный канал и орошает свой участок. Когда вывод канала непосилен одному колонисту, он соединяется с соседями для организации группового, или общинного, предприятия. Если отдельные хозяйства легализируют свой союз, получается предприятие кооперативное («мелиоративное товарищество») без принудительного участия или с принудительным участием, если в данной стране действует закон, по к-рому несогласное меньшинство хозяев обязано примкнуть к мелиоративному товариществу, когда того требуют технич. соображения. В нек-рых странах для организации такого товарищества требуется желание 50% хозяев, в других же, как напр. в СССР,—$^2/_3$ (по декрету 1923 г.). В нек-рых случаях ирригационные предприятия организуются частными предпринимателями, торгующими затем водою (коммерческое предприятие) или продающими всю ирригационную систему товариществу водопользователей.

Все эти типы предприятий могут организовываться в местностях уже колонизованных, где есть землепользователи. Гораздо труднее обстоит дело, когда приходится орошать большие пространства земель путем организации крупных систем И. в целях колонизации. В таких случаях за это дело обыкновенно берется само государство, орошающее и колонизующее пустынные земли. Оно или само эксплоатирует ирригационные системы, продавая воду поселенцам, как в Индии, или же переуступает все сооружения ирригационной системы кооперативу—товариществу водопользователей по себе-

стоимости на продолжительный срок, как в С. Ш. А. (по закону «Reclamation Act» 1902 г.). Иногда, как, например, в С. Ш. А. (по закону Carey), дело орошения и колонизации земель поручается концессионерам, к-рые обязуются в определенный срок оросить и колонизовать отводимые им крупные участки государственной земли и затем передать все ирригационные устройства в определенный срок и по установленным ценам товариществам водопользователей, составленным из поселенцев, для эксплоатации на кооперативных началах. Т. о. образуются предприятия правительственные и концессионные. Табл. 4 показывает, каким образом распределялась фактически орошаемая площадь С. Ш. А. (по данным цензов 1910 и 1920 гг.) между разного рода предприятиями. Из этой табл. можно видеть, что в последнее время в С. Ш. А. наибольшую тенденцию к развитию получают кооперативные с принудительным участием и правительственные предприятия, передаваемые товариществам водопользователей. Эти кооперативы, называемые в С. Ш. А. «оросительными округами» (Irrigation districts), оказались настолько удачными мелиоративными организациями, что обыкновенно теперь по их типу создаются и те товарищества водопользователей, к-рым передаются законченные предприятия как федерального правительства, так и концессионные.

Табл. 4.—Распределение орошаемой площади С. Ш. А. между предприятиями.

Типы оросительных предприятий	По данным 1910 г.		По данным 1920 г.		Увеличение орошаемой площади за 10 лет	
	в *га*	в % от общей площади	в *га*	в % от общей площади	в *га*	в % от данных 1910 г.
Единоличные и групповые	2 684 008	45,7	2 787 464	35,7	103 456	3,8
Кооперативные	1 889 920	32,2	2 678 630	34,3	788 710	41,7
Кооперативные с принудительным участием	215 156	3,7	741 554	9,5	526 398	244,8
Коммерческие	736 417	12,5	741 554	9,5	5 137	0,7
Правительственные с передачей кооперативам	161 028	2,7	510 609	6,5	349 581	217,0
Концессионные с передачей кооперативам	117 441	2,0	213 239	2,7	95 798	81,5
Правительственные для индейцев	70 378	1,2	115 812	1,5	45 434	64,4
Разные и смешанные	—	—	21 803	0,3	21 803	—
Всего	5 874 348	100,0	7 810 665	100,0	1 936 317	32,9

Лит.: Арканов Б. С., Орошение, М.—Л., 1926; Костяков А. Н., Основы мелиорации, М., 1927; Шлегель Б. Х., Материалы к курсу эксплоатации оросит. систем, Ташкент; 1925; Флинн П. П., Ирригац. каналы и относящиеся к ним сооружения, пер. с англ., СПБ, 1898; Скорняков Е. Е., Орошение и колонизация пустынных земель С. Ш. А., ч. 1—2, СПБ, 1911, ч. 3, СПБ, 1913; его же, Ирригационное дело в Алжире, «Ежегодник Отдела зем. улучшений», т. 2, СПБ, 1910; его же, Искусств. орошение в Аз. России, СПБ, 1914; его же, Орошение плодовых садов в Северной Америке, П., 1915; его же, Культура люцерны при искусствен. орошении в С. Америке, П., 1915; его же, Искусств. орошение небольших участков в крестьянском хозяйстве, ч. 1—2, М., 1925; его же, Анализ америк. статистич. данных по искусств. орошению, М., 1926; Bligh W. G., The Practical Design of Irrigation Works, L., 1912; Buckley R. B., The Irrigation Works of India, 2 ed., L., 1905; Davis A. P. a. Wilson H. M., Irrigation Engineering, N. Y., 1919; Etchverry B. A., Irrigation Practice a. Engineering, v. 2—3, New York., 1916; Fortier S., Use of Water in Irrigation, N. Y., 1926.

Е. Скорняков.

ИСКОПАЕМЫЕ, остатки животных и растений, отложившиеся одновременно с осадками на дне морских и пресноводных бассейнов и сохранившиеся от разрушения последующими механическими и химическими процессами. Представляя собой вымершую фауну и флору геологических периодов, ископаемые служат основанием для определения геологич. возраста отложения. Изучение ископаемых составляет предмет палеонтологии, которая разделяется на палеозоологию (животные И.) и палеофитологию (растительные И.). Относительно больше сохранились от разрушения твердые части наружного или внутреннего скелета животных (зубы, кости, раковины, чешуи, панцыри и т. д.), тогда как мягкие части сохраняются только в особо благоприятных условиях (наземные животные в мерзлой почве Сибири, насекомые в янтаре) или же оставляют отпечатки в окружающей породе. Часто вещество ископаемых замещается каким-нибудь минералом (гл. обр. кальцитом, кремнем, халцедоном, баритом, пиритом, марказитом, лимонитом)—отсюда название окаменелость. При геологической съемке сбору ископаемых уделяют особое внимание, тщательно регистрируя место и условия взятия образца (из осыпи или непосредственно из породы обнажения). Хрупкие образцы тщательно упаковываются.

Полезные И.—общий термин, применяемый ко всем рудным и нерудным ископаемым, имеющим применение в промышленности непосредственно или после соответствующей обработки.

Лит.: Лагузен И., Краткий курс палеонтологии. Палеозоология, вып. 1, СПБ, 1895; Борисяк А., Курс палеонтологии, ч. 1 и 2, М., 1905—06; Залесский М. Д., Очерк по вопросу образования угля, П., 1914; Баярунас М. Я., Экскурсия для раскопок млекопитающих в Тургайской области, «Природа», М., 1917, 4; Борисяк А., Курс историч. геологии, П., 1922; Яковлев И. Н., Учебник палеонтологии, 3 изд., Л., 1925; Обручев В. А., Полевая геология, т. 1, стр. 134—152, М., 1927; Zittel K., Grundzüge der Paläontologie (Paläozoologie), 6 Auflage, München, 1924, B. 2, 4 Auflage, München, 1923; Stormer v. Reichenbach E., Paläozoologisches Praktikum, Berlin, 1920; Keilhack K., Lehrbuch der praktischen Geologie, p. 104—112, 452—571, 4 Auflage, B. 1, Stuttgart, 1921; Abel O., Lehrbuch der Paläozoologie, Jena, 1920.

П. Тольницкий.

ИСКОПАЕМЫЕ УГЛИ, вид твердых ископаемых горючих веществ органического происхождения, называемых, по почину Потонье, каусто-биолитами.

Виды ископаемых углей. Громадное большинство И. у. (каменные и бурые угли) принадлежит к числу гумусовых образований, главным исходным материалом которых являются углеводы. Другая небольшая группа относится к сапропелевым породам, в образовании к-рых особую роль играли жиры и, м. б., белки. Из ископаемых сапропелитов к этой группе надо отнести наиболее чистые из палеозойских, т. н. кеннельских (canwyl, candle—свеча), углей, богатых спорами высших палеозойских растений (см. вкл. лист, *1*). Они черного цвета, с раковистым изломом, при прикосновении не пачкают; легко загораются и горят как свеча, оставляя мало золы, и, таким образ., древесного строения никогда не обнаруживают; хорошо поддаются полировке. Иногда уголь этого типа в виде чечевиц встречается в пластах гумусового угля. Т. н. богхеды, состоящие в значительной степени из микроскопическ. водорослей (см. вкладн. лист, *2*), обычно настолько богаты золой, что часто являются ископаемой сапропелевой глиной. Они богаты летучими углеводородами. Ископаемые угли, происшедшие из сапропеля, принадлежат к матовым углям, тогда как гумусовые угли представлены блестящими разностями. Лишь молодые гумусовые угли, особенно третичного возраста, благодаря содержанию смолы бывают иногда матовыми. Указанные типы И. у. очень редко встречаются в чистом виде, давая обыкновенно еще мало изученные смеси. Так, гумусовые угли (гл. обр. каменные) почти всегда бывают полосатыми. Полосы, толщиною от долей *мм* до нескольких *мм*, располагаются обыкновенно параллельно наслоению.

Гумусовые И. у., образованные за счет высших растительных организмов, играют исключительно важную роль сравнительно с другими видами твердого ископаемого горючего. Среди типов этих углей в последнее время стали выделять смоляные угли, представляющие связь между бурыми и каменными углями.

Бурые угли и лигниты часто рассматриваются как самостоятельные типы; нек-рые авторы не разделяют этих воззрений и полагают, что оба эти типа переходят один в другой. Лигнитом называется И. у., в составе к-рого преобладает настолько мало измененная древесина, что форма и строение ее ясны даже при беглом осмотре. Его несколько волокнистое строение объясняется происхождением из слегка измененной древесины, к к-рой присоединяется значительное количество бесструктурного материала, и разложившихся, но еще различимых кусочков коры и листьев. Известно много разновидностей лигнита, от рыхлых до самых плотных; последние называют иногда землистыми лигнитами. В палеозойских горных породах лигниты нигде не найдены. Бурый уголь не обнаруживает ясных признаков древесины в своем составе. Он—темнобурого или черного цвета. Разновидности бурого угля — битуминозные бурые угли — имеют черный цвет и обычно раковистый излом.

Каменный уголь (см. *Каменный уголь*) играет наиболее важную роль среди всех типов И. у. Он—черного цвета, при прикосновении пачкает пальцы, раскалывается по плоскостям спайности на куски в форме параллелепипедов. И по химическому составу и по свойствам распадается на ряд разновидностей (см. вкладной лист, *3*, *4*).

Антрацит резко отличается по внешнему виду от прочих гумусовых углей. Он не пачкает пальцев, имеет серебристый полуметаллич. блеск и раковистый излом; загорается с трудом и горит слабым, едва светящимся пламенем; почти не дает дыма; содержит незначительное количество летучих соединений и золы.

В настоящее время с несомненностью установлено растительное происхождение всех И. у. Одни из них произошли на месте роста того растительного материала, который дал основное вещество углей (теория автохтонного происхождения). Месторождения И. у., в частности каменных и бурых, представляют в большинстве случаев ископаемые лесные болота (заболоченные леса). Другие месторождения могли образоваться за счет сноса водными потоками огромного количества растительности в общий бассейн, на дне которого под прикрытием толщи осадочных отложений шло дальнейшее преобразование растительного вещества (аллохтонная гипотеза).

По мнению большинства ученых, огромную роль в обоих случаях должны были играть биохимические процессы. Изменения, которым подвергаются растительные остатки, когда они опускаются на дно водного бассейна, существенно отличны от гниения растений на открытом воздухе. Когда растительные остатки почти совершенно изолированы водой от атмосферного воздуха, в них происходят изменения, результатом к-рых является образование углеводорода и органических к-т: гуминовой, ульминовой и др. В короткое время скопление растительных остатков разнородного характера превращается в более или менее однородную плотную бурую массу, составляющие части к-рой можно различить лишь при специальном детальном исследовании. Эти изменения совершаются, по мнению Рено, гл. обр. под влиянием жизнедеятельности бактерий. Первоначальная фаза механического разъединения в растительных остатках совершается при содействии особых грибков. Затем следует исчезновение всех тонкостенных клеток тканей—это уже гл. образом работа бактерий. Степень, до которой доходит этот процесс, зависит от различных обстоятельств. Он может, напр., остановиться на сравнительно ранней стадии, и тогда в массе можно различить следы растений, из к-рых она произошла. В другом случае, прежде чем масса станет непригодной для существования бактерий (вероятно, вследствие избытка свободных органич. кислот), стенки клеток м. б. сильно разъедены, при чем и стенки и содержащаяся в них протоплазма превращаются в аморфную бурую или черную массу, в к-рой погружены наиболее твердые и стой-

кие ткани. Одни виды микрококков и бактерий производили, по мнению Рено, отнятие кислорода от растительной массы, другие же отнимали у нее водород. Жизнедеятельность различных форм микрококков и бактерий вела иногда этот процесс обуглероживания довольно быстро. Различие в интенсивности, с к-рой шел этот процесс, и прекращение его на различных стадиях вследствие накопления отбросов жизнедеятельности бактерий, вредных для их жизни, могли быть причиною образования различн. типов ископаемого угля, в том числе и антрацита.

Другие ученые считают биохимич. процесс недостаточным для образования углей в том виде, в каком они нам представляются; они полагают, что метаморфизм, проявлявшийся сильным давлением и теплотой, доканчивал то, что было начато биохимическим процессом, и делал мягкую обуглероженную массу твердой. Природа изменений в материнском веществе угля под влиянием метаморфизма была, вероятно, двоякого рода: частью химическая, частью—физическая. Улетучивание газообразных веществ, начавшееся при биохимич. процессе, продолжалось при метаморфизме. Весьма вероятно, что разница в стадии, на к-рой прекращался биохимич. процесс и наступал метаморфизм, а также продолжительность и напряженность последнего оказывали огромное влияние на качества образующихся углей.

Некоторые ученые, напр. Стреген (Strahan) и Арбер, объясняют происхождение антрацита другим направлением биохимич. изменений в материнском веществе этого угля и даже различием в составе растительности, образовавшей его материнское вещество. Последнее предположение удовлетворительно объясняет ничтожное количество золы в антраците и постепенный переход каменного гумусового угля в антрацит, что особенно ярко представлено в Донецком бассейне. Правда, микроскопическое изучение самого антрацита и растительных остатков, заключенных в сопровождающих породах, пока не дало фактич. данных для обоснования такого предположения (см. вкл. л., 5).

В противоположность изложенной гипотезе образования И. у., другая гипотеза, торфяно-антрацитовая, еще недавно пользовавшаяся популярностью, исходила из положения, что все угли произошли из торфа. Торф превращался постепенно в бурый уголь; бурый уголь переходил в гумусовый или битуминозный; конечным результатом превращения, по крайней мере в некоторых случаях, явился антрацит. Если исходить из этой теории, то можно было бы предположить, что ископаемые угли древнейших геологических периодов должны быть представлены антрацитами, тогда как наиболее молодые угли могут быть лишь бурыми. Однако, имеющиеся у нас факты противоречат этому предположению. Мы знаем палеозойские угли, близкие к типу бурых углей (напр. нижнекаменноугольные угли Подмосковного бассейна); с другой стороны, есть примеры типичных каменных коксовых углей третичного возраста (например угли по реке Владимировке на Сахалине); наконец, в одном и том же Донецком бассейне одни и те же пласты выявлены то длиннопламенными газовыми углями (в районе Лисичанска), то коксующимися углями (в районе, например, станции Алмазной), то отличными антрацитами (в Грушевском районе).

Ярким доказательством несостоятельности этой теории является также быстрота образования каменных углей: известно, что в толще угленосных отложений наблюдаются иногда угольные конгломераты. Примеры таких образований наблюдались в Англии и в нашем Кузнецком бассейне, где в конгломератах была найдена окатанная угольная галька. Из этого следует, что уголь не только существовал уже окончательно сформированным в течение одного периода, но что затвердевшие уже пласты его в течение этого же периода подвергались размыванию (см. вкладной лист, 6). Об этом же свидетельствует нахождение древних речных долин, которые перерезают угольные пласты.

Свойства ископаемых углей. И. у. представляют собою весьма сложные органич. соединения. Минералогические свойства гумусовых ископаемых углей хорошо изучены; они грубо представлены табл. 1. Напротив, их химические свойства пока изучены недостаточно.

Табл. 1.—Минералогическая характеристика ископаемых углей.

Тип ископаемого угля	Сложение	Излом	Блеск	Цвет	Черта	Действие реактивов	Продукты дестилляции
Лигнит, бурый уголь	Землистый, до плотного, рассыпающийся на воздухе	Неровн., до плоского	Матовый	Бурый	Бурая	Окрашивание КОН при кипячении	Есть уксусная кислота
Смоляной уголь	Плотный, рассыпающийся	Плоскораковистый	Слабый	Черный	Бурочерная	»	Есть уксуснокислый аммоний
Каменный уголь	Плотный, хрупкий	Раковистый	Сильный	»	Черная	КОН не действует	Аммиачная вода
Антрацит	»	»	Металлич.	»	»	С трудом загорается	»

Техническим анализом углей определяют процентное содержание влаги, летучих веществ, связанного углерода или кокса (зольного), золы и серы; элементарным анализом—процентное содержание

углерода, водорода и кислорода с азотом. Для сравнимости результатов анализа необходимо производить его в строго определенных, единообразных условиях, согласно единой детально проработанной методике. Эта предпосылка, однако, до сих пор у нас еще не осуществлена. За годы советской власти многое, правда, сделано в этом направлении, но до сих пор результаты анализов И. у. сравнимы только в пределах некоторых отдельных бассейнов (Подмосковный, Донецкий). В табл. 2 приведены результаты анализов органическ. части И. у., могущие все же служить для характеристики различных типов этих углей.

Табл. 2.—Анализы ископаемых углей.

Тип угля	Элементарный			Технический	
	C	H	O+N	летуч. вещ.	кокс
Бурый уголь . .	70	5,5	24,5	55	45
Смоляной уголь	73	5,0	22,0	45	55
Каменный уголь	82	5,0	13,0	33	67
Антрацит	95	2,0	3,0	10	90

Необходимо при этом указать, что количество видов угля чрезвычайно велико: с одной стороны, к ним примыкает, например, графит с содержанием углерода до 99,77%, с другой—один из субаэральных кауст о-биолитов—сапромикеит, или томит, близкий по типу к богхеду, образованный ослизнившимися водорослями и содержащий около 90% летучих веществ при 6,78% кокса и 3,42% золы.

Для характеристики типов И. у. чрезвычайно важна также их теплопроизводительная способность. При значительном содержании золы получаются трудно сравнимые данные, но средние сорта малозольных углей, употребляемые гл. обр. в качестве простого топлива, дают следующую теплотворную способность:

Тип	Теплотворная способность в Cal
Бурый уголь	5 000
Каменный уголь	7 000—8 000
Смоляной уголь	6 000
Антрацит	7 500—8 000

Для объединения всех получаемых результатов при подсчете мировых запасов И. у. Орг. бюро комитета XII Международного геологического конгресса предложило следующую классификацию этих углей.

A—антрациты и некоторые тощие угли с содержанием летучих веществ 3—12% и с теплотворной способностью 8 000—8 600 Cal. Главные составные элементы: 90—95% C; 2—4,5% H; 3—5,5% O+N.

B и C—битуминозные угли (коксовые, кузнечные, газовые, сухие) с содержанием летучих веществ 12—40% и теплотворной способностью 6 600 — 8 900 Cal. Главные составные элементы: 70—90% C; 4,5—6% H; 5,5—20% O+N.

D—полубитуминозные угли, бурые угли, лигниты, с влажностью более 6% и теплотворн. способностью 4 000—7 200 Cal. Главные составные элементы: 45—75% C; 6—6,8% H; 20—45% O+N.

Вследствие неодинаковой калорийности разных видов ископаемых горючих при подсчетах запасов и потребности топлива результаты выражаются в так называем. условном топливе теплотворной способности в 7 000 Cal. Для практич. перевода различных видов топлива в условное Главгортопом ВСНХ СССР выработаны особые коэфф-ты на каждый вид топлива.

Для И. у. эти коэфф-ты таковы:

Донецкое топливо (уголь и антрацит) . . .	0,98
Подмосковный уголь	0,46
Кузнецкий	1,00
Черногорский (хакасский)	1,00
Черемховский (иркутский)	0,84
Сучанский (Дальний Восток)	0,98
Кивдинский	0,41
Артемовский (Дальний Восток)	0,57
Черновский	0,64
Кизеловский	0,81
Челябинский	0,61
Богословский	0,47
Егоршинский (антрацит)	0,89
Ткварибульский	0,82
Экибастусский	0,84
Туркестанский	0,71
Импортный уголь	1,05

Под влиянием целого ряда причин И. у. претерпевают различные изменения в своем составе. Наиболее важным из этих изменений является т. н. выветривание. Наблюдения и исследования показали, что выветривание сильнее всего сказывается на выходах углей и доходит до значительной глубины. Особенно тщательному изучению, со взятием проб через каждые 2,13 *м*, подвергся один из антрацитовых пластов Донецкого бассейна, с углом падения 24°. Оказалось (по главнейшим показателям), что выветривание проявилось до глубины 60 *м*. Оно выразилось в абсорбции значительного количества кислорода. Главное направление этого окислительного процесса в зоне, ближайшей к земной поверхности, идет в сторону введения в состав органической массы угля значительного количества кислорода при одновременном удалении большей части водорода и нек-рого количества углерода за счет избыточного кислорода, не присоединившегося к органич. массе угля. Зольность угля повышалась в среднем в 11 раз, влажность—почти в 20 раз, содержание летучих в 4,5 раза, а содержание кокса уменьшалось в 4,5 раза против нормальных соотношений.

В связи с этими наблюдениями необходимо упомянуть об опытах хранения добытого угля в штабелях. Плотный каменный уголь на открытом воздухе в штабелях теряет вследствие выветривания в первые 5 месяцев хранения от 2 до 10% своей теплотворной способности, после чего выветривание начинает протекать очень медленно. Часто после такого хранения коксующий уголь в значительной степени теряет способность к коксованию. При хранении под водою свойства угля заметно не меняются. Бурый уголь в штабелях выветривается значительно сильнее: он теряет влагу, растрескивается, рассыпаясь в мелочь, часто загорается. Самовозгоранию при интенсивном выветривании и значительном выделении тепла подвергается иногда и каменный уголь: в штабелях это явление происходит, когда уголь неплотного сложения насыпан рыхлой массой с промежутками, по которым может циркулировать воздух.

Из других изменений следует отметить влияние контактового метаморфизма, при

чем не только гумусовые, но иногда и сапропелевые угли дают графит. С удалением от контакта зернистость графита обыкновенно уменьшается, и он делается плотным. Иногда уголь переходит в графит под влиянием больших тектонич. давлений: примером могут служить Полтавское и Брединское месторождения антрацита на Южном Урале.

Запасы ископаемых углей. В настоящее время, в виду важности и остроты энергетич. проблемы, все страны подсчитывают у себя запасы И. у. При определении запасов угля какого-нибудь месторождения или района к учету принимаются лишь те пласты, к-рые могут подвергаться промышленной разработке. Рабочая мощность пласта в разных экономич. и технич. условиях того или иного района м. б. весьма различна: в Бельгии, напр. в Льежском округе, разрабатывался пласт в 0,25 *м*, тогда как в нашем Кузнецком бассейне при тех же примерно свойствах угля не всегда признаются заслуживающими разработки пласты угля и в 1 *м* мощности; для Донецкого бассейна пределом рабочей мощности пласта является 0,5 *м*. Исполнительный к-т XII Международного геологич. конгресса предложил давать сведения о пластах с наименьшей мощностью 0,3 *м*. Что касается глубины залегания, до к-рой надлежит производить подсчет, то этим же учреждением было предложено пласты мощностью не менее 1 фт. (0,305 *м*) подсчитывать на глубину 4 000 фт. (1 220 *м*); пласты же мощностью не менее 2 фт. (0,61 *м*) учитывать до глубины 6 000 фт. (1 830 *м*); разработки пластов угля на более значительной глубине чрезвычайно затруднительны и возможны лишь в отдаленном будущем.

Вследствие недостаточных сведений об отдельных месторождениях угля запасы этого полезного ископаемого не везде м. б. учтены с одинаковой точностью. Различают: 1) действительный запас (Actual reserve), подсчет которого основан на действительно определенных мощности и площади распространения пласта; 2) вероятный запас (Probable reserve), когда обе указанные величины известны не с достаточной определенностью для всего месторождения; 3) возможный запас (Possible reserve), когда они гадательны и оставляют возможность допущений.

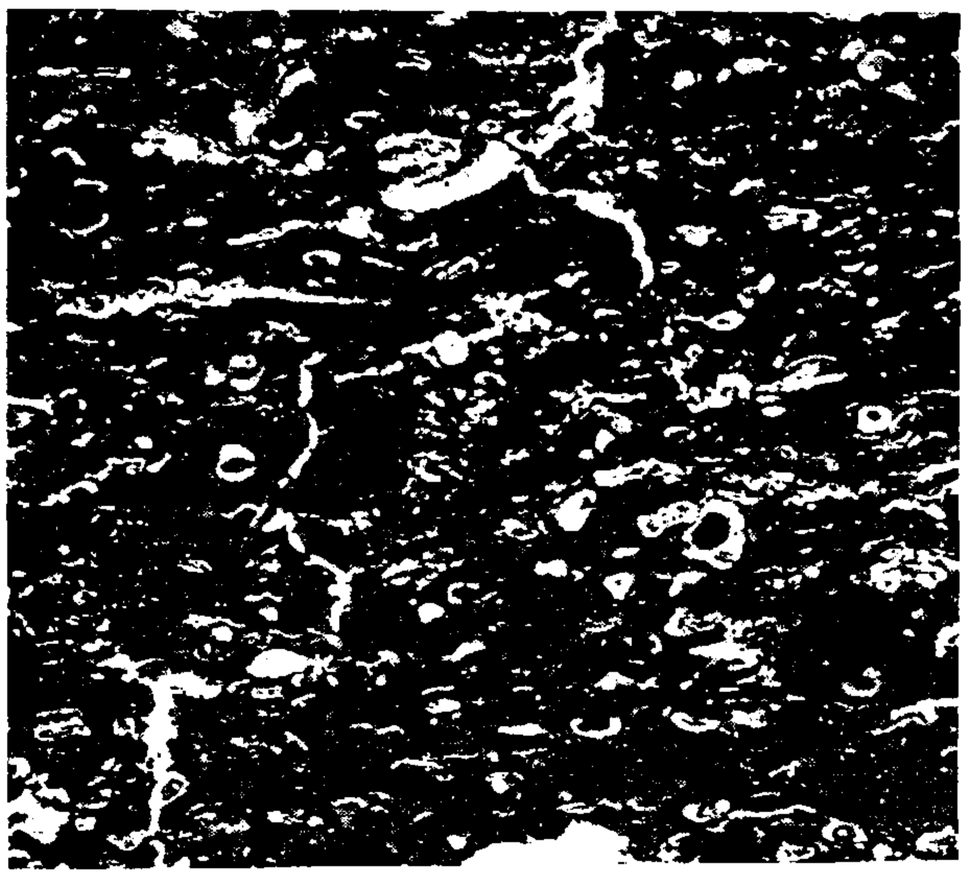
По классификации, принятой в последнее время Геологическим к-том СССР, все запасы в недрах разбиваются на три группы: А—подготовленный к добыче или детально разведанный и опробованный запас, а также запас в пределах объемного контура, определяемого выработками, скважинами и естественными выходами, расположенными на таких расстояниях, что по характеру месторождения допускается интерполяция соседних данных; В—запас в пределах объемного контура, определяемого выработками, скважинами, естественными выходами и геофизическими исследованиями, но с данными, недостаточными для включения запаса в предыдущую группу; С—запас, установленный только на основании геологических предпосылок, результатов геофизических исследований и отдельных редких естественных и искусственных обнажений.

Подсчет запасов И. у., впервые произведенный по всем странам мира вышеупомянутым XII Международным геологич. конгрессом, созванным в Канаде в 1913 г., исправляется по мере получения новых дополнительных данных. Последняя сводка мировых запасов по странам и категориям углей была установлена на Энергетич. конференции в Лондоне в 1924 г. Она приведена в табл. 3, при чем цифры по СССР исправлены по данным на январь 1927 г.

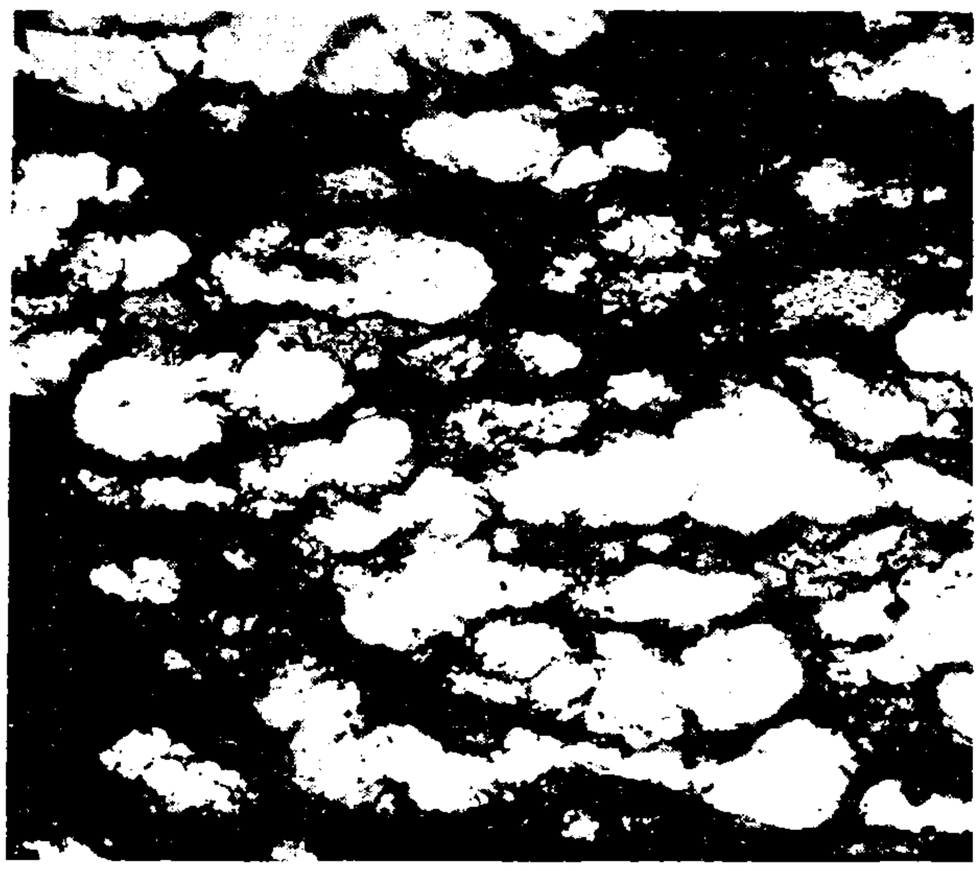
Из этой табл. видно, что максимальными запасами ископаемых углей (почти 50% мирового количества) обладают С.Ш.А.; за ними идут: Канада (около 15%), Китай (почти 13%). СССР с его общими запасами в круглых цифрах 552 300 млн. *т* (из них 250 500 млн. *т* антрацитов, 286 300—каменных углей и 15 500—бурых углей) обладает лишь 7,2% мировых запасов.

Отдельные месторождения нашего Союза подсчитаны с различной степенью точности и до разных глубин. За последнее время у нас открыты некоторые новые месторождения, не вошедшие еще в приведенную таблицу. Другие — уже известные месторождения — на основании новых данных позволяют считать запасы их бóльшими.

Месторождения в СССР. Сапропелевые угли. Из месторождений сапропелевых углей прежде всего надо отметить Подмосковный бассейн, площадью более 25 000 *км²*, расположенный в Московской области, в быв. губ. Московской, Рязанской, Тульской, Смоленской, Пензенской и Новгородской. За последнее время, в связи с развитием техники сжигания и использования низкосортного топлива, они приобретают все более важное значение. Мощность осадков угленосного яруса в различных бассейнах неодинакова: в Побединском районе, близ г. Скопина, она около 25—30 *м*; к югу она убывает: у ст. Бобрик-Донской составляет около 20 *м*; к северу, наоборот, она несколько возрастает, достигая 55—65 *м*. Общий запас угля—около $8^1/_3$ млрд. *т*. Залегание пластов неправильное, линзообразное, подвергающееся частым выклиниваниям и смене в горизонтальн. направлении. Отдельные месторождения требуют поэтому тщательной разведки. Добываемые в Подмосковном бассейне угли двух типов: преобладающее значение имеют т. н. курные угли (кеннельские); гораздо менее распространены богхеды. Первые сравнительно легко разрушаются на воздухе и не выдерживают дальней перевозки; содержание влаги в них ок. 20—32%, серы—3,5%, золы 9—13%, теплотворная способность 3 000—4 200 Cal. Вторые дают меньше мелочи при добыче, выдерживают сравнительно долгое хранение на воздухе и длительную перевозку; их теплопроизводительность доходит до 6 000—6 500 Cal. По наружным признакам, легкой выветриваемости, разрушаемости на воздухе, отсутствию блеска, бурой черте, способности окрашивать раствор едкого кали и некоторым другим свойствам они сходны с бурыми углями, хотя и очень древнего происхождения: их возраст нижне-каменноугольный, т. е. более древний, чем возраст углей Донецкого бассейна, образовавшихся в сред-



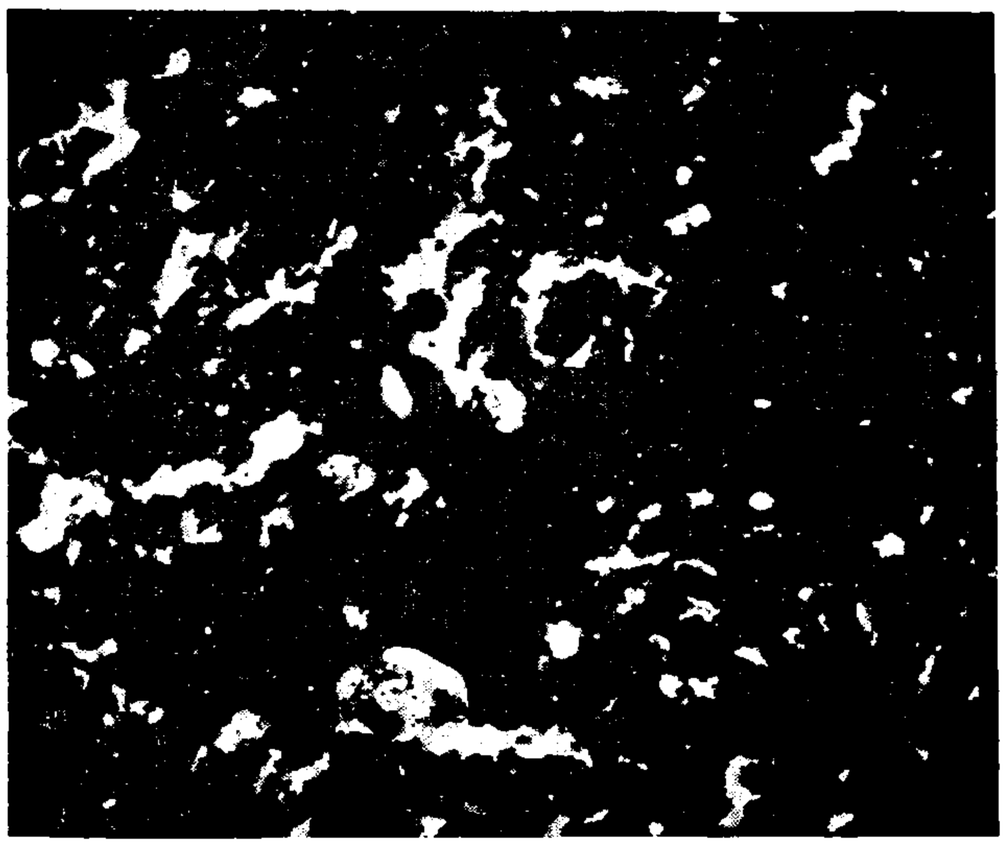
1



2

3

4



5

6

1. Вертикальный разрез товарковского (кэннельского) угля из пласта № 2, Товарково (Подмосковный бассейн). Уголь состоит почти исключительно из скопления спор в гумусовой массе, × 85. 2. Вертикальный разрез отенского богхеда, состоящего из скопления Pila bibractensis, × 85. 3. Разрез минерализованного волокнистого угля и пласта «Атаман» Брянского рудника (Донецкий бассейн), × 4,5. 4. Горизонтальный разрез минерализованного волокнистого угля, составленного из периодермы, из шахты 6. Алексеевского горнопромышленного об-ва на Обеточной (Донецкий бассейн), × 4,5. 5. Горизонтальный разрез антрацита-черепики из Макарьевской шахты в Грушевке (Донецкий бассейн), × 64. 6. Кровля, вероятно, пласта Толстого из отвалов шахты № 6 Брянского рудника (Донецкий бассейн.) Порода отлагалась во время надвигания моря на береговой торфяник. Включения остатков растительных тканей и раковин, × 2.

ТРЕСТ „ГЕОКАРТПРОМ"

Табл. 3.—Распределение мировых запасов ископаемого угля (в млн. *m*).

Страны	Антрацит и полуантрацит	Каменный уголь	Бурый уголь	Всего
Европа				
Германия	—	250 600	13 400	264 000
Великобритания	11 400	178 100	—	189 500
Польша	—	170 000	—	170 000
СССР (европ. часть)	39 600	28 800	8 400	76 800
Франция	3 270	29 220	1 630	34 120
Чехо-Словакия	—	8 780	12 430	21 210
Бельгия	—	11 000	—	11 000
Шпицберген	—	8 750	—	8 750
Испания	1 630	6 370	770	8 770
Голландия	320	4 080	—	4 400
Югославия	—	50	8 620	8 670
Румыния	—	514	208	722
Венгрия	—	120	485	605
Италия	—	144	99	243
Болгария	—	30	358	388
Австрия	—	16	384	400
Швеция	—	110	—	110
Португалия	—	20	—	20
Дания	—	—	50	50
Греция	—	—	40	40
Итого ...	56 220	696 704	46 874	799 798
Азия				
Китай	387 400	607 500	600	995 500
СССР (азиат. часть)	210 900	257 500	7 100	475 500
Британская Индия	—	76 400	2 600	79 000
Индо-Китай	20 000	—	—	20 000
Япония и Формоза	60	7 130	780	7 970
Персия	—	1 860	—	1 860
Манчжурия	68	1 140	—	1 208
Голландская Индия	—	240	1 070	1 310
Брит. Борнео	—	75	—	75
Корея	40	14	27	81
Филиппины	—	5	60	65
Итого ...	618 468	951 864	12 237	1 582 569
С. Америка				
С. Ш. А.	19 700	1 955 500	1 863 400	3 838 600
Канада	2 100	283 600	948 400	1 234 100
Ньюфаундленд	—	500	—	500
Итого ...	21 800	2 239 600	2 811 800	5 073 200
Ю. Америка				
Колумбия	—	27 000	—	27 000
Чили	—	3 050	—	3 050
Перу	700	1 300	—	2 000
Аргентина	—	5	—	5
Венесуела	—	5	—	5
Итого ...	700	31 360	—	32 060
Африка				
Южно-Африк. Союз	11 660	44 540	—	56 200
Родезия	—	495	75	570
Бельг. Конго	—	90	900	990
Южная Нигерия	—	—	80	80
Итого ...	11 660	45 125	1 055	57 840
Океания				
Австралия	660	132 250	32 660	165 570
Новая Зеландия	—	900	2 470	3 370
Итого ...	660	133 150	35 130	168 940
Всего ...	709 508	4 097 803	2 907 096	7 714 407

не-каменноугольное время. Низкая теплотворная способность, бурая или желтоватая черта, неспособность углей давать спекающийся кокс и другие признаки заставляют отнести угли Подмосковного бассейна к классу D установленной XII Международным геологическ. конгрессом группировки.

Из других месторождений сапропелевых углей необходимо указать на богхедовые районы Иркутской губ. Один из них (север-

ный) расположен на правобережной плоской возвышенности р. Ии, левого притока р. Оби, несколько к югу от переселенческого села Хахарей Тангуйской волости, приблизительно в 115—120 *км* к С.-В. от ст. Тулун Сибирской ж. д. Другой—находится на восточном берегу р. Ангары, к С.-З. от Иркутска, начинаясь от него уже в 40 *км*. Угленосная толща обоих районов—юрского возраста. Хахарейский район охватывает площадь около 50 *км*². Там обнаружены 3 сближенных между собой пласта. Мощность верхнего, разделяющегося на отдельные пачки с различными свойствами,—до 3,8 *м*; на 2,5 *м* ниже первого лежит второй пласт, около 2 *м* мощностью; на 3 *м* ниже этого пласта имеется нижний пласт, мощностью 0,1 *м*. Обращает внимание количество летучих в безводном и беззольном угле, составляющее для плотного богхеда 88,8%, для слоистого—81,5% и для сланцеватого—77,4%. Эти данные говорят за то, что мы имеем здесь чисто сапропелитовые образования высокой степени битуминизации. Количество первичного дегтя из этих разностей—48%, 35% и 27%. При этом получается от 6 до 15% близких к бензинам продуктов и до 17% парафина (от дегтя). Естественна при этих обстоятельствах высокая теплотворная способность—ок. 7 500 Cal. Запас—до 0,7 млрд. *т*. Приангарский район охватывает несколько отдельн. месторождений и тянется в северо-западном направлении почти на 10 *км*. На всем протяжении района имеется около 4 рабочих пластов. Мощность пластов не превосходит 1 *м*, а богхеда в них—0,5 *м*. Возможный запас углей—до 5 млрд. *т*; из них не менее 2—2,5 млрд. приходится на богхеды.

Эти районы представляют в высшей степени ценную базу для развития минеральномасляной и химической промышленности Сибири.

Следует отметить еще одно месторождение кеннельского угля в Якутской АССР—Сангарское месторождение юрского возраста. Оно расположено по правому берегу Лены в 75 *км* выше устья р. Вилюя и содержит 4 рабочих пласта угля с общею мощностью 5 *м*. Теплопроизводительная способность угля 6 118 Cal. Элементарный анализ безводного и беззольного угля дает 71,51% C, 4,60% H, 0,51% S, 22,2% O, 1,11% N.

Уголь—плотный, мало разрушается от выветривания, что позволяет транспортировать его на значительные расстояния. Содержание золы около 10%. Запасы этого месторождения около 100 млн. *т*.

Гумусовые угли. Обширных бассейнов однотипного ископаемого горючего в СССР очень мало; обычно один тип переходит в другой в одном и том же бассейне: бурые переходят в каменные или в богхеды (напр. Иркутский бассейн); каменные угли переходят в антрацит (Донецкий бассейн).

Крупнейшим из буроугольных месторождений является Челябинское, расположенное в 10 *км* к востоку от г. Челябинска, между р. Миасом на севере и озерами Камышиным и Половинным на юге. Пласты бурых углей подчинены юрским напластованиям, при чем угленосная толща имеет приблизительно меридиональное направление с меридиональным же простиранием пластов угля. В Челябинском районе имеются 3 главные группы пластов, из к-рых более других разведаны: северная группа, примыкающая к разъезду Козырево Омской жел. дор.; южная группа, расположенная в 15 *км* на восток от г. Челябинска; центральная или Тугайкульская группа (в 10 *км* к югу от северной), мало разведанная и в настоящее время не разрабатываемая. Наиболее мощные пласты угля (от 5,3 до 8,5 *м*) были обнаружены в южной группе. Кроме этих мощных пластов, там же были обнаружены более тонкие пласты—от 0,85 до 2,5 *м*. Все эти пласты на обследованном южном участке залегают мульдообразно. Часть их до последнего времени разрабатывалась открытыми работами.

Средней мощности пласты угля разрабатываются в настоящее время также на быв. Кыштымских отводах.

Элементарный анализ воздушносухого угля Тугайкульских копей, произведенный в 1914 г. в лаборатории Grossh. chem.-techn. Prüfungs- u. Versuchs-Anstalt в Карлсруе показал (в %):

Углерода	53,15
Водорода	3,95
Кислорода и азота	14,12
Серы	0,43
Золы	16,48
Влаги	11,87

Безводный же и беззольный уголь дает (в %):

Углерода	74,18
Водорода	5,51
Кислорода и азота	19,71
Серы	0,60
Теплотворная способность	4 853 Cal

При соприкосновении с влагой (особенно при продолжительном лежании в больших штабелях) способен самовозгораться. Вследствие большого количества влаги, малой плотности и часто резко выраженной отдельности по трем почти взаимно перпендикулярным направлениям быстро крошится и рассыпается, особенно же при перегрузках; поэтому перевозки его на значительные расстояния затруднительны.

Разрешение проблемы пылевидного топлива сильно раздвинет границы потребления этого угля. Этому будет способствовать также окончание постройки на нем мощной районной электрической станции. Запасы бурых углей Челябинского района оцениваются примерно в 436 млн. *т*.

Довольно значительные месторождения бурого угля того же юрского возраста известны на Сев. Урале в пределах бывшего Богословского горного округа. Здесь, кроме собственно Богословского месторождения (крупнейшего и наиболее разрабатывавшегося), имеются Волчанское месторождение и месторождение по рр. Черной и Веселой. Два последних, в которых обнаружены пока 2 пласта угля, мощностью от 1,4 до 1,7 *м*, плохо разведаны. Что касается Богословского месторождения, то оно представляет собою неглубокую мульду, почти меридионального направления с пологим восточным падением (10—12°) и более крутым западным (30—35°). Угленосные отложения промежуточными толщами глины делятся на 3 свиты. Верхняя из них (A) в настоящее время почти уже выработана открытыми работами. Открытыми же работами значительно выработана и нижележащая свита (B), заключающая 3 пласта от 0,64 до 3 *м* мощности. Нижняя свита (C) содержит в себе до

24 угольных слоев, иногда значительной мощности (до 1,8 и даже до 1,94 *м*). Общий запас углей не менее 41 млн. *т*. Уголь низкого качества с содержанием влаги (в сыром угле из забоев) до 30 и даже до 33%. Теплотворная способность воздушносухого угля около 5 500 и до 5 900 Cal. Выветривание и разрушение этого угля идет быстрее Челябинского; еще хуже он выдерживает перевозку.

Крупные запасы бурых углей имеются в Сибири. Так, западная часть обширного Иркутского каменноугольного бассейна (Белестовский район) занята бурыми углями. Запас их здесь выражается примерно в 2,5—3 млрд. *т*.

Довольно значительные месторождения юрского возраста имеются также в Забайкальской области. Главнейшие из них: Арабагарское, Черновское и Харанорское, каждое с запасами более 100 млн. *т*. Арабагарское месторождение с 2 рабочими пластами находится близ разъезда Холбон Читинской ж. д. в 20 *км* от г. Нерчинска. Черновское месторождение с работающей Черновской копью находится в 20 *км* к западу от Читы у разъезда Черновского. Работами освещен только верхний (первый, или главный) пласт до 7 *м* мощности. На ю.-з. крыле мульды обнаружены еще 4 пласта. Харанорское месторождение лежит в 3—4 *км* к югу от разъезда № 79, между ст. Борзя и Хадабулак Читинской ж. д. и содержит 2 рабочих пласта угля непостоянной мощности: верхний—от 10 до 17 и нижний—от 2,2 до 8,5 *м*.

Из буроугольных месторождений Амурской области необходимо отметить Буреинско-Завитимскую группу, приуроченную к низовьям р. Буреи. Наиболее крупным здесь является Кивдинское месторождение третичного возраста с запасом угля до 187,5 млн. *т*.

В Приморской области есть несколько месторождений бурых углей третичного возраста. Наиболее известны Артемовские (бывш. Зыбунные) копи, расположенные на 9-й версте Сучанской ж.-д. ветки, где известны два пласта: один мощностью 1,5—4,25 *м*, другой, лежащий под первым на расстоянии 50—55 *м*, мощностью 3,2—4,5 *м*. Теплопроизводительная способность этого угля 4 852 Cal.

Из месторождений бурых углей, расположенных в пределах автономных республик, следует отметить: в Якутской АССР—Канgalакское месторождение на левом берегу Лены в 40—50 *км* ниже Якутска. Месторождение—юрского возраста с 4 рабочими пластами угля: верхний имеет мощность 1—2 *м*, нижний—среднюю мощность около 3 *м*. Уголь малозольный (6,5%) и малосернистый. Теплотворная способность 5 071 Cal. Запас на изученной площади—около 15 млн. *т*.

В Казакск. АССР к этой группе месторождений можно отнести Мангишлакское, Байканурское и Майкюбенское—все, повидимому, юрского возраста. Для первого подсчет запасов дает 26 373 000 *т*, для второго—1 700 000 *т* и для третьего—на площади около 400 *км*²—60 000 000 *т*.

В Бурятской АССР следует отметить Гусиноозерское месторождение на с.-з. и ю.-в. берегах Гусиного озера в 15—40 *км* от Новоселенгинска. По недостатку данных цифровой запас этого месторождения определить не представляется возможным.

Ряд более мелких буроугольных месторождений разбросан и в азиатской и в европейской частях СССР. В европейских пределах следует отметить буроугольные месторождения Киевской губ. (возможный запас—7 900 000 *т*), Херсонской губ. (4 540 000 *т*) и Днепропетровской губ. (490 000 *т*).

Гораздо большую роль для развития промышленности СССР играет каменный уголь. Характеристику месторождений этой разновидности горючего ископаемого см. *Каменный уголь*.

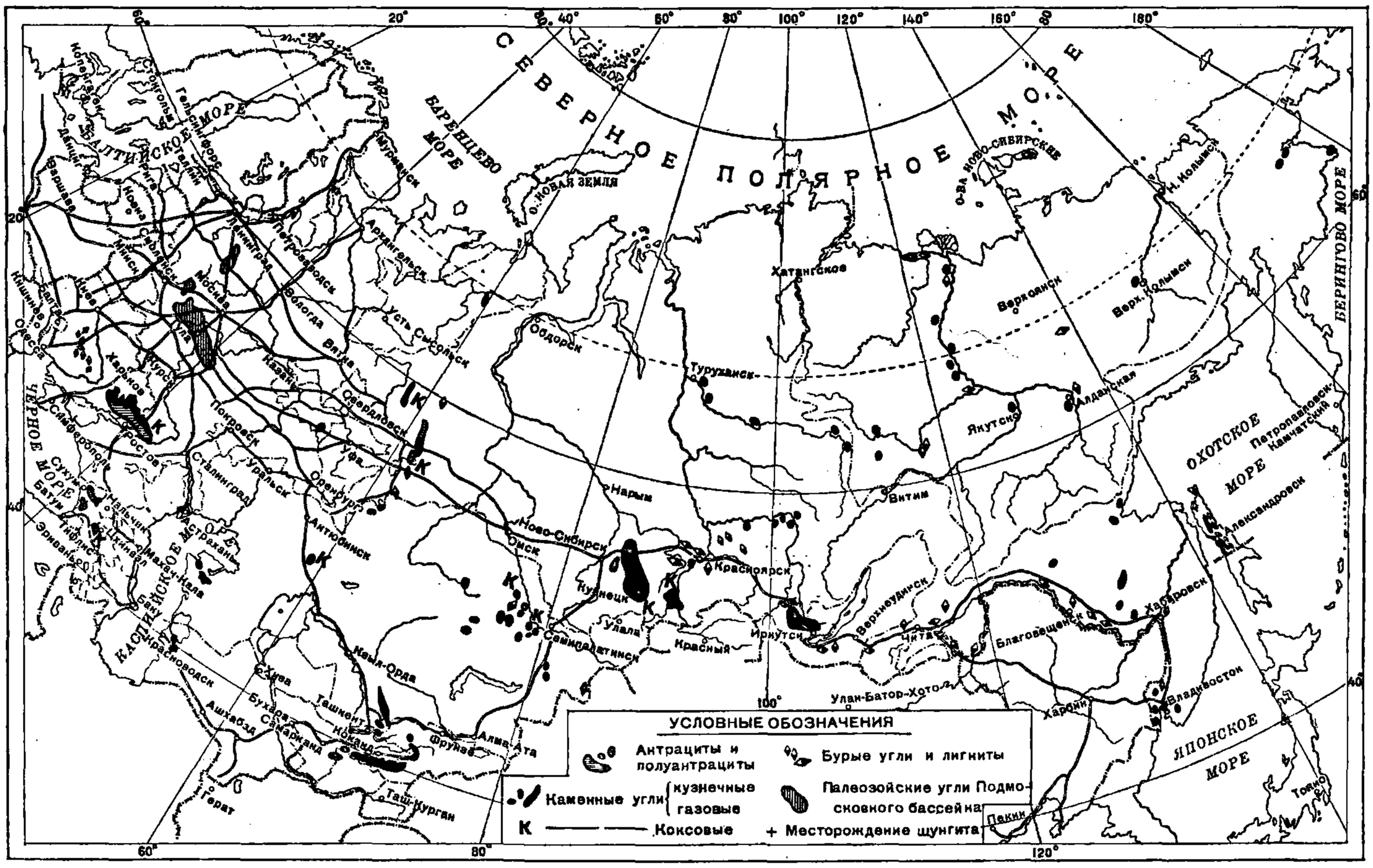
Что касается антрацита, то наиболее крупные его месторождения связаны с Донецким каменноугольным бассейном. Многие донецкие месторождения по чистоте и высокой калорийности антрацита приобрели заслуженную известность даже за границей (гл. обр. в Италии). В этом отношении особенно ценится антрацит Грушевской котловины (разработка антрацита здесь началась с конца прошлого столетия), Боково-Хрустальского и Должанского районов Чистяковской мульды; здесь и сосредоточена главная добыча антрацита, составлявшая в 1926/27 г. несколько меньше 40% всей добычи Донецкого бассейна. Запасы антрацита в Донецком бассейне значительны. По последним данным Геологич. комитета, запасы антрацита и полуантрацитов (39 599 млн. *т*) составляют 58% всех запасов Донецкого бассейна. Правда, бо́льшая часть их приходится на полуантрацит.

Огромные запасы И. у. той же категории, гл. обр. полуантрацитов, сосредоточены и в Кузнецком бассейне, особенно на его периферии. Из всего количества 400 млрд. *т* возможных запасов этого бассейна на долю антрацитов и тощих углей приходится (ориентировочно) не менее 50%.

Что касается отдельных месторождений антрацита, то они сосредоточены в узкой полосе (0,5—4 *км*) нижне-каменноугольных осадков, тянущейся по восточному склону Урала почти в меридиональном направлении. Вся эта полоса подверглась чрезвычайно сильной дислокации, отличается обилием складок (часто опрокинутых), весьма частыми тектонич. нарушениями и зажата между совершенно чуждыми ей образованиями (иногда кристаллич. породами). Следствием громадных неравномерных боковых давлений является чрезвычайное непостоянство угольных пластов этой полосы, частые их пережимы (иногда до полного выклинивания) и раздувы, а также большая раздробленность угля в самих пластах. Этим же обстоятельством в значительной степени объясняется и малое содержание летучих веществ в угольных пластах восточного склона: оно составляет 4,5—13%. Только в немногих местах содержание летучих повышается до 18%, в отдельных случаях даже до 27%, и такие угли дают спекающийся кокс. Это наблюдалось в окрестностях Каменского завода на реке Исети, в Сухом Логу, на реке Шакише,

притоке р. Режа, а также в получившем широкую, но пока еще незаслуженную популярность т. н. Алапаевском месторождении (у д. Подосининой).

Наиболее крупным из месторождений антрацита восточного склона Урала является



открытое в 1871 г. Егоршинское месторождение, расположенное на обоих берегах р. Бобровки. Точное количество рабочих пластов этого месторождения не установлено: их насчитывают до 16 с общею мощностью до 24—25 *м*. Анализ углей Артемовской копи (б. Бобровской) показал (в %):

	1-я проба	2-я проба	3-я проба
Влаги	1,38	1,43	1,23
Летучих веществ	7,19	6,55	8,67
Кокса	92,81	93,55	91,33
Золы	6,51	3,91	16,42
Серы	0,66	0,64	5,33

Теплотворная способность . . . в 7 891 Cal

К югу от Артемовской копи находятся Ключевская и Бурсунская копи. К югу от последней (прибл. в 20 *км*) расположена Черемшанская копь, а в 16 *км* южнее—б. копь Клата-Лара, где разведано на выходах не менее 7 пластов.

Интересно с научной точки зрения Фадинское, или Боевское, месторождение антрацита на р. Богаряке: угленосная толща подверглась здесь сильному метаморфизму и ографичению. Сланцы с содержанием графита до 50% разрабатывались под видом графита.

Далее к югу из антрацитовых месторождений этой же полосы следует отметить Полтавское и Брединское месторождения, расположенные вдоль линии Орск-Троицкой ж. д. Полтавское месторождение находится в пределах вытянутой почти на 20 *км* в меридиональном направлении (вероятно с перерывами) полосы угленосных нижнекаменноугольных отложений от поселка Бородинского на севере до поселка Наследницкого на юге. Оно расположено на р. Караталы-Аят близ разъезда Орск-Троицкой ж.д. Месторождение подверглось сильному боковому сжатию и представляет, повидимому, изоклинальную складку,—может быть, и не одну. Пласты местами почти совершенно выжаты и обращены в графит, местами раздуты иногда до 10—15 *м* мощности. Имеется до 20 рабочих пластов, очень сближенных между собою; средняя мощность пластов до 1—1,25 *м*. Общая мощность их 20—30 *м*. Месторождение весьма недостаточно разведано. Анализ антрацита показал такой состав (в %):

	Лаборатории: Ленингр. Горн. ин-та	Златоустовск. з-да
Влага	2,93	8,62
Летучие	5,84	2,62
Кокс	90,23	97,38
Углерод	—	85,38
Зола	5,50	10,84
Сера	0,23	0,13
Теплотворная способность	—	7 181 Cal

Брединское месторождение расположено в той же меридиональной полосе, что и Полтавское, приблизительно в 75 *км* к югу от последнего и в 6 *км* от разъезда Рымникского Орск-Троицкой ж. д. Месторождение разведано еще менее Полтавского. Антрацит аналогичного качества, но, повидимому, более золистый. Пласты то выклиниваются, сильно при этом ографичиваясь, то раздуваются. Известно до 11 пластов рабочей мощности.

Определить, хотя бы ориентировочно, запас антрацита в месторождениях восточного склона Урала весьма затруднительно вследствие малой разведанности месторождений и чрезвычайной сложности залегания.

Табл. 4.—Запасы ископаемого угля в СССР по данным Геологического комитета (в тыс. *m*).

Районы	Антрацит и полуантрацит	Каменный уголь	Бурый уголь	Всего
Европейская часть СССР				
Подмосковный бассейн	—	—	8 330 000	8 330 000
Донецкий »	39 599 000	28 568 000	—	68 167 000
Западная Украина	—	—	12 930	12 930
Боровичский район	—	—	7 800	7 800
Зап. склон Урала	—	263 325	—	263 325*
Крым	—	281,5	—	281,5
Сев. Кавказ	6 800	15 285	—	22 085
Северная Печора	—	1 660	—	1 660
Итого . .	39 605 800	28 848 551,5	8 350 730	76 805 081,5
Азиатская часть СССР				
Вост. склон Урала	51 550,4	350	476 920	528 820,4
Закавказье	—	223 000	—	223 000
Кузнецкий бассейн	210 780 000	189 220 000	—	400 000 000
Минусинский »	—	14 000 000	—	14 000 000
Иркутский »	—	46 300 000	5 700 000	52 000 000
Енисейский район	30 000	67 510	—	97 510
Ленский »	—	100 090	15 000	115 090
Забайкалье	—	500	319 900	320 400
Амурский район	—	500	375 000	375 500
Приморский »	40 190	412 260	163 168	615 618
Сев. Сахалин	—	2 000 000	—	2 000 000
Казакстан	—	4 870 000	87 543	4 957 543
Среднеазиатские республики	—	334 433	—	334 433
Итого . . .	210 901 740,4	257 528 643	7 137 531	475 567 914,4
Всего . . .	250 507 540,4	286 277 194,5	15 488 261	552 372 995,9

* В настоящее время, по подсчетам Урало-Сибирской комиссии ВСНХ СССР, запас каменных углей западного склона Урала (до глубины 1 *км* от дневной поверхности) близок к 2 000 000 тыс. *m*; Геологический комитет уточняет эти запасы до 1 660 000 тыс. *m*.

Последняя сводка Геологич. комитета дает: для Егоршинского района 29 850 000 *m* антрацита и 350 000 *m* битуминозных углей; для Полтавского месторождения 18 700 000 *m* антрацита и для Брединского месторождения 3 400 000 *m* антрацита.

На С. Кавказе известны два месторождения антрацита и полуантрацита каменноугольного возраста: Кефар-Агурское в долине р. Агура, притока Б. Зеленчука, и Богословское—в долине р. Хыз-Гора, притока Б. Зеленчука. Месторождения мало разведаны. Запасы рассчитаны по первому (для площади 0,5 *км*²) в 1 800 000 *m* и по второму (для площади 1 *км*²) в 5 000 000 *m*.

В Сибири имеется месторождение антрацита на р. Курейке, выше известного графитового месторождения. Антрацит переслаивается здесь битуминозными углями. Возможный запас—до 30 млн. *m*.

Небольшое Горловское антрацитовое месторождение (от 7 до 14% летучих веществ) лежит к западу от Кузнецкого бассейна по рекам Берди, Выдрихе и Китерне (бассейн р. Оби). Здесь известно 3 рабочих пласта мощностью 5,3—8,1 *м*. Месторождение разбито рядом мелких и крупных тектонических нарушений и весьма неудобно для эксплоатации.

В Приморской области ДВК мелкие антрацитовые и полуантрацитовые месторождения относятся к верхам триаса и юры. Сюда можно отнести сильно нарушенное Манугайское месторождение на зап. берегу Амурского залива (3 рабочих пласта с запасом 1 200 000 *m*); месторождение Радчиха в 17 *км* к северу от Шкотова, с запасом 18 000 000 *m*; месторождение Суражевка (по левому притоку р. Сан-Паузы) с запасом 16 660 000 *m*. Наконец, угли типа антрацита и полуантрацита юрского возраста имеются и в Сучанском районе, где запас их доходит до 4 000 000 *m*.

Отдельные мелкие месторождения антрацита каменноугольного возраста известны и в восточной части Казакстана. Общая сводка всех известных в СССР запасов ископаемого угля приведена в табл. 4, а месторождения указаны на прилагаемой карте.

Лит.: Потонье Г., Сапропелиты, пер. с нем., П., 1920; Лебедев Н., Учение о месторождениях полезных ископаемых, вып. 2—Каменный уголь и другие виды твердого ископаемого горючего, Екатеринослав, 1912 (устарела); Усов М. А., Геология каустобиолитов, Томск, 1920; Залесский М. Д., Очерк по вопросу образования угля, СПБ, 1914; его же, Естеств. история одного угля, «Труды Геолог. комитета», Новая серия, вып. 139, П., 1915; Арбер Е. А., Естеств. история угля, пер. с англ., М., 1914; Очерк месторождений ископаемых углей России, СПБ, 1913; Ископаемые угли, «Естеств. производит. силы России», т. 4, вып. 20, П., 1919; Мефферт Б., О выветривании минер. угля, СПБ, 1910; Годовой обзор минер. ресурсов СССР за 1926/27 г., Л., 1928; Grand'Eury F., Formation des couches de houille et de terrain houiller (Géogénie), P., 1887; Fayol H., Études sur le terrain houiller de Commentry, St. Etienne, 1887; Renault B., Note sur les cuticules de Tovarkovo, «Bull. de la Soc. d'histoire naturelle d'Autun», Autun, 1895; Renault B., Sur quelques bacterias des temps primaires, ibid.; Dannenberg H., Geologie d. Steinkohlenlager, B. 1, B., 1908—15, B. 2, T. 1, B., 1922; Potonié H. u. Gothan W., Die Entstehung d. Steinkohle u. d. Kaustobiolithe, 6 Auflage, Berlin, 1920; Stutzer O., Die wichtigsten Lagerstätten der

Nicht-Erze, B. 2—Kohle (Allgemeine Kohlengeologie), 2 Aufl., B., 1923; Weithofer A., Die historische Entwicklung d. Ansichten über d. Entstehung d. Kohlen u. Kohlenflötze, «Neues Jahrbuch f. Mineralogie, Geologie u. Paläontologie», Stg., 1916, B. 16; «The Coal Resources of the World; Canada, 1913», Toronto, 1913, v. 1—3. **А. Гапеев.**

ИСКРОВОЙ ПЕРЕДАТЧИК, генератор высокой частоты, использующий колебательный разряд конденсатора через самоиндукцию и искровой промежуток для получения энергии высокой частоты; далее эта энергия б. ч. излучается посредством антенны в пространство в форме затухающих электромагнитных волн.

Теория искрового возбуждения электромагнитных колебаний. Рассмотрим работу эдс на контур, содержащий емкость, самоиндукцию и сопротивление. Если заряд на конденсаторе q, а сила тока

$$i = \frac{dq}{dt}, \qquad (1)$$

то, согласно закону Кирхгофа,

$$e - L\frac{di}{dt} - V_c = iR, \qquad (2)$$

где e—эдс, V_c—напряжение на зажимах конденсатора

$$V_c = \frac{q}{C}, \qquad (3)$$

L—самоиндукция. Эдс может создать вынужденное колебание в системе; свободные колебания нашего контура получатся, если $e=0$. Тогда, согласно уравнениям (1) и (3), ур-ие (2) принимает вид:

$$L\frac{d^2q}{dt^2} + R\frac{dq}{dt} + \frac{1}{C}q = 0. \qquad (4)$$

Ур-ие это имеет решение

$$q = Q\,e^{-at}\sin(\omega t + \varphi), \qquad (5)$$

при чем Q и φ определяются начальными условиями, a и ω—из следующих соотношений:

$$a = \frac{R}{2L} \text{ и } \omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}. \qquad (6)$$

Такое решение получается лишь в том случае, когда $\frac{1}{LC} > \frac{R^2}{4L^2}$, т. е. если

$$R < 2\sqrt{\frac{L}{C}} \qquad (7)$$

(в этом неравенстве все величины выражены в одной и той же системе единиц, например: R—в Ω, L—в H, C—в F). Если неравенство (7) не выполняется, то решение уравнения (5) имеет вид:

$$q = Q_1 e^{-k_1 t} + Q_2 e^{-k_2 t}, \quad \text{если } R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}, \qquad (8)$$

$$q = (Q_1 + Q_2 t)\,e^{-at}, \quad \text{если } R = 2\sqrt{\frac{L}{C}}, \qquad (8')$$

при чем

$$k_1 = \frac{R}{2L} - \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}$$

и

$$k_2 = \frac{R}{2L} + \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}.$$

Так как эдс, вынуждающей колебания, в контуре нет, то мы должны предположить, что в контуре имеется нек-рое количество энергии (напр. имеется заряд на конденсаторе, иначе $Q=0$). Поэтому ур-ие (4) носит название уравнения разряда конденсатора, при чем при выполнении условия (7) разряд будет колебательным, в случае (8)—апериодическим, случай же (8′) носит название критического. Теоретич. исследование колебательного разряда конденсатора сделано Томсоном, а затухающий колебательный процесс в контуре впервые экспериментально обнаружен Феддерсеном. Если в выражении для ω пренебречь сопротивлением R, то получим приближенную ф-лу Томсона (см. *Затухание*):

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \cong 2\pi\sqrt{CL}.$$

Точное решение ур-ия колебательного разряда конденсатора дает величину периода:

$$T = 2\pi\sqrt{CL} : \sqrt{1 - \frac{R^2C}{4L}}, \qquad (9)$$

где T выражено в ск., C—в F и L—в H, или

$$\lambda = 2\pi\sqrt{CL} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\delta}{2\pi}\right)^2}, \qquad (10)$$

где λ, L и C выражены в *см*. При $\delta=0{,}4$ ошибка при пользовании ф-лой $\lambda = 2\pi\sqrt{CL}$ вместо ф-лы (10) достигает 0,2%. Ур-ие, аналогичное (5), написанное вместо q для i и v, дает следующие решения:

$i = I_0 \cdot e^{-at}\sin\omega t$ и $V = V_0 \cdot e^{-at} \cdot \sin(\omega t + \varphi)$. Если N—число разрядов в 1 ск., то действующая сила тока в колебательном контуре затухающих колебаний определяется формулой;

$$i_g^2 = N\int_0^\infty (I_0 \cdot e^{-at} \cdot \sin\omega t)^2\,dt = NI_0^2 \cdot \frac{\omega^2}{4a\,(a^2+\omega^2)},$$

к-рая после подстановки $\omega = 2\pi f$ и $a = f \cdot \delta$ дает:

$$i_g^2 = \frac{N \cdot I_0^2}{4f \cdot \delta} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{\delta}{2\pi}\right)^2} \cong \frac{N \cdot I_0^2}{4f \cdot \delta}.$$

Начальная амплитуда силы тока I_0 определяется с достаточной точностью, если пренебречь потерями энергии за первую четверть периода. Тогда

$$\frac{CV_0^2}{2} = \frac{L \cdot I_0^2}{2}, \text{ откуда } I_0 = V_0\sqrt{\frac{C}{L}},$$

где C выражено в F и L—в H, или

$$I_0 = \frac{V_0}{30}\sqrt{\frac{C}{L}},$$

где C и L выражены в *см*; в обоих случаях I_0 выражается в A и V_0 в V.

Далее в практике И. п. имеет большое значение зависимость

$$\delta = a \cdot T = \pi \cdot R\sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{R \cdot C}{150\lambda} = 1{,}7 \cdot \frac{\lambda \cdot R}{L}$$

(C и L выражены в *см*), позволяющая определить активное сопротивление контура R в Ω из величин λ (в *м*), C (в *см*) и δ, легко находимых из измерений (см. *Измерение в радиотехнике*). Колебательный разряд можно считать законченным, когда амплитуда силы тока упадет до 1% первоначальной величины; так. обр., продолжительность разряда определяется из ф-лы:

$$I_0 \cdot e^{-at_{fin}} = 0{,}01I_0, \text{ откуда } t_{fin} = \frac{4{,}6}{f \cdot \delta}.$$

Если новый колебательный разряд начинается еще тогда, когда колебания от предыдущего не успели затухнуть, т. е., если $t_{fin} > \frac{1}{N}$, то происходит перекрывание одного колебательного разряда другим. Энер-

гия заряженного конденсатора к моменту окончания разряда израсходуется на различные потери, т. е. выделится в виде тепла Джоуля в действующем (эквивалентном) сопротивлении R; если разряды происходят N раз в ск., то мощность колебательного контура

$$P = N \cdot \frac{V_0^2 \cdot C}{2},$$

где C выражено в F.

Для практики интересны периодические заряд и разряд конденсатора, к-рые осуществляются или при помощи прерывателей (электромагнитных, турбинных и нек-рых др.) или при помощи искровых разрядников, составляющих отличительную особенность И. п.

Составляющий неотъемлемую часть всякого И. п. искровой промежуток оказывает большое влияние на весь процесс затухающих колебаний. Искровой промежуток можно рассматривать как некоторое сопротивление, включенное последовательно в колебательную цепь; при этом, изменяя его длину, можно повысить или понизить напряжение, до к-рого будет заряжен конденсатор, пока не пробьется искровой промежуток и не начнется колебательный процесс. Сопротивление искры R_f м. б. определено формулой:

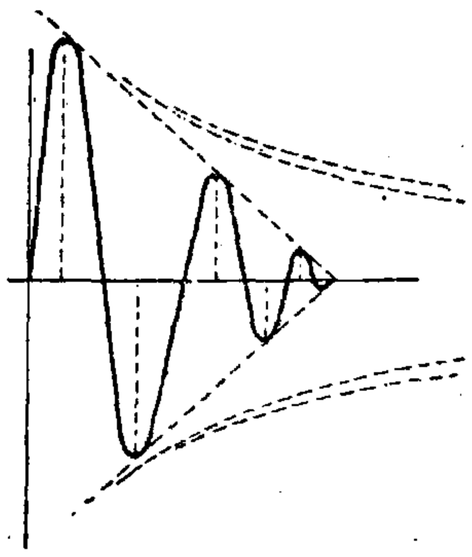
$$R_f = \frac{(1{,}91 - 2{,}55)(a_0 + a_1 l)}{I_0},$$

при чем коэфф-т 1,91 следует брать в том случае, когда $R_f > R$ колебательного контура, и коэфф. 2,55—для обратного случая; I_0—начальная амплитуда силы тока, l—длина искры в *мм*; величины a_0 и a_1 зависят от материала электродов (табл. 1).

Табл. 1.—Зависимость коэффициентов a_0 и a_1 от материала электродов.

Материал электродов	Значения коэфф-тов	
	a_0	a_1
Mg	34	7,6
Zn	30	10,4
Cu	28	10,9
Ag	42	10,4

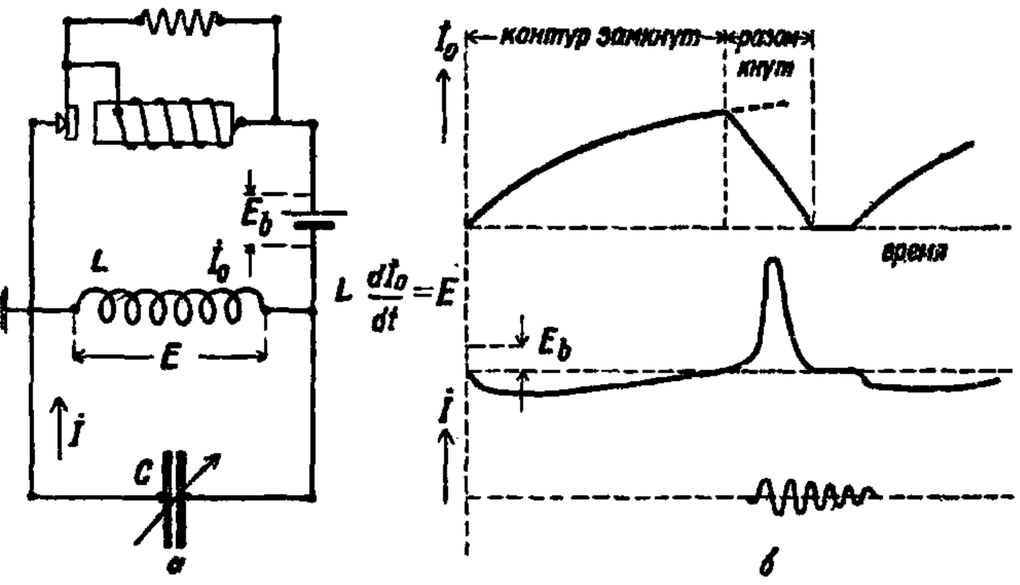
Сопротивление искры R_f зависит также от формы электродов (чем меньше радиус электрода, тем R_f больше) и от газа, окружающего электроды (наибольшее в атмосфере H). Так как R_f зависит от силы тока и обратно пропорционально ей, то искру можно рассматривать как нек-рую противоэлектродвижущую силу, тем большую, чем меньше I (что и подтверждено на опыте Рожанским и Слуцкиным).



Фиг. 1.

Поэтому искра не только увеличивает затухание колебаний, но и искажает их: убывание амплитуд следует не закону типа функции e^{-at}, а другому—линейному: $E' = E_0\left(1 - \frac{a}{2} t\right)$, где a—линейный декремент затухания и E'—мгновенное значение эдс (фиг. 1). Второе искажение в процессе разряда вносится искровым промежутком—потуханием его раньше окончания разряда, следствием чего является остаточный заряд на конденсаторе. Наконец, искра (в особенности при электродах из серебра) увеличивает, хотя и очень немного, период колебания контура.

Получение затухающих колебаний высокой частоты при помощи прерывателей находит себе большое применение в практике

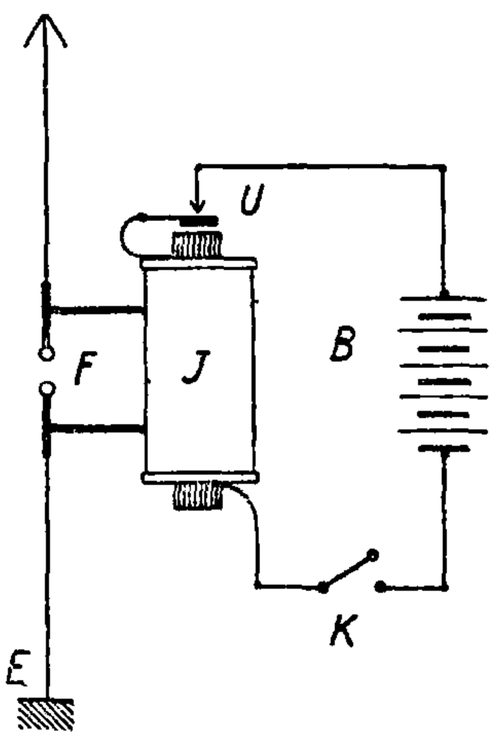


Фиг. 2.

измерений в виде электромагнитных прерывателей, или зуммеров, к-рые, являясь по существу генераторами звуковой частоты, в то же время выполняют и роль генераторов радиочастоты. Наиболее употребительна схема зуммеров, приведенная на фиг. 2,а. Каждый раз батарея при включении заряжает конденсатор, разряжающийся затем через самоиндукцию. Процессы, происходящие в зуммере, изображены на фиг. 2,б.

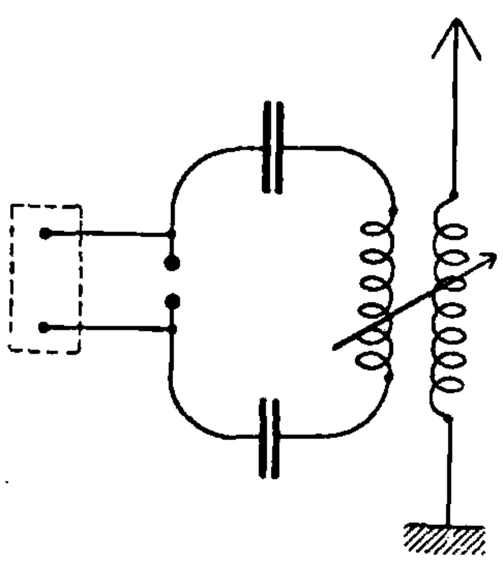
Практические формы И. п. I. Станция с трещащей искрой.

1) Метод прямого возбуждения колебаний в антенне применялся еще А. С. Поповым и Г. Маркони, к-рые пользовались при этом односторонне заземленным вибратором Герца (фиг. 3). Искровой разрядник простого типа F (длинная искра между двумя шариками) вводится у основания E антенны A; необходимая для заряда антенны энергия доставляется вторичной обмоткой индуктора J, первичная обмотка к-рого питается током батареи B, прерываемым молоточным прерывателем U индуктора (число прерываний в ск. $\geq$ 100). Ключ K служит для замыкания тока и посылок волн надлежащей продолжительности. Схема станции состоит из трех частей: цепь низкого напряжения (источник тока), цепь высокого напряжения (вторичная обмотка индуктора и конденсатор — антенна — земля) и цепь высокой частоты (антенна — искровой промежуток — земля). Такие простейшие станции включаются иногда и теперь в качестве судовых аварийных, так как при малой емкости судовой антенны можно ограничиться маленьким индуктором и небольшой аккумуляторной батареей.

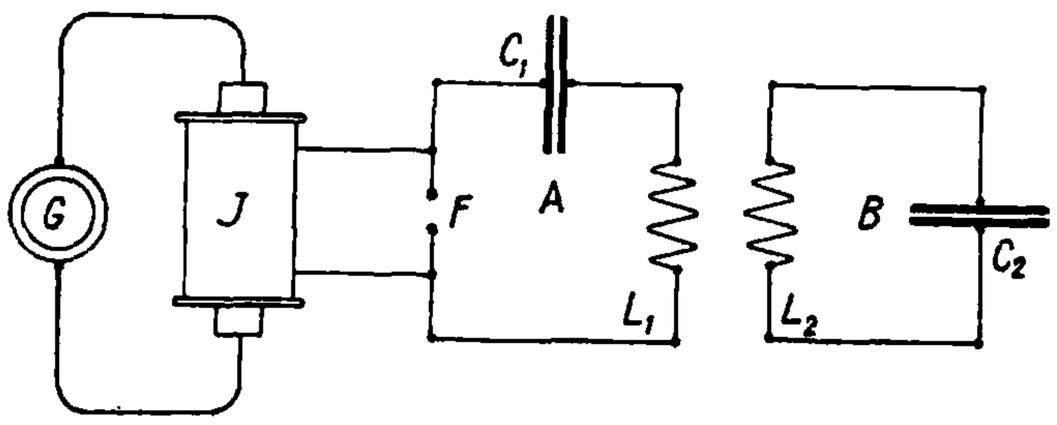


Фиг. 3.

2) Метод косвенного возбуждения колебаний был введен Ф. Брауном как средство уменьшить сильное затухание колебаний в антенне при первом методе, а также повысить кпд антенны; особенно важна была первая цель, т. к. *избирательность* (см.) на приемной станции получалась столь малая, что еще тогда взаимными помехами ставилась преграда одновременной работе многих радиостанций. При косвенном возбуждении искровой промежуток располагался (фиг. 4) в замкнутом контуре, связанном с антенной. При этом: 1) затухание антенного контура уменьшалось, а продолжительность одного заряда увеличивалась; 2) при том же напряжении индуктора в замкнутом контуре можно было иметь в замкнутом контуре бо́льшую емкость и меньшую самоиндукцию, что позволяло перейти к бо́льшим количествам энергии (т. к. мощность $P = \frac{CV^2}{2}$). Вследствие малого затухания настройка приемника на передатчик с косвенным возбуждением делалась значительно острее. Недостатком этого способа являлась двуволнистость системы вследствие обратного воздействия открытой цепи на замкнутую (см. *Связь*): чтобы добиться одноволнистости, связь д. б. не более 5—6%, но тогда количество передаваемой в антенну



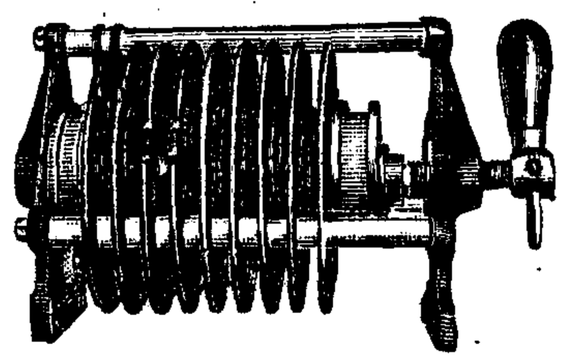
Фиг. 4.



Фиг. 5.

энергии незначительно. Связь замкнутого контура с антенной выбирается индуктивная, автотрансформаторная или гальваническая. Вследствие неудовлетворительной деионизации искрового промежутка при индукторных прерываниях число разрядов в ск.>100 получать было трудно; эта цифра в свою очередь обусловливала высоту звука в телефоне на приемной радиостанции: звук получался в виде тресков большей или меньшей продолжительности—отсюда происхождение названия класса.

II. Станции с тональной искрой. Почти все современные И. п. применяют метод возбуждения, называемый ударным. Особенностью его является наличие двух взаимно сильно связанных систем A и B (фиг. 5); первая из них, в к-рой возбуждаются колебания за счет генератора тока G, играет относительно второй роль источника внешней силы, на к-рую последняя реагирует. Действие первичной системы на вторичную совершается при этом периодически и продолжается каждый раз очень короткое время; поэтому его можно рассматривать как ряд ритмических, быстро следующих друг за другом импульсов или ударов. Эти удары во вторичной системе вызывают одно-тонные колебания периода и затухания, свойственные только второй системе. Для получения такого процесса необходимо энергично деионизировать среду искрового промежутка или ускорить нормальную деионизацию; тогда искра в первичном контуре может погаснуть преждевременно, во время процесса биений, отсюда происхождение названия «искрогасящий разрядник». Поэтому последовательный переход энергии первичного контура во вторичный и обратно прекратится, и доставленная этому последнему энергия примет в нем форму собственных его колебаний. Методы достижения ионизации описаны в статье *Беспроволочная связь* (см.).

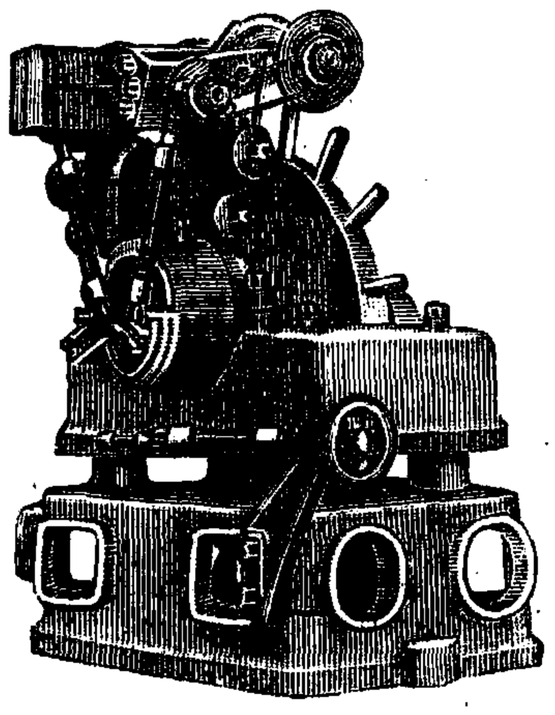


Фиг. 6.

На И. п. применяются два типа разрядников: неподвижный — конструкции Телефункен и вращающийся — типа Маркони. Первый (фиг. 6) состоит из ряда кругообразных плоских медных пластин, рабочая поверхность к-рых покрывается серебром; отвод тепла увеличивается постановкой между отдельными разрядниками больших медных пластин (часто, кроме того, применяется вентилятор). Форма отдельного искрового промежутка дана на фиг. 7 (длина искры обусловливается толщиной слюдяной прокладки—кольца́, зачерненного на фигуре). Для получения больших количеств энергии включалось последовательно до 100 искровых промежутков.

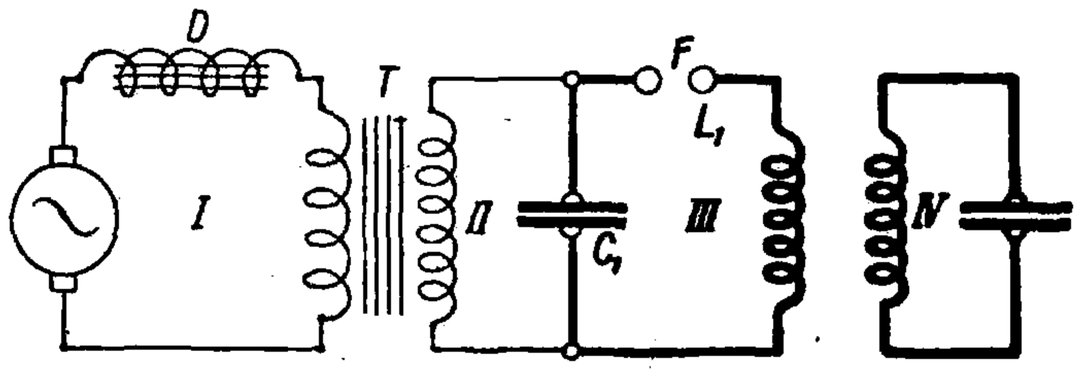
Фиг. 7.

Вращающийся разрядник (фиг. 8) встречается двух категорий: асинхронный и синхронный. В первом из них вращающийся электрод приводится в движение электромотором—этим предоставляется возможность легкого регулирования (гл. обр. числом оборотов мотора) числа разрядов в ск. (высоты тона). Во втором разряднике вращающийся электрод механически связан с питающим И. п. альтернатором повышенной частоты, принцип устройства которого аналогичен схеме индукторной машины высокой частоты (см. *Высокой частоты машина*). В этом случае высота тона будет числом, кратным числу периодов питающего искрового разрядника. Во всех случаях сигналы принимаются в виде чистого тона, который легко выделяется на фоне атмосферных и других помех.



Фиг. 8.

Значительное улучшение действия И. п. получается при настройке в резонанс цепи низкой частоты. Условием резонанса, т. е. совпадения периодов общего контура *I* и *II*,



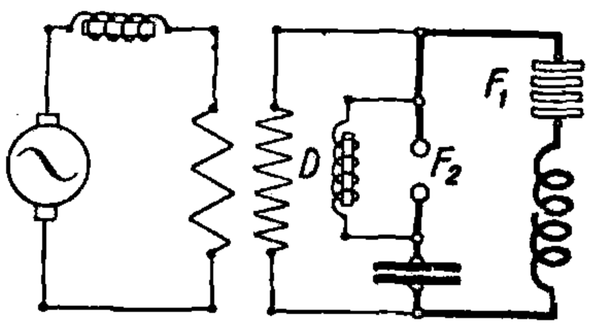
Фиг. 9.

является выполнение в последнем следующих соотношений (уравнение Зейбта):

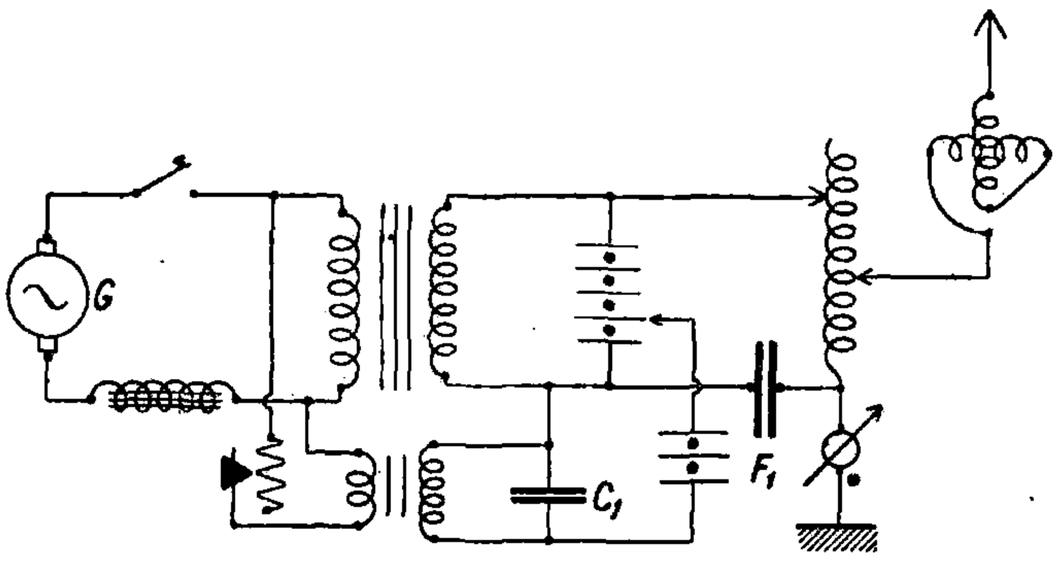
$$T = 2\pi\sqrt{C_1 \cdot L_{2mp.}\,(1-k^2)}\,,$$

где T—период питающего тока, $L_{2mp.}$—самоиндукция вторичной обмотки трансформатора, k—коэфф. связи между обмотками трансформатора. На практике регулируют наступление резонанса путем изменения T, варьируя число оборотов альтернатора, и изменением k—гл. обр. путем включения реактивной катушки с железом D в первую цепь, называемую иногда тональным дросселем (фиг. 9).

Значительное увеличение затухающего действия получается при введении срывающих искровых промежутков (F_2 на фиг. 10), включаемых последовательно с многократным разрядником. При этой схеме заряд конденсатора происходит через железный дроссель D. Разряд же должен произойти через оба разрядника последовательно, т. к. D для высокочастотных разрядов представляет преграду. Благодаря этому легче получается чистый (т. е. без парциальных разрядов) тон. Для сохранения чистоты тона при больших мощностях применяется вспомогательное зажигание (контур C_1F_1 — фиг. 11).



Фиг. 10.



Фиг. 11.

Полная схема радиостанции с неподвижным разрядником ударного возбуждения дана на фиг. 12 (по этой же схеме, в основном, построены судовые радиостанции Гос. электротехнич. треста з-дов слабого тока, описываемые далее). Регулировка энергии достигается изменением числа включенных искровых промежутков. Станции с вращающимся разрядником имеют схемы, представленные на фиг. 13 и 14. При питании постоянным током процесс в передатчике идет по следующему уравнению:

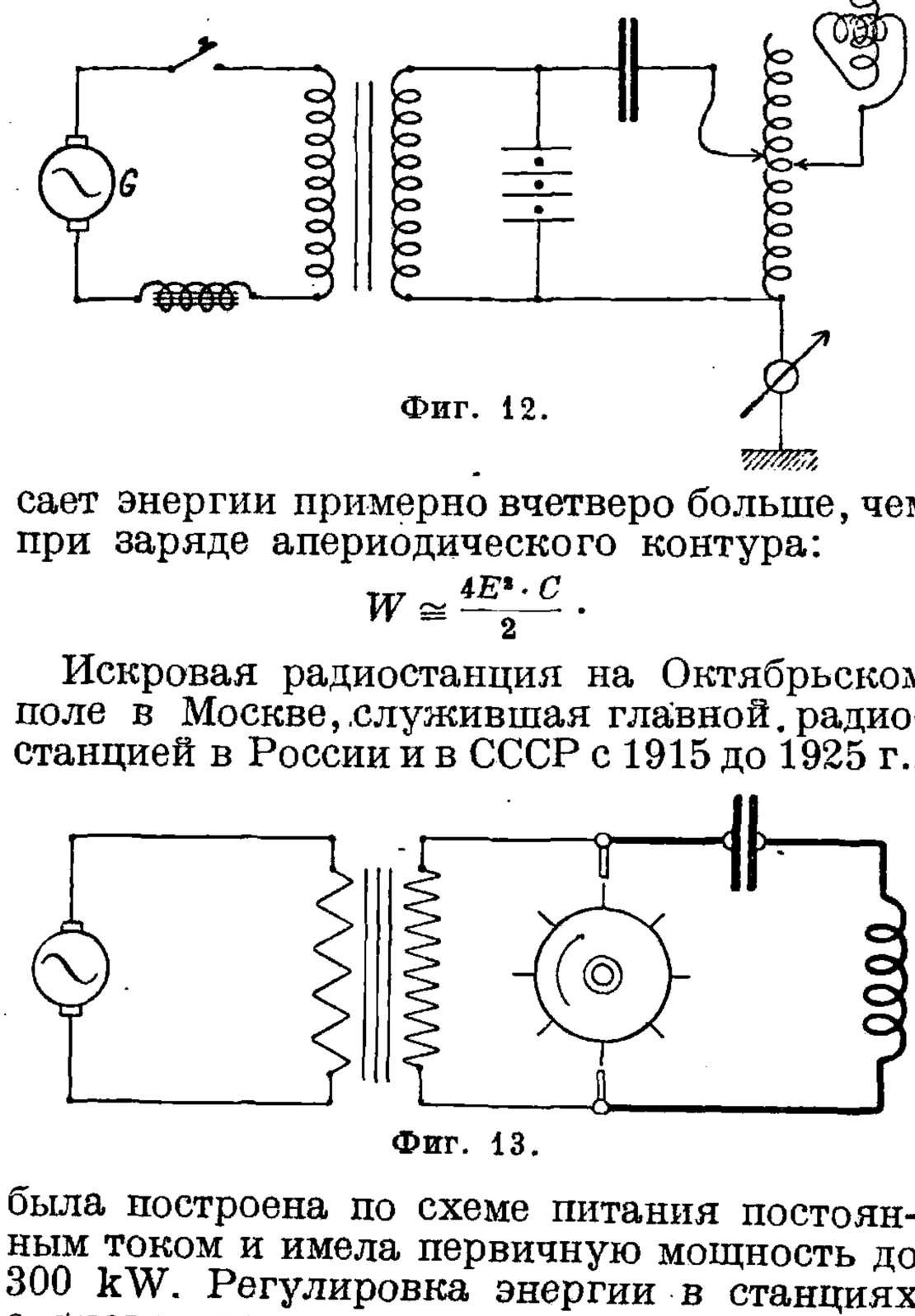
$$\frac{d^2V}{dt^2} + \frac{R}{L}\cdot\frac{dV}{dt} + \frac{V}{CL} = \frac{E'}{L}\,,$$

где E'—напряжение заряда, источника постоянного тока. Если, как обычно, $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$, то решение этого ур-ия дает величину напряжения на конденсаторе в виде

$$V_c = E'\left(1 - e^{-\frac{R}{2L}\cdot t}\cdot\cos\frac{t}{\sqrt{CL}}\right).$$

Т. о., конденсатор при заряде контура, допускающего собственные колебания, запасает энергии примерно вчетверо больше, чем при заряде апериодического контура:

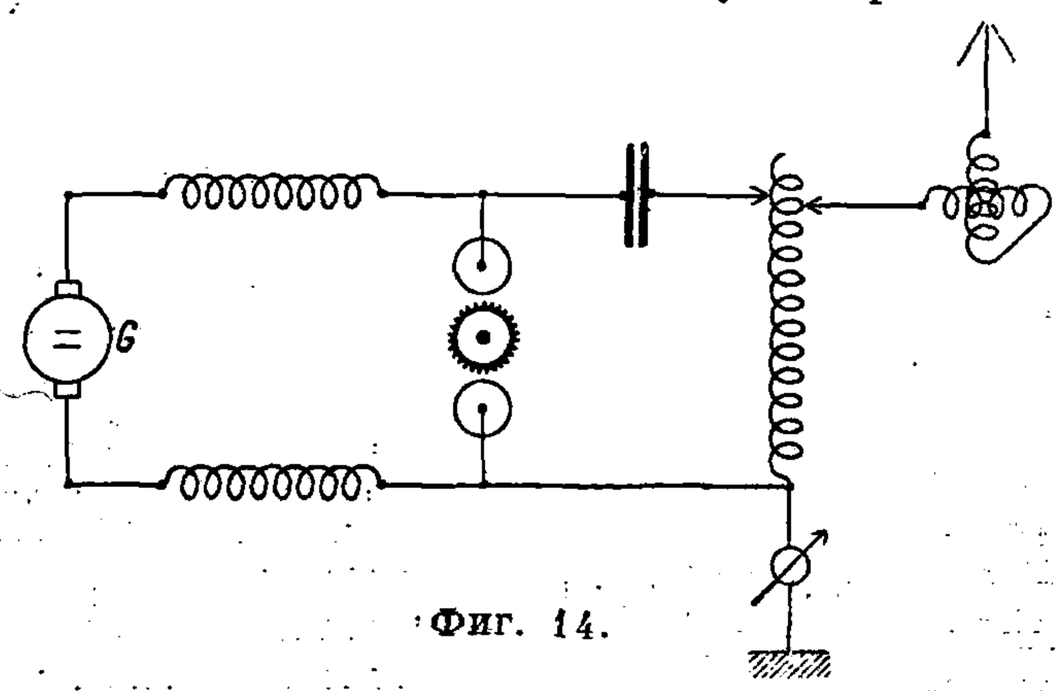
$$W \cong \frac{4E^2\cdot C}{2}\,.$$



Фиг. 12.

Искровая радиостанция на Октябрьском поле в Москве, служившая главной радиостанцией в России и в СССР с 1915 до 1925 г., была построена по схеме питания постоянным током и имела первичную мощность до 300 kW. Регулировка энергии в станциях с вращающимся разрядником достигается изменением расстояния между электродами и соответствующей регулировкой напряжения. Маркони сделал попытку построить по

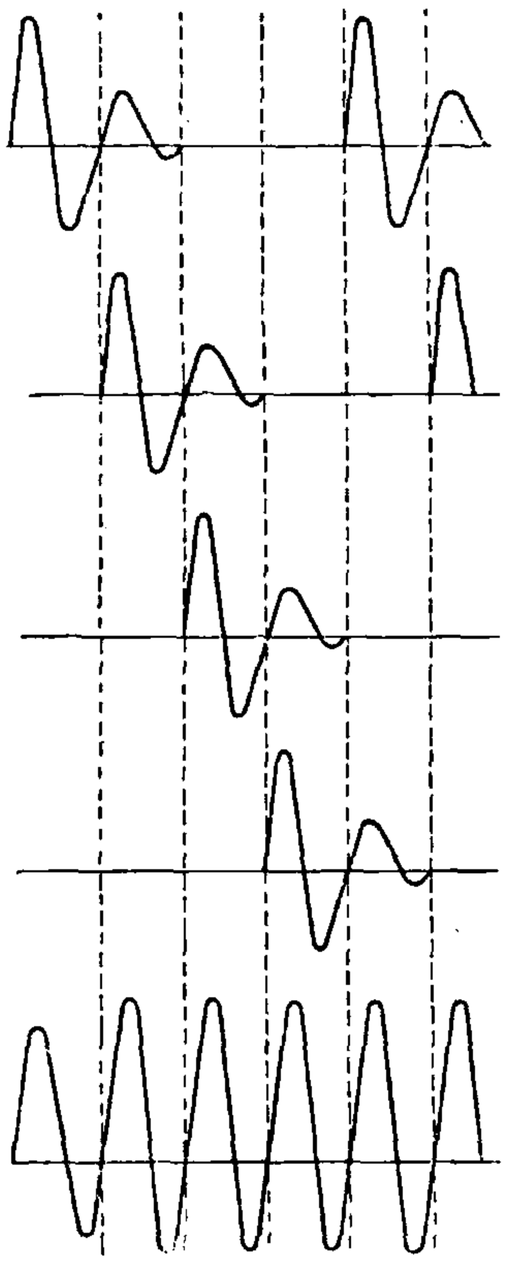
Фиг. 13.



Фиг. 14.

принципу искры передатчик с почти неизменяющейся результирующей амплитудой колебания. В этом случае вращающиеся разрядники, расположенные на одном валу

включаются последовательно каждые четверть оборота в замкнутые колебательные контуры, в которых происходит разряд по вышеописанному. Таким образом, результирующая кривая имеет почти постоянную амплитуду (фиг. 15).



Фиг. 15.

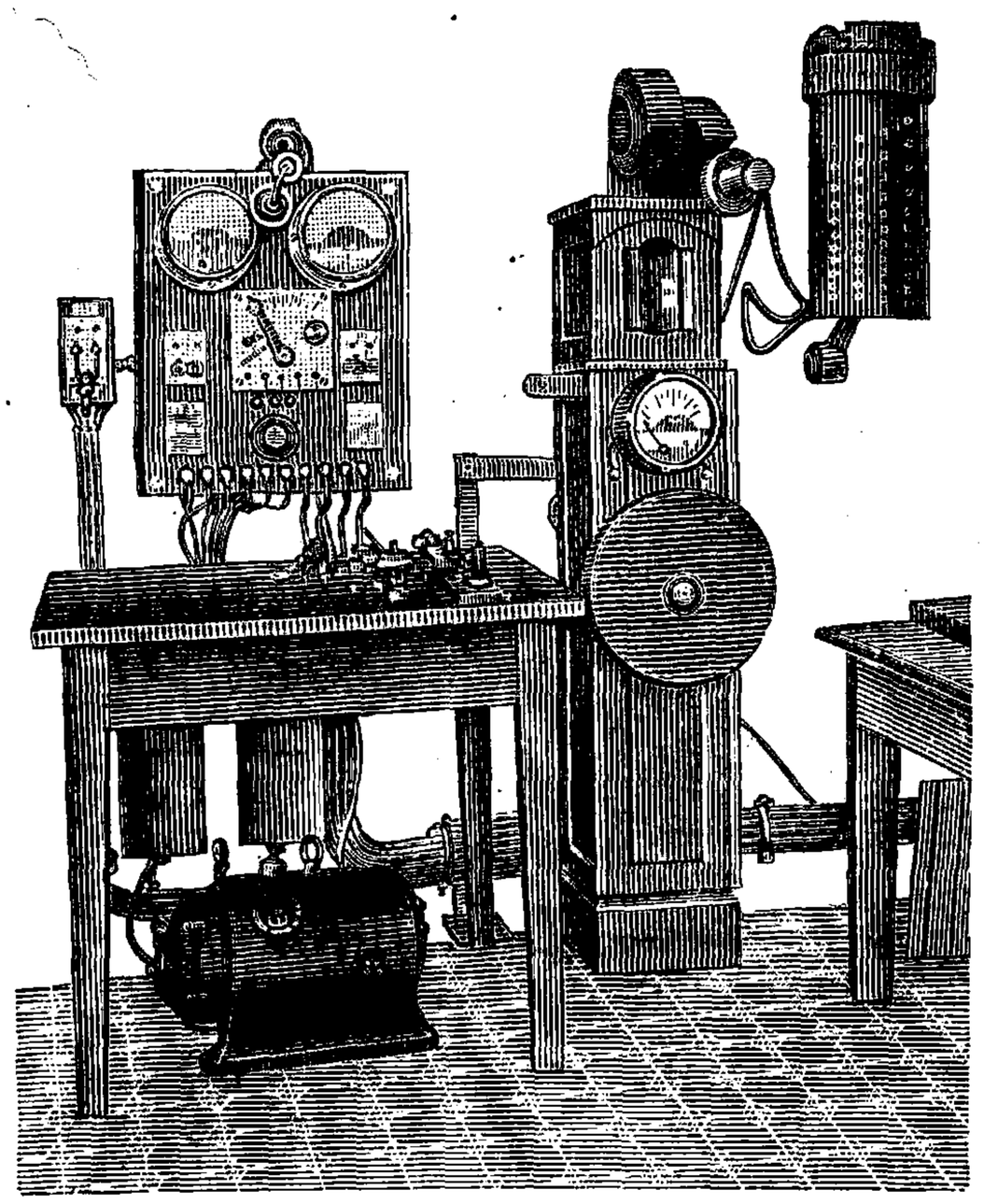
Современные конструкции И. п. Искровые передатчики теперь встречаются гл. обр. в виде судовых радиостанций, при чем применение их на кораблях объясняется большей простотой их эксплоатации, отчасти же—нек-рым консерватизмом (по постановлению Вашингтонской конференции 1927 г., постройка новых И. п. для суши запрещена с 1930 г. для частот $f < 375$ кц.; замена всех И. п., и в последнюю очередь судовых, на генераторы незатухающих колебаний должна произойти не позднее 1939 г.). И. п. на большинстве современных кораблей встречаются как главные передатчики; в качестве аварийных, работающих от специальной аккумуляторной батареи, расположенных целиком на верхней палубе и предназначенных для подачи сигналов о помощи при аварии судна, теперь применяются почти исключительно тоже И. п. Гос. электротехнич. трест з-дов слабого тока изготовляет судовые И. п. следующих типов (табл. 2).

Табл. 2.—Характеристика искровых передатчиков, изготовляемых ГЭТЗСТ.

Тип	Подводим. к трансформатору мощность в kW	Длина фиксирован. волн в *м*	Дальность действия в *км*	Число искровых промежутков
Р-2. .	2	300,600,800	440	10
Р-1 .	1	300,600,800	200	8
Р-0,2*	0,2	300,600	100	4
0,5ТК	1	300,600,800	200	8

* Исключительно как аварийные.

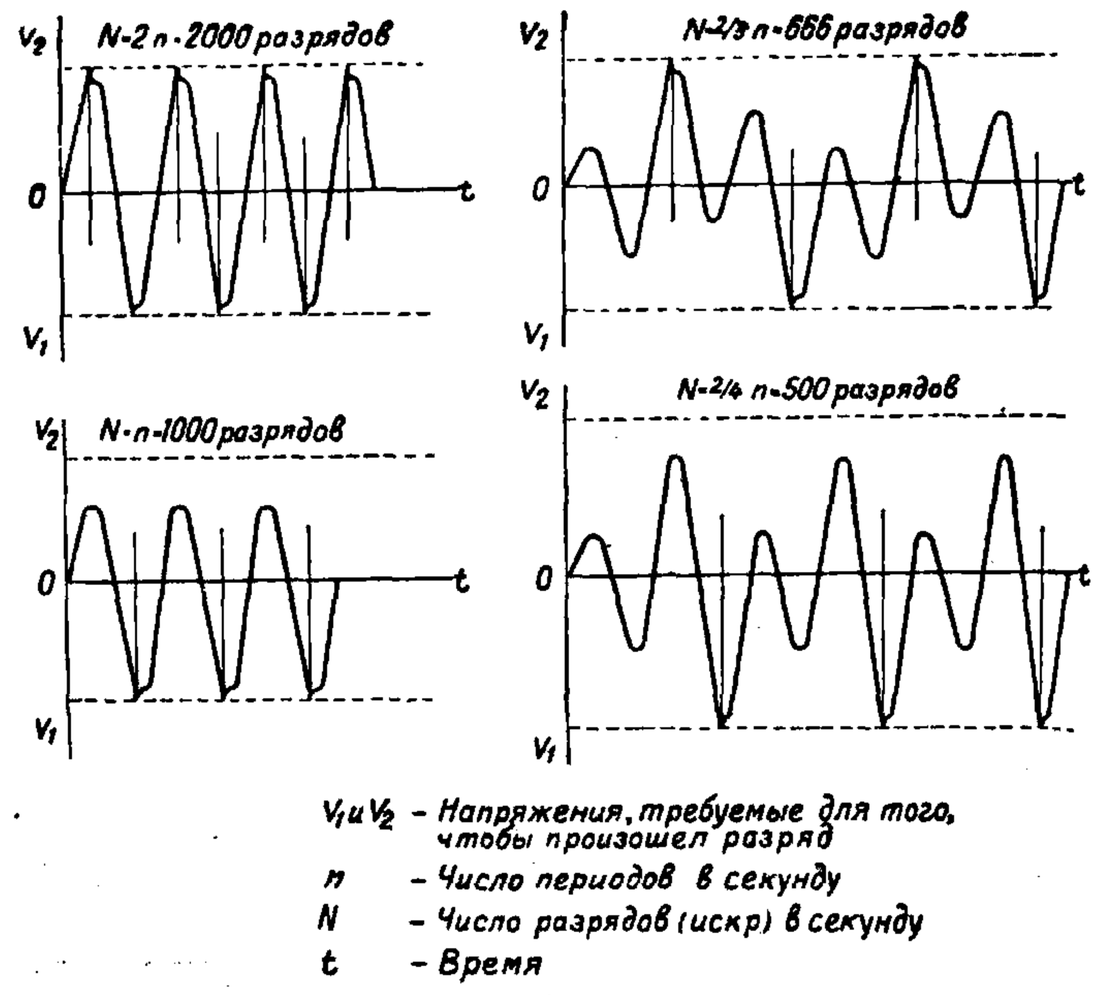
Схемы всех типов построены почти по одному образцу—ударного возбуждения с искрогасящим разрядником. Источником энергии в типах Р-2 (фиг. 16), Р-1 и 0,5ТК служит умформер соответствующей мощности, дающий при напряжении со стороны электродвигателя в 110 или 220 V переменный однофазный ток частоты 1 000 пер/ск. Далее следует трансформатор, повышающий напряжение до 4 000—6 000 V (в зависимости от типа И. п.), и искрогасящий многократный разрядник. Батарея конденсаторов, вариометр (самоиндукция замкнутого контура), антенный амперметр и удлинительная (антенная) катушка самоиндукции являются главными частями И. п. Для предохранения умформера и судовой сети от токов высокой частоты параллельно цепи переменного и постоянного токов радиостанции введены блокиро-



Фиг. 16.

вочные конденсаторы. Для охлаждения разрядника во время работы устанавливается вентилятор.

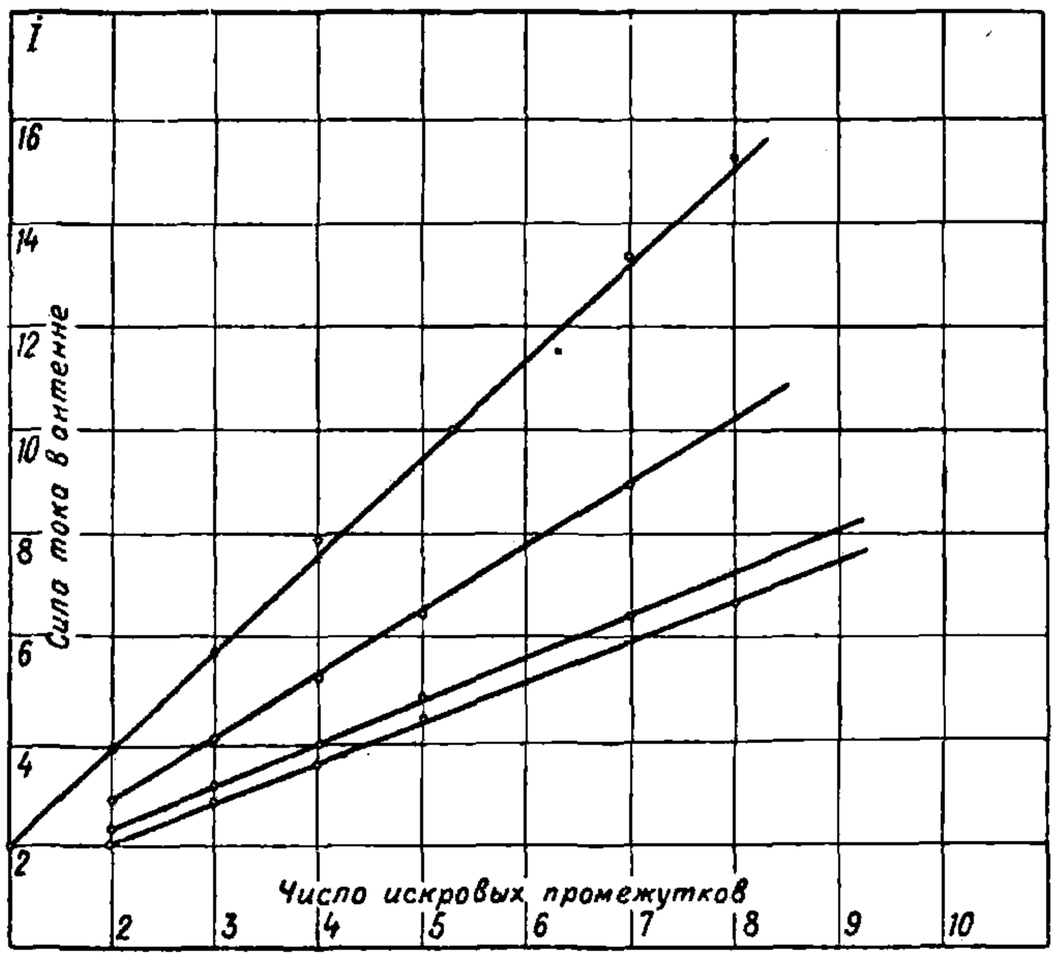
Так как на судовых радиостанциях обычно для приема и передачи служит одна антенна, то для блокировки приемников в цепь возбуждения умформера вводится приспособление, разрывающее эту цепь, если



Фиг. 17.

приемник включен в антенну, и предохраняющее, т. о., приемные аппараты от повреждения. И. п. почти всех судовых радиостанций работают по методу ударного возбуждения и имеют чистый музыкальный тон. Этот последний (т. е. число разрядов в ск.) соответствует числу перемен питающего то-

ка, которое для описываемых И. п. Треста з-дов слабого тока равно 2 000. Бо́льшая высота тона м. б. достигнута лишь за счет парциальных разрядов, что не рекомендуется, так как тогда искра передает шипящий звук. Высоту тона можно изменять: 1) путем изменения частоты питающего тока, что



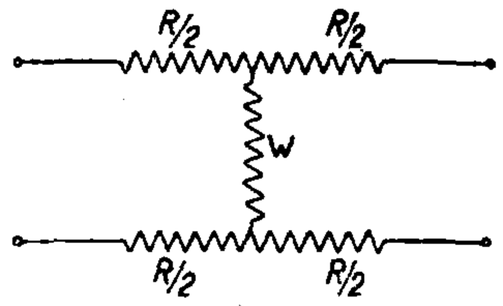
Фиг. 18.

достигается изменением числа оборотов умформера; 2) уменьшением напряжения питающего тока; в этом последнем случае получаются, согласно фиг. 17, частоты искр в 2 000, 1 000, 666 и 500 разрядов в ск. На фиг. 18 показана зависимость силы тока в антенне от высоты тона и числа введенных искровых промежутков. Действующая сила тока в антенне прямо пропорциональна числу введенных искровых промежутков и квадратному корню из числа разрядов.

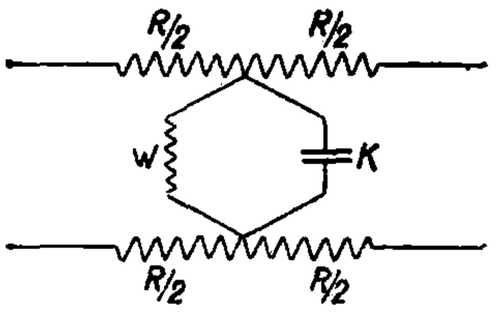
Отличием аварийного типа передатчика Р-0,2 от прочих является работа его через умформер от батареи кислотных аккумуляторов напряжением 24 V и емкостью 200 Ah, рассчитанных на непрерывную шестичасовую работу И. п.

Лит.: Петровский А. А., Научные основания беспроволочной телеграфии, ч. 1, СПБ, 1913; Луценко Н. Н., Основы теории радиотехники, Л., 1927; Черданцев И. А., Электромагнитные колебания и волны, М., 1924; Zenneck J., Elektromagnetische Schwingungen u. drahtlose Telegraphie, Stg., 1905; Seibt G., Über Resonanzinduktoren u. ihre Anwendung in d. drahtlosen Telegraphie, «ETZ», 1904, Jg. 25, p. 276; Eichhorn, Über eine Methode d. Stosserregung elektr. Schwingungen u. ihre Anwendung in d. radiotelegraph. Messtechnik, «Mitteil. d. Phys. Ges. in Zürich», Zürich, 1916, B. 18; Wien M., Über die Dämpfung von Kondensatorschwingungen, «Physikal. Ztschr.», Lpz., 1906, B. 7, p. 871; Seeliger R., Der Elektrizitätsdurchgang durch Gase, «Siemens-Ztschr.», B., 1923, H. 6, p. 280; Wien M., «Physikal. Ztschr.», Lpz., 1906, B. 8, p. 871 u. 1908, B. 9, p. 49; Boas K., «Jahrbuch d. drahtlosen Telegr. u. Teleph.», Lpz., 1912, B. 5, p. 563; Schmidt K., Das Arbeiten d. Mittelfrequenzmaschinen auf d. Löschfunkensender, «ETZ», 1919, Jg. 40, p. 502; Falkenthal E., Der Pendelumformer, «Jahrbuch d. drahtlos. Teleph. u. Telegr.», Lpz., 1919, B. 13, p. 526; Eichhorn, Telefunken-Hilfszündung, ibid., 1913, B. 7, p. 607; Hallborg H., Resonanzerscheinungen im Niederfrequenzkreis d. radiotelegraph. Sendestationen, ibid., 1916, B. 10, p. 75; Martens F. und Zickner S., Über die mittelfrequenten Vorgänge in Tonfunkensendern, ibid., 1920, Jg. 15, p. 266; Rein H., Der radiotelegraphische Gleichstromtonsender, «Physikal. Ztschr.», Lpz., 1910, B. 11, p. 591; Zenneck J. u. Rukop H., Lehrbuch d. drahtlos. Telegraphie, Stg., 1925; Pierce, Electric Oscillations a. Electric Waves, N. Y., 1920. **В. Баженов.**

ИСКУССТВЕННАЯ ЛИНИЯ, в телефонной технике четырехполюсный контур с сосредоточенными постоянными, воспроизводящий все или часть свойств действительной линии. На практике применяются следующие простейшие типы И. л. 1) И. л. без искажения, составленная из безиндукционных



Фиг. 1.



Фиг. 2.

омич. сопротивлений по схеме фиг. 1 и воспроизводящая для одной частоты модуль волнового сопротивления Z и затухание b в действительной линии. Расчет элементов такой И. л. производится по ф-лам:

$$\frac{R}{2} = \frac{Z}{2} \operatorname{tg} \frac{b}{2},$$

$$W = \frac{Z}{\sin b}.$$

2) И. л., составленная по схеме фиг. 2 и воспроизводящая для двух частот ω_1 и ω_2 затухание действительной линии b_1 и b_2 и для одной частоты ω_3—модуль волнового сопротивления Z. Расчет элементов такой искусственной линии производится следующим образом. Из уравнений

$$4c_1^2 \frac{e^{2b_1}}{(e^{2b_1}+1)^2} + 4\omega_1 c_2^2 \frac{e^{2b_1}}{(e^{2b_1}-1)^2} = 1$$

и

$$4c_1^2 \frac{e^{2b_2}}{(e^{2b_2}+1)^2} + 4\omega_2 c_2^2 \frac{e^{2b_2}}{(e^{2b_2}-1)^2} = 1$$

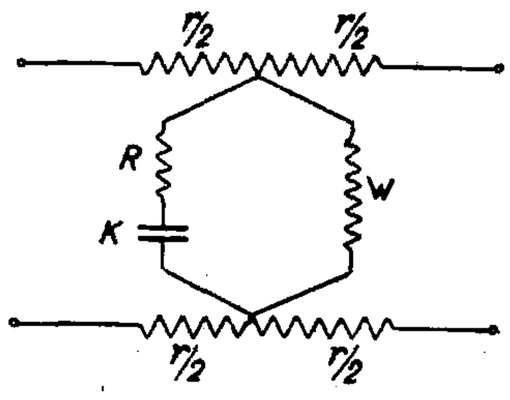
определяются постоянные c_1 и c_2; далее, получаем величины W и K из выражений:

$$W = \frac{R}{c_1 - 1} \quad \text{и} \quad K = \frac{c_2}{R}.$$

Величина R определяется из ф-лы:

$$\left(\frac{Z}{R}\right)^2 = \left[1 + \frac{2(c_1-1)}{(c_1-1)^2 + \omega_3^2 c_2^2}\right]^2 + \left[\frac{2\omega_3 c_2}{(c_1-1)^2 + \omega_3^2 c_2^2}\right]^2.$$

Для определения c_1 и c_2 обычно берутся частоты $\omega_1 = 4\,000$ и $\omega_2 = 7\,000$, для определения R—частота $\omega_3 = 5\,000$. И. л. описанного типа достаточно точно соответствует бронзовой линии, но не годится для воспроизведения свойств тех линий, к-рые обладают большим искажением, т. е. железных и кабельных. 3) И. л., собранная из нескольких звеньев, составленных по схеме фиг. 3, воспроизводящая с достаточной для практики точностью модуль и угол волнового сопротивления и затухание действительной бронзовой или железной линии в пределах важнейших разговорных частот. Расчет элементов такой искусственной линии несколько сложен, и экспериментальный подбор их представляет более простой способ решения задачи. В качестве примера приведем данные, соответствующие участку бронзовой 4-*мм* воздушной линии с затуханием $b = 0{,}2$ непера: $\frac{r}{2} = 34\ \Omega$, $R = 3\,500\ \Omega$, $W = 45\,000\ \Omega$, $K = 0{,}22\ \mu F$. Особую



Фиг. 3.

группу составляют И. л., воспроизводящие входное сопротивление действительных линий и применяемые для уравновешивания промежуточных усилителей.

Лит.: Коваленков В. И., Телефонирование на большие расстояния, ч. 1, Л., 1925 (литогр.); Breisig F., Teoretische Telegraphie, Telegraphen- u. Fernsprechtechnik in Einzeldarstellungen, hrsg. v. Th. Karrass, B. 7, 2 Auflage, Braunschweig, 1924; Kennelly A. E., Artificial Electric Lines, New York, 1917. **Н. Баев.**

ИСКУССТВЕННЫЙ ШЕЛК, непрерывная нить, получаемая синтетич. путем и представляющая собой материал для производства тканых, трикотажных и др. изделий.

История. Идея искусственного получения нити наподобие выпускаемой шелкопроизводящими органами червя издавна занимала умы ученых и исследователей. Впервые эта мысль была высказана еще в 1667 г. Р. Гуком в его «Микрографии». Несколько позднее эту же мысль более подробно развил Реомюр (1683—1757 гг.). Лишь сто лет спустя появился вновь интерес к идеям, высказанным впервые Гуком и Реомюром. В 1842 г. манчестерский фабрикант шелка Л. Швабе выставил модель первой машины для искусственной нити, а равно полученные на этой машине образцы. Значительный шаг вперед был сделан Аудермарсом из Лозанны, к-рый в 1855 г. взял в Англии патент на изготовление искусственных нитей из коры тутового дерева. Способ Аудермарса состоял в превращении целлюлозы коры тутового дерева, путем обработки ее азотной и серной к-тами, в нитроклетчатку, к-рая затем растворялась в смеси алкоголя и эфира; в раствор прибавлялось небольшое количество каучука. Погружая в этот раствор иголку и вытаскивая ее, Аудермарс получал нить. При испарении алкоголя и эфира на воздухе нить отвердевала. Через два года после Аудермарса Юз (Hughes) в Манчестере предложил способ получения шелковых нитей из желатины. В 1862 г. француз Озанам получил лабораторным путем искусственную нить, пропуская прядильный раствор под давлением через очень тонкие отверстия. Следующим важным этапом в истории искусственного волокна был 1877 г., когда англичанин Суон (Joseph Wilson Swan) получил искусственную нить из раствора нитроцеллюлозы в уксусной кислоте. Все эти работы имели лишь предварительный характер и не разрешали проблемы получения искусственного волокна; ее суждено было разрешить французскому ученому Илеру Шардоне (1839—1924 гг.). Способ Шардоне состоял в том, что он растворял около 3 *г* нитроцеллюлозы в 100 *г* смеси равных частей алкоголя и эфира, полученный раствор профильтровывал и затем пропускал его через стеклянную трубку с тонким наконечником (диаметр 0,1 *мм*). Раствор поступал в резервуар, наполненный водой, подкисленной 0,5% азотной кислоты. Способ Шардоне, имея исходным материалом дорогое хлопковое волокно, хотя и в виде отбросов, а также дорого стоящие химические материалы—спирт и эфир, к-рые регенерировались в небольшом %, не мог дать достаточно дешевого рыночного продукта. В результате поисков более дешевого и совершенного способа был предложен медноаммиачный способ получения искусственной нити. Еще в 1857 г. Швейцер нашел, что целлюлоза растворима в аммиачном растворе окиси меди (швейцеров реактив). В 1897 г. медноаммиачный шелк был получен фабричным путем; вскоре, однако, у него появился серьезный конкурент—вискозный шелк. В 1892 году английские ученые Кросс, Беван и Бидль получили патент на новый способ изготовления растворов целлюлозы. Эти ученые, обрабатывая целлюлозу едкой щелочью, получали щелочную целлюлозу (алкалицеллюлозу), которая после процесса созревания и обработки сероуглеродом давала ксантогенат целлюлозы, обладающий способностью растворяться в воде со щелочью. Раствор получил название вискозы. Исходным материалом для вискозного производства является целлюлоза древесины, к-рая значительно дешевле целлюлозы, получаемой из волокна, да и все основные химич. материалы вискозного производства дешевле, чем в предыдущих двух способах. Благодаря этому вискозный способ очень быстро получил распространение и в настоящее время занимает доминирующее положение в производстве И. ш. При всех своих достоинствах—дешевизне и сравнительной простоте производства—вискозный шелк имеет крупный недостаток—неустойчивость к влаге: волокно во влажном состоянии теряет крепость на разрыв и растяжимость. Некоторое разрешение этого вопроса дал четвертый способ получения искусственного волокна из ацетилцеллюлозы—так наз. ацетатный шелк. В 1869 г. Шютценбергер и Наудин получили ацетат целлюлозы. Однако, первый патент на получение искусственного волокна по этому способу был взят в 1894 г. Кроссом и Бевапом, к-рым и принадлежит честь изобретения фабричного способа получения ацетатцеллюлозы. Особенное развитие производство ацетатного шелка получило после войны 1914—18 гг. Представляя собою сложный эфир клетчатки, ацетатный шелк по своим механич. и физич. свойствам значительно превосходит все остальные виды искусственного волокна и потому имеет в будущем большие перспективы; однако, сложность производственных процессов, недостаточная научная разработка вопросов ацетилирования клетчатки и, наконец, высокая стоимость ацетатного шелка задерживают развитие этого способа. В настоящее время применяются четыре основных способа производства И. ш.: 1) нитроцеллюлозный, 2) медноаммиачный, 3) вискозный и 4) ацетатный. Доминирующее положение занимает, как уже сказано, вискозный способ, по которому вырабатывается в настоящее время до 88% всего искусственного волокна, тогда как по нитроцеллюлозному производится лишь 7,5%, по медноаммиачному—1,5% и по ацетатному—3%. Все перечисленные способы производства имеют исходным материалом целлюлозу, хотя и было много попыток применения других материалов, но без практических результатов (см. *Волокна искусственные*).

Техника производства И. ш. Процесс производства синтетич. нити заключает в себе три стадии: 1) приготовление прядильного раствора, 2) прядение нити (процесс волочения), 3) приведение полученной нити в готовый вид (размотка, беление, крашение и пр.). В качестве прядильного раствора, как уже упомянуто, в настоящее время употребляются исключительно растворы целлюлозы и ее соединений или в виде гидрата целлюлозы, по хим. составу близко стоящего к чистой целлюлозе, или в виде сложных эфиров целлюлозы. Целлюлоза, или клетчатка, представляет собой углевод, являющийся главной частью клеточных стенок растительной ткани и придающий ей устойчивость. Целлюлоза не растворима в воде, но растворяется в концентрированном водном растворе хлористого цинка и в аммиачном растворе окиси меди (раствор Швейцера). Она очень стойка по отношению к химич. воздействиям. При действии концентрированных растворов щелочей образуются гидраты целлюлозы вида $(C_6H_{10}O_5)_2NaOH$, которые являются промежуточными продуктами в вискозном производстве. При действии воды на гидрат целлюлозы щелочь отщепляется, и целлюлоза восстанавливается, но с несколько иными свойствами, чем исходный материал: с большей гигроскопичностью, с большей поглощательной способностью красителей и с более высокой способностью к гидролизу. По отношению к кислотам целлюлоза менее постоянна. Имея свободные гидроксильные группы, целлюлоза при действии сильных кислот или их ангидридов в присутствии катализатора может давать сложные эфиры к-т, получившие большое применение в технике. Так, при обработке смесью серной и азотной к-т целлюлоза дает сложные эфиры азотной к-ты, к-рые носят название нитроклетчатки. Продукт более низкой нитрации растворим в смеси алкоголя с эфиром—коллодийная вата (целоксилин), к-рая является исходным материалом для приготовления И. ш. по способу Шардоне. При обработке целлюлозы уксусным ангидридом в присутствии катализатора (серной к-ты или хлористого цинка) получаются уксусные эфиры целлюлозы, или ацетилцеллюлоза, служащая

для приготовления И. ш. по ацетатному способу. Следует отметить еще одну очень важную реакцию целлюлозы: при действии сероуглерода на целлюлозу, предварительно обработанную щелочью (алкалицеллюлозу), получается ксантогенат целлюлозы, водный раствор к-рого получил название вискозы, дающей вискозный шелк.

В производстве И. ш. пока получили применение лишь хлопковое волокно—в виде короткого волокна (линтера), получающегося при джинировании хлопка, или в виде угаров хлопкопрядильного производства—и сульфитная целлюлоза древесины. Хлопковое волокно в среднем содержит (по Георгиевичу) (в %):

Целлюлозы	87—91
Воды	7—8
Жирных и смолистых веществ	0,4—0,5
Азотистых соединений	0 5—0,7
Золы	0,10—0,2

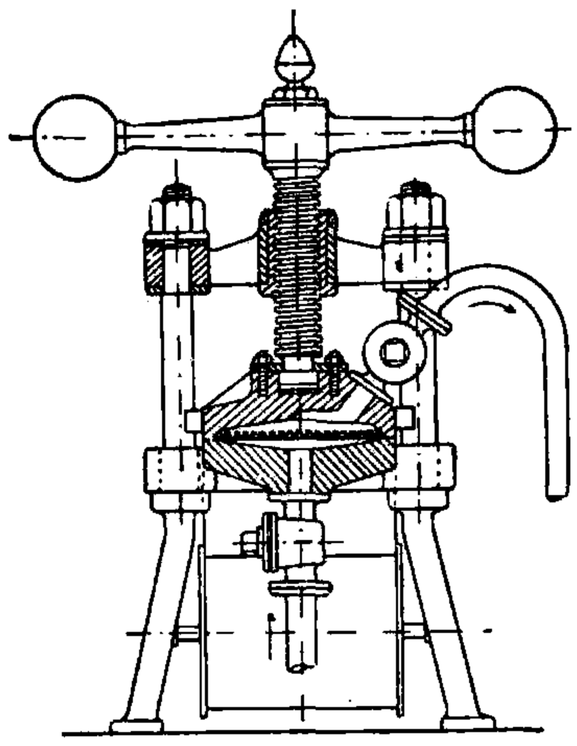
Лучшие сорта сульфитной целлюлозы в абсолютно сухом состоянии содержат (по Эггерту) (в %):

Целлюлозы	88,8
Гемицеллюлозы	10,9
Золы	0,3

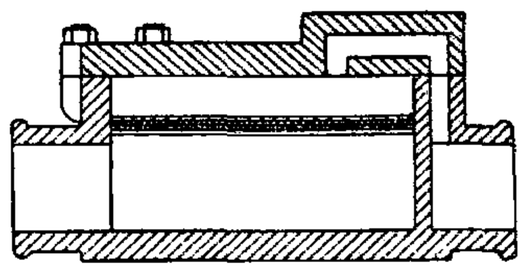
Были предложены многие другие материалы, как солома, стебли конопли, рами и др. растений, но они практич. применения для этой цели не получили. Из физич. свойств целлюлозы особенно важными для производства И. ш. являются: способность быстро впитывать химич. растворы, что ускоряет процессы производства шелка и крашения, и определенная вязкость раствора (вискозность). Низкая вискозность (что бывает при сильно расщепленной молекуле целлюлозы, когда образуются уже окись и гидроокись целлюлозы) дает нить слабую и неудовлетворительного качества; с другой стороны, растворы с большой вискозностью с трудом проходят через отверстия фильтров при прядении.

Сульфитная целлюлоза поступает на ф-ки искусственного шелка в виде листов картона с 12—13% влажности и, будучи высушена, непосредственно идет в производство. Применение хлопкового волокна для производства И. ш. требует предварительной тщательной его очистки как механической, так и химической. Первая состоит в том, что хлопковое волокно для очистки и взрыхления пропускается через волчок, затем через трепальную машину и, наконец, через щипальную машину. Химич. очистка заключается в кипячении хлопкового волокна в течение нескольких часов в 2—3%-ном растворе соды; в случае сильного загрязнения волокна в раствор соды прибавляют 2—3% едкого натра. После варки волокно отбеливается и после кисловки и тщательной промывки высушивается.

Процесс приготовления прядильного раствора изменяется в зависимости от способа приготовления шелка (см. ниже, а также *Вискозный шелк*). Общим при изготовлении прядильного раствора для всех видов И. ш. является процесс фильтрования раствора для удаления из него всех нечистот и твердых частиц, а также пузырьков воздуха. Для фильтрования растворов применяются камерные фильтры (фиг. 1, 2). В качестве фильтрующего слоя применяют шерстяные и хлопчатобумажные ткани, а также вату; для прядильного раствора медноаммиачного шелка раньше пользовались песочными фильтрами, а в настоящее время применяют сита из железной или никелевой проволоки. В виду больших требований, предъявляемых к чистоте прядильного раствора, его приходится пропускать через фильтры несколько раз. Удаление из раствора пузырьков воздуха осуществляется во время процесса созревания раствора и нахождения его в течение нескольких дней в больших баках.



Фиг. 1.



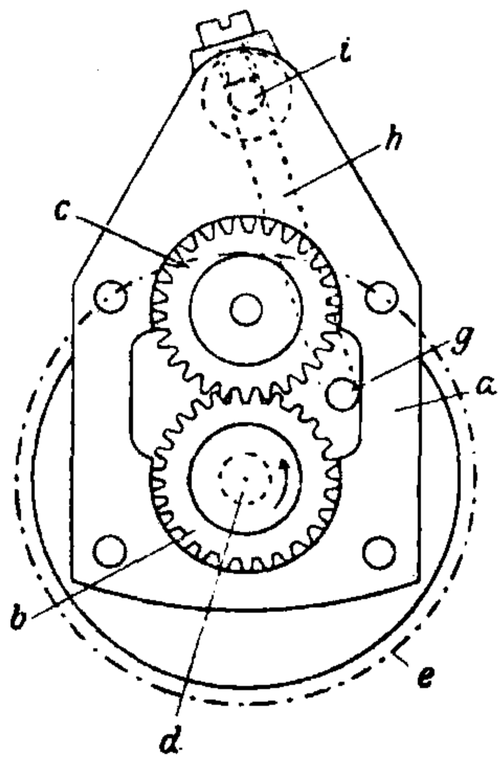
Фиг. 2.

Прядение. Прядение искусственного волокна может производиться сухим или мокрым способом, при чем, в зависимости от готового фабриката, прядильные машины разделяются на следующие группы: 1) для И. ш., 2) для короткого волокна, 3) для искусственного конского волоса. В основном прядильные машины состоят из чугунной станины, на которой укреплены: 1) приспособления для подведения прядильного раствора, состоящие из труб, насоса, фильтра и отверстий для пропуска прядильного раствора; 2) приспособления для восстановительной ванны, состоящие из корыта и системы труб; 3) прибор для наматывания нити. В машинах для сухого прядения первые два приспособления отпадают.

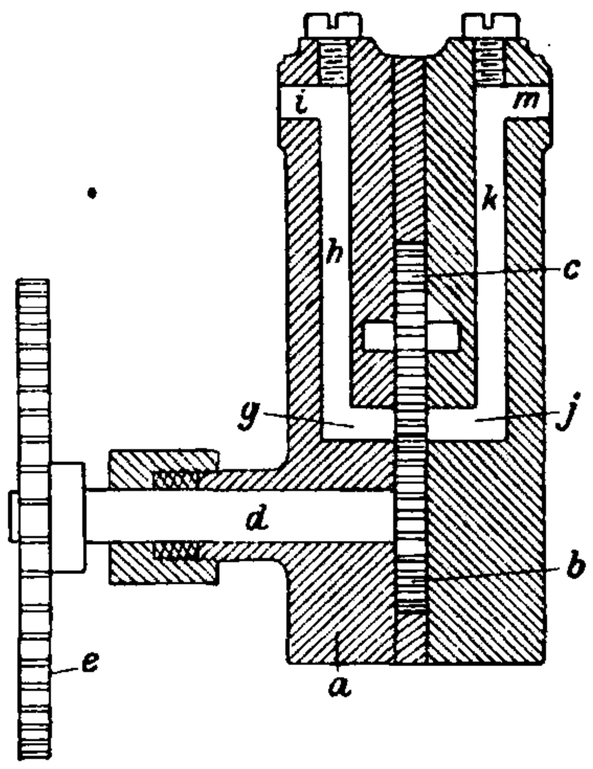
Прядильный раствор может поступать из баков в машину тремя способами: 1) под давлением сжатого воздуха, 2) под гидравлическим давлением, 3) с помощью нагнетающего насоса. Наибольшее распространение получил последний способ.

Практика производства показала, что помимо общего механизма, нагнетающего прядильный раствор ко всем машинам, необходимо ставить у каждой прядильной фильтеры (аппарат, пропускающий прядильный раствор в восстановительную ванну) отдельные насосы, регулирующие подачу раствора. Работа этих насосов имеет исключительное значение в деле получения равномерной нити. В настоящее время наибольшее распространение имеют поршневые прядильные насосы системы Тетлей и Клейтон (Tetlay & Clayton), разработанные ими для англ. фирмы S. Courtauld & Co., и насосы с зубчатой передачей, основанные на принципе подачи прядильного раствора вращением двух хорошо пригнанных друг к другу зубчатых колес. Наибольшее распространение получил насос конструкции Кютнера (фиг. 3 и 4), состоящий из пары зубчатых колес *b* и *c*, заключенных в

коробке *a*. Зубчатка *b* сидит на валу *d* и получает вращение от зубчатки *e*. Зубчатка *c* самостоятельного вращения не имеет и

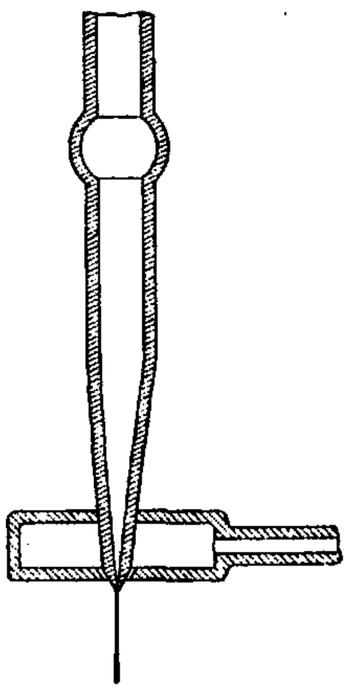


Фиг. 3.



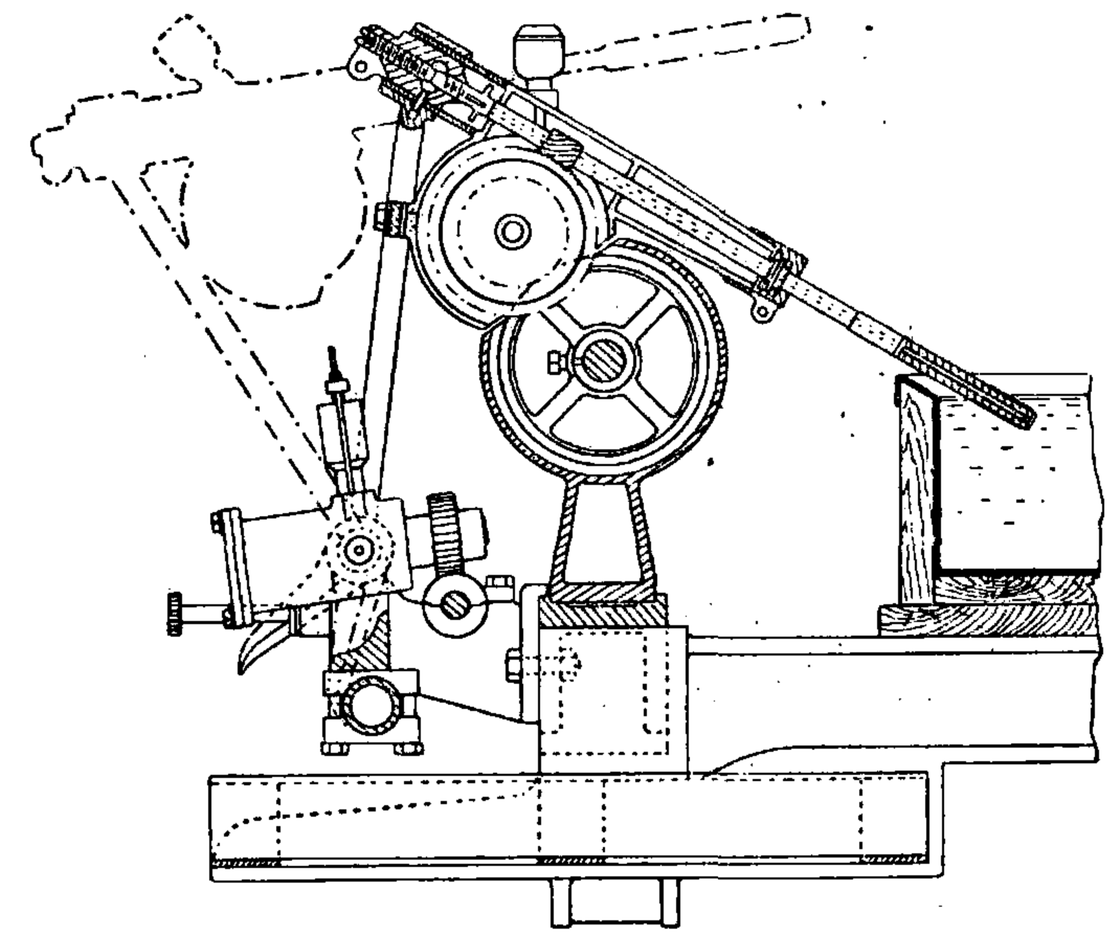
Фиг. 4.

получает его от зубчатки *b*. Прядильный раствор поступает через отверстие *i*, канал *h* и отверстие *g* к месту сцепления шестерен *b* и *c* и через отверстие *j*, канал *k* и отверстие *m* подается фильере. Новейшие конструкции зубчатых насосов позволяют очень точно устанавливать и изменять расстояние между зубчатками *b* и *c* и точно регулировать тонину нити. Техническая нить искусственного шелка состоит не из одной, а из нескольких элементарных нитей и м. б. дана одной или несколькими фильерами. В виду этого фильеры м. б. с одиночным отверстием или с группой отверстий. Первые дают только одну элементарную нить, и для получения одной техническ. нити необходимо столько фильер, сколько элементарных нитей в одной технич. нити. Сложность такого аппарата является главным недостатком системы одиночных фильер, но они имеют некоторые преимущества, т. к. дают возможность выключать загрязненные фильеры, не нарушая работы других фильер. Все же наиболее распространены групповые фильеры, которые представляют собой цилиндр небольшой высоты, дно которого усеяно концентрически расположенными отверстиями. Число отверстий и их диаметр находятся в зависимости от тонины нити и числа элементарных нитей в составе технич. нити. Число отверстий варьирует в настоящее время в пределах от 22 до 100; диаметр отверстия обычно бывает от 0,05—0,1 *мм*, доходя для очень тонких нитей даже до 0,025 *мм*. Фильеры делаются из стекла, платины, золота, сплава золота с платиной или палладием. Наилучшими считаются платиновые фильеры. Попытки готовить фильеры из других металлов—серебра, никеля, молибдена, тантала—не дали положительных результатов.



Фиг. 5.

В стремлении усовершенствовать прядильный процесс, облегчить образование нити в восстановительной ванне, дать возможность лучшей регулировки тонины нити и лучшей крутки нити во время ее образования было предложено много различных конструкций фильер. Об-во Линкмейер (Linkmeyer) предложило фильеру (Г. П. 168830), в к-рой прядильный раствор, выходя из нее, непосредственно охватывается раствором восстановительной ванны (фиг. 5). Бернштейн (Г. П. 216391) предложил фильеру, в к-рой регулировка тонины нити осуществляется при помощи двух диафрагм—одной неподвижной, другой подвижной. Вращением последней можно регулировать открытие отверстий первой от наибольшей их величины до полного закрытия. Для сообщения нити крутки во время ее образования было предложено



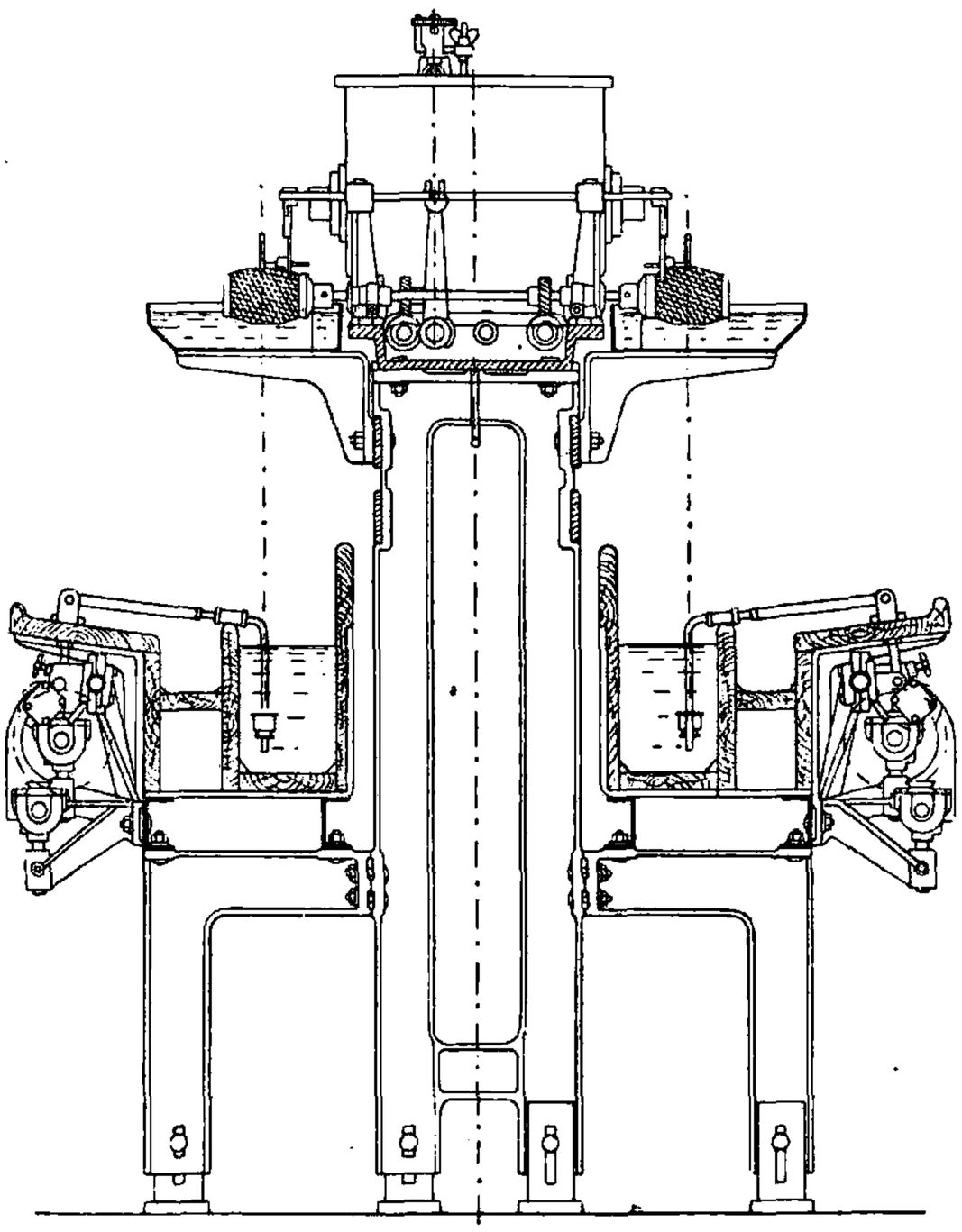
Фиг. 6.

большое число вращающихся фильер. Наиболее усовершенствованная конструкция такой фильеры принадлежит фирме Тетлей и Клейтон (фиг. 6). На пути между фильерой и намоткой нить проходит ряд направляющих роликов и других приспособлений (фиг. 7). Водки́ д. б. сделаны из гладкого материала, который не расщеплял бы нить. Наилучшим для них материалом следует признать стекло и фарфор. Для облегчения движения нити ее направление должно совпадать с направлением движения жидкости в восстановительной ванне.

Фиг. 7.

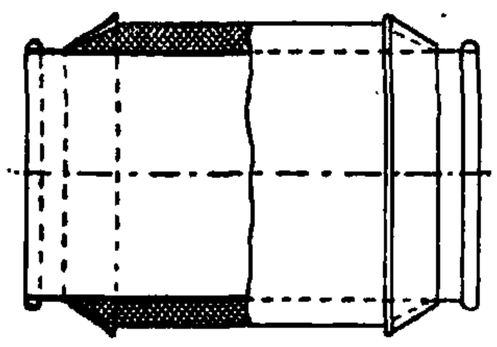
Для наматывания нити применяются три типа приспособлений: бобины, мотовила, центрифуги. Наиболее старой системой, которая применяется и в настоящее время, является б о б и н а (фиг. 8, 9). При бобинной системе нить наматывается на полый цилиндр, сделанный из фарфора, стекла, целлюлоида, каучука, дерева, папье-маше или металла; из металлов наибольшее распространение получил алюминий. Бобины из металла и папье-маше покрываются лаком. Бобины обыкновенно снабжаются небольшими заплечиками для предохранения нити от сползания или повреждения ее при последующей обработке. Длина бобин колеблется от 12 до 50 *см*; наиболее употребительная

длина 16—20 *см*. Для грубых нитей, напр. для искусственного конского волоса, употребляются бобины длиной до 100 *см*. Диаметр бобины обычно равен половине ее длины. Для удобства дальнейшей обработки нити на одну бобину наматывают не более 20—30 *г*. Бобина на машине не имеет собственного вращения и получает его от соприкасающегося с ней валика, к-рый имеет самостоятельное вращение. Мотовила (фиг. 10) употребляются лишь в прядении грубых нитей, не требующих крутки, напр. синтетический конский волос. Как правило, для каждой нити имеется отдельное мотовило, но



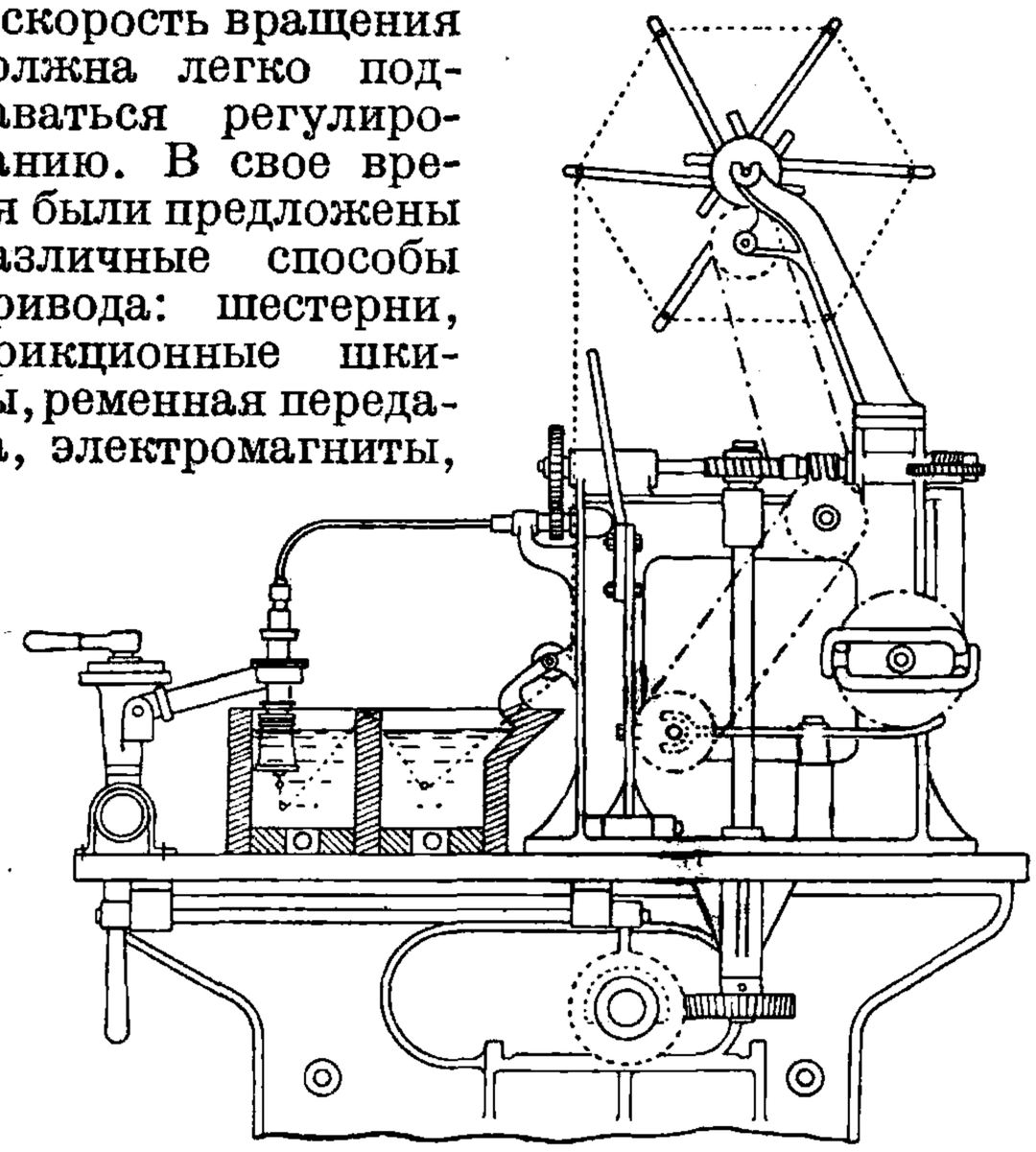
Фиг. 8.

иногда встречаются мотовила на 2—10 нитей. Центрифуги (фиг. 11 и 12) благодаря своей большой производительности, а также способности давать нити большую крутку, получили очень большое распространение. Принцип, по к-рому они построены, состоит в том, что нить, попадая на дно быстро вращающегося цилиндра, благодаря центробежной силе прибивается к его стенке и получает натяжение; вместе с тем этот прибор сообщает нити крутку: выходящая из фильеры нить, падая в коробку отвесно и делая затем угол ок. 90°, получает крутку, равную $N:V$, где N—число об/ск. центрифуги, а V—скорость подачи нити (в *м/ск*). Диаметр центрифуги—15÷21 *см*. Первоначально центрифуги делались исключительно из алюминия, и для прочности внутренняя стенка их покрывалась лаком или снабжалась стеклянными или эбонитовыми вкладышами. В настоящее время получили большое распространение бакелитовые горшки. Очень важным вопросом является способ вращения



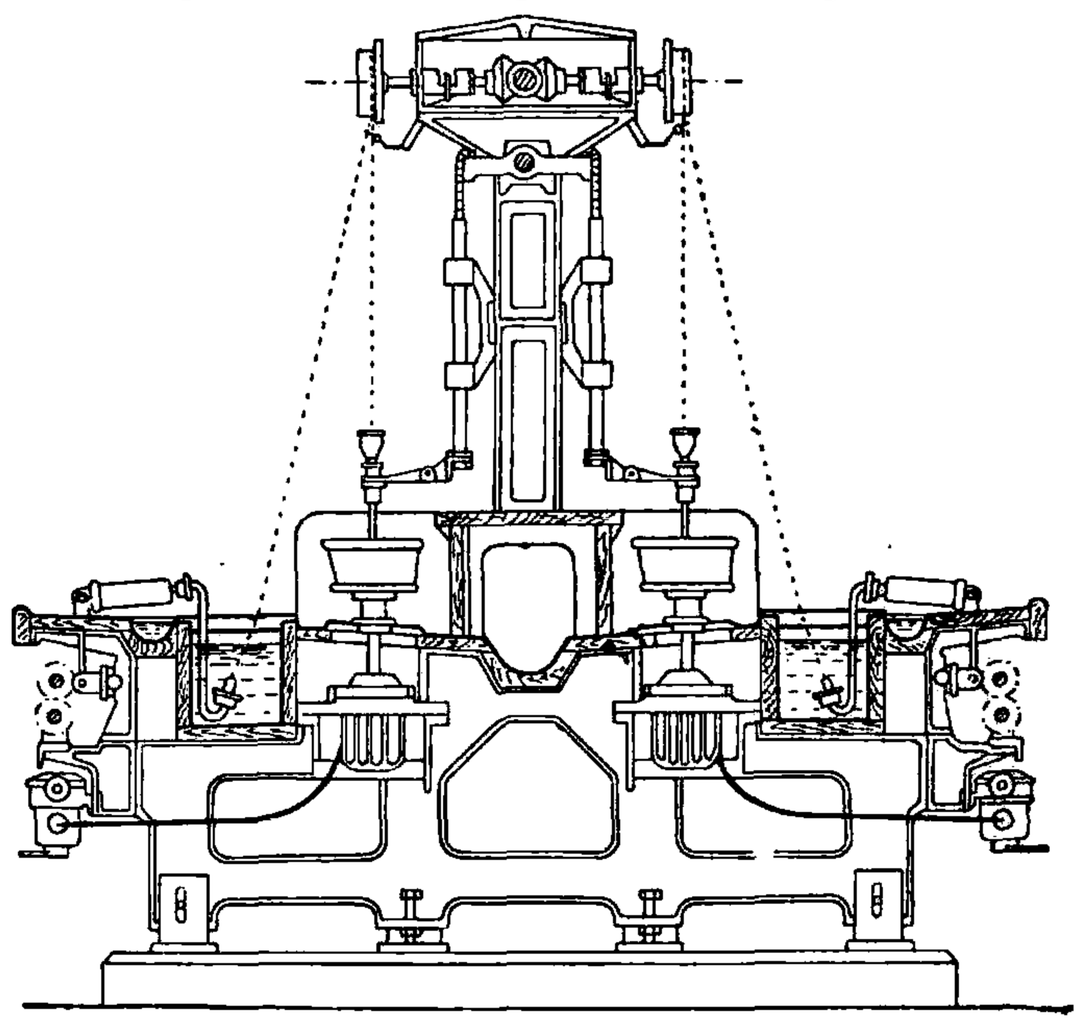
Фиг. 9.

центрифуги. Для получения большого числа оборотов (до 5 000 об/мин.) центрифуги должны быть хорошо выбалансированы, и скорость вращения должна легко поддаваться регулированию. В свое время были предложены различные способы привода: шестерни, фрикционные шкивы, ременная передача, электромагниты,



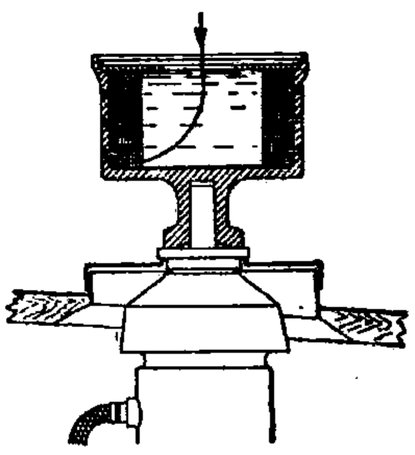
Фиг. 10.

отдельные моторы и отдельные турбинки для каждого веретена центрифуги. В настоящее время применяются: ременная передача как



Фиг. 11.

наиболее простая, дешевая и дающая сравнительно спокойное вращение и система отдельных моторов, более дорогая, но зато наилучшая в смысле равномерности вращения и легкости регулировки. Из указанных систем в производстве искусственной нити в настоящее время имеют наибольшее применение бобинная и центрифугальная системы. Первая система проще в смысле аппаратуры и обслуживания,

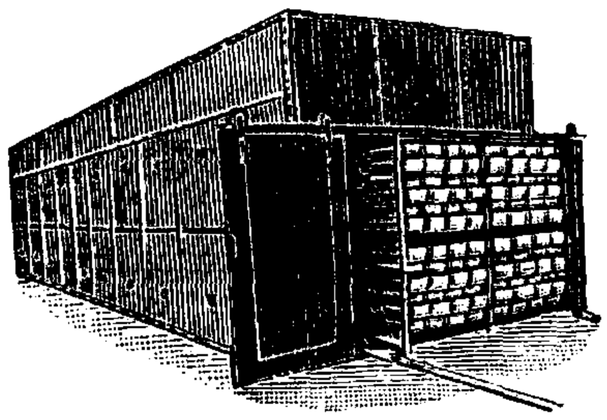


Фиг. 12.

дешевле по оборудованию и применяется преимущественно для шелка тонких титров—150 и тоньше. Преимуществом цен-

трифугальной системы является ее высокая производительность.

После прядения нить И. ш. подвергается целому ряду операций: промывке, сушке, крутке, размотке в мотки, белению, крашению, мягчению, аппретуре; кроме того, необходимо, смотря по способу производства, денитрировать ее (при нитропроцессе), освободить от меди (при медноаммиачном способе) или от серы (при вискозном способе); иногда бывает необходимо еще придать ей бо́льшую устойчивость против влаги. Первая м о й к а обычно проводится или на бобинах в специальных аппаратах или в виде мотков в больших барках. Из применяемых для этой цели аппаратов следует указать на аппараты системы Кютнера, Фремери и Урбана и Пинеля. С у ш к а производится не до конца; 8 — 10% влажности необходимо оставить в нити; это придает ей эластичность, сохраняя крепость, и облегчает перемотку. Шелк, предназначенный для крутки, перематывается обычно на шпули, так как на крутильной машине веретена вращаются с большою скоростью и их вес должен быть возможно малый. Для к р у т к и употребляются большей частью многоэтажные крутильные машины того же типа, что и для натурального шелка. Для дальнейшей обработки И. ш. перематывается в мотки на обыкновенных мотальных машинах. Б е л е н и е искусственного волокна м. б. проведено различными способами. Наиболее дешевым является беление хлорной известью, но известь вредно действует на волокно, особенно при нитроцеллюлозном способе. Хорошие результаты дает беление H_2O_2. Удобен также способ беления с помощью электролиза. Беление производится как в отдельных барках, так и в закрытых аппаратах с постоянной циркуляцией раствора. Прибавление нейтрального раствора к белильному раствору действует очень хорошо на процесс беления, ускоряет его и придает шелку мягкость и лучшее туше. Рекомендуется также перед белением мыльная ванна ($t°$ 60°) в течение 30 м., но эту ванну можно применять и после беления. После беления материал подвергается к и с л о в к е. Для кисловки применяют различные кислоты: серную, соляную, уксусную, азотную. Самой дешевой является обработка серной к-той. Азотная и уксусная кислоты обладают способностью придавать шелку скрип, характерный для натурального шелка. Преимущество соляной к-ты в том, что она м. б. очень быстро удалена водой. После кисловки шелк хорошо промывается, отжимается и высушивается. В т о р а я с у ш к а шелка—в мотках—проводится также в автоматич. сушилках системы Гааса (фиг. 13). Важным моментом при сушке является $t°$. Высокая $t°$ придает шелку больше блеска, но понижает его механические свойства. Для получения лучшего блеска иногда производят первую сушку (до беления) с натяжением. В настоящее время существуют аппараты, в к-рых все перечисленные процессы—беление, кисловка, промывка и сушка—идут непрерывным потоком и материал движется в машине автоматически, но они большого распространения пока не получили.



Фиг. 13.

Из механич. способов отделки И. ш. подвергается ш е в е л и р о в а н и ю и к а л а н д р и р о в а н и ю. Первая операция состоит в том, что моток шелка надевается на крюк и сильно скручивается при одновременной вытяжке. Каландрирование производится на каландрах со стальными полированными вальцами,

Недостаточная крепость шелка на разрыв, в особенности в увлажненном состоянии (главный его недостаток), побудила многих исследователей искать способ увеличения крепости нити путем прибавления различных веществ в прядильный раствор. Так, было предложено прибавлять в прядильный раствор скипидар, эфирные масла и пр. Барди (Ф. П. 313464) предложил обрабатывать шелк 50%-ным раствором серной кислоты при 15—20°. Другие предлагали удалять влагу из нити, в предположении, что при этом дериваты целлюлозы—полигидроцеллюлоза и гидроцеллюлоза—должны восстановиться в целлюлозу. В качестве поглощающих влагу веществ служили алкоголь, эфир, бензол, сероуглерод, хлористый кальций. Было предложено также пропитывать нить раствором каучука. Но и этот способ не получил распространения в виду того, что он сильно удорожал производство искусственного шелка.

Последней операцией, и весьма ответственной, является с о р т и р о в к а. Она производится вручную, на-глаз и наощупь, при чем сортировщица перебирает руками весь моток. Наиболее простой сортировкой является распределение на 3 сорта и на отброс. К первому сорту относится шелк, который имеет согласную по тонине, гладкую, нерасщепленную нить, отличается чистотой, хорошим блеском и равномерной окраской, шелковист наощупь. Каждая из заграничных ф-к имеет свою особенную сортировку, обычно более чем на 3 сорта.

I. Нитрошелк. Производство нитрошелка распадается на 4 стадии: а) получение нитроцеллюлозы, б) растворение нитроцеллюлозы и получение коллодия, в) получение нити, г) денитрация нити и дальнейшая ее обработка. В качестве сырого материала в настоящее время применяется исключительно хлопковое волокно или в виде короткого волокна (линтера) или в виде хлопчатобумажного тряпья и угаров хлопкопрядильного производства. Теоретически возможно применение сульфитной целлюлозы, но нитрирование ее идет значительно труднее, и выход нитроцеллюлозы относительно меньше. Процесс нитрирования с химич. стороны заключается в том, что гидроксил (OH) целлюлозы замещается группой NO_3 из азотной к-ты (HNO_3). Практически возможны различные степени нитрирования, с содержанием азота от 6,76 до 14,14%. Для производства искусственного волокна применяются нитраты целлюлозы средних степеней с

содержанием азота 11—12,5%. Обычно нитрирование проводится смесью азотной к-ты с серной; такая смесь имеет ряд преимуществ перед нитрированием одной азотной к-той. Отношение серной к-ты к азотной в смеси обычно не более 3:1. Увеличение количества сернсй к-ты замедляет процесс нитрирования, а также действует на строение продуктов его: нитроцеллюлоза, полученная при большом избытке серной к-ты, превращается после промывки и просушки в порошкообразную массу. Нитрирование производят обычно в течение 2 ч. при $t°$ ок. 40°. В фабричном масштабе нитрирование может выполняться тремя способами: 1) в тиглях, 2) в центрифугах, 3) в специальных аппаратах непрерывного действия. Способ нитрирования в тиглях наиболее прост и состоит в том, что в тигель наливают смесь при $t°$ 40° и постепенно погружают в нее волокно, перемешивая его вилами; затем нитроцеллюлозу промывают, отжимают в центрифуге для удаления влаги и пропускают через голландеры, где она измельчается на короткое волокно длиной 1 *мм*. Эту массу обычно отбеливают слабым раствором, затем ее вновь промывают и высушивают. Из 100 *кг* хлопкового волокна обычно получается 150 *кг* нитроцеллюлозы. Нитроцеллюлоза существенно отличается от своего исходного материала—хлопкового волокна. Волокно нитроцеллюлозы лишено характерных для хлопкового волокна завитков и представляется под микроскопом в виде гладкой ленточки. Уд. вес нитроцеллюлозы 1,66, хлопкового волокна—1,5. Гигроскопичность нитроцеллюлозы значительно ниже гигроскопичности целлюлозы, при чем она тем меньше, чем выше степень нитрации. Раствор иода в водном растворе иодистого калия окрашивает целлюлозу в темносиний цвет, нитроцеллюлоза получает при действии этого реактива слабокоричневую окраску.

Способов получения коллодия из нитроцеллюлозы было предложено очень много. Шардоне растворял нитроцеллюлозу в смеси алкоголя с эфиром. Броннерт и Шлюмбергер запатентовали в 1896 г. способы растворения нитроцеллюлозы в ускусной к-те в смеси с алкоголем или эфиром, в серной к-те, в спиртовом растворе камфоры, в эфире, бензоле, ацетоне, древесном спирте и, наконец, в спиртовых растворах солей: хлористого аммония, хлористого кальция, хлористого магния, хлористого цинка, хлористого алюминия и др. В настоящее время применяется исключительно смесь этилового алкоголя с эфиром, при чем различные ф-ки имеют различные рецепты смеси. Шардоне предлагал применять смесь из 60% алкоголя и 40% эфира. В последнее время, как видно из новейших литературных данных, наиболее употребительной является смесь 60% эфира и 40% спирта. Выбор рецепта смеси зависит и от способа прядения. При сухом прядении выгоднее иметь смесь с большим содержанием эфира, к-рый легче улетучивается; наоборот, при мокром прядении выгоднее иметь смесь с большим содержанием алкоголя. Для придания нити мягкости и способности сопротивляться воспламенению часто рекомендуется прибавление различных веществ к прядильному раствору. Для первой цели могут служить глюкоза, медь, жиры, касторовое масло, для второй—хлористые соединения кальция, железа, хрома, марганца. Т. к. присутствие этих веществ сильно затрудняет процесс денитрации, то по большей части обходятся без этих прибавлений. Мокрый способ заключается в том, что теплый раствор коллодия выпускают через тонкое отверстие в ванну с холодной водой и там он принимает состояние твердой нити. Для продавливания коллодия через тонкие отверстия Шардоне применял давление от 10 до 12 *atm*. Поступая в восстановительную ванну, нить отвердевала лишь снаружи, оставаясь внутри в виде тягучей массы. Пользуясь этим, Шардоне давал нити добавочную вытяжку и получал более тонкую нить. В качестве восстановительной ванны вместо воды были предложены и другие вещества; так, Ленер предложил скипидар, бензин, хлороформ, Тургард—1%-ный раствор квасцов. Сухой способ прядения, также предложенный впервые Шардоне, заключается в том, что нити дают отвердеть на воздухе. В настоящее время почти исключительно применяется сухой способ, имеющий много преимуществ, а именно: он более производителен, дает более тонкую нить и требует более простой аппаратуры благодаря отсутствию восстановительной ванны. Легкая воспламеняемость нитроцеллюлозы крайне затрудняет применение получаемой из нее искусственной нити. Для понижения этой воспламеняемости существуют два способа: 1) прибавляют в прядильный раствор вещества, понижающие воспламеняемость, 2) подвергают нитросоединения денитрации, т. е. превращают их в целлюлозу. Первый способ не получил практич. применения как вследствие удорожания фабриката, так и вследствие вредного влияния этих примесей на качество шелка. Поэтому в настоящее время применяют исключительно денитрацию. С этою целью мотки шелка помещают на стеклянных палках в барки с денитрирующим раствором. В качестве такого раствора Шардоне применял 50%-ный раствор азотной к-ты, но не получал достаточной денитрации, и в шелке оставалось до 6—6,5% азота, тогда как его д. б. не более 0,05%. Наиболее распространенным денитрирующим средством являются в настоящее время сульфогидраты магния, кальция, аммония, натрия. Продолжительность денитрации зависит как от состава раствора, так и от темп-ры и состава нити. При употреблении сульфогидратов кальция и натрия процесс денитрирования требует 2—3 ч. Денитрация, однако, действует не вполне благоприятно на физическ. свойства нити, на крепость ее, гигроскопичность, блеск и даже на выход.

2. Медноаммиачный шелк. Для производства медноаммиачного шелка в качестве сырья применяется также исключительно целлюлоза хлопкового волокна в виде линтера или в виде угаров хлопкопрядильного производства. Для ускорения растворения волокно, после обычной механич. и химической очистки, подвергают предварительной

обработке слабым белильным спиртом (2 *г* активного хлора в 1 *л*) в течение 2—3 ч. и затем мерсеризуют крепким щелоком при низкой $t°$ в течение 1 ч., отжимают и промывают. Способов приготовления медноаммиачного раствора и способов растворения в нем волокна было предложено очень много. Наиболее удачно в экономич. и гигиенич. отношениях разрешают этот вопрос те способы и патенты, к-рые дают растворы с наибольшим содержанием меди и наименьшим содержанием аммиака, т. к. они растворяют наибольшее количество волокна и не выделяют больших количеств аммиака. Раствор целлюлозы в медноаммиачном растворе м. б. приготовлен следующим способом. Водный раствор сернокислой меди осаждают щелочью при сильном охлаждении. Полученная масса поступает без промывки в голландер, где смешивается с размельченным в нем хлопковым волокном, имеющим 40% влажности. На 100 *кг* сухого хлопка требуется 260 *кг* сернокислой меди и 230 *кг* 35%-ного раствора щелочи. Масса перемалывается в голландере в течение 15 минут, отфильтровывается и поступает на гидравлический пресс, где спрессовывается, под давлением 180—200 *atm*, в виде небольших кирпичей. После этого масса снова размельчается и поступает в мешалку, куда прибавляется 570—580 *кг* 25%-ного раствора аммиака, 60 *кг* 15%-ного раствора щелочи и 50 *л* 1,5%-ного раствора кислого виннокислого калия. Щелочь и калий прибавляются после того, как целлюлоза в значительной мере растворилась. После 10-часового перемешивания раствор готов и м. б. доведен до желаемой степени содержания целлюлозы (обычно до 8—9%). Для разжижения раствора обычно применяют смесь из 80% воды, 17% раствора щелочи (35%-ной) и 3% водного 25%-ного раствора аммиака. После дальнейшего перемешивания в течение 10 ч. проверяют вискозность раствора, и, если она достаточна, масса фильтруется несколько раз через мелкое металлич. сито и поступает в бак, в к-ром излишний аммиак улетучивается через 10—12 ч. и масса становится готовой для прядения. Для получения нити большой крепости, мягкости, эластичности и лучшей прядильной способности было предложено много различных добавлений, например: глюкоза, глицерин, виннокаменная к-та, лимонная к-та, молочная к-та, декстрин, желатина, оливковое масло. Наиболее часто употребляется глюкоза как самое дешевое из перечисленных веществ. Перед прядением раствор пропускают через фильтр; ранее употребляли песочные фильтры, но в настоящее время применяют исключительно мелкие металлич. сита. Прядение производится на обыкновенных прядильных машинах по мокрому прядению, с намоткой нити на бобины. В качестве восстановительной ванны можно употреблять как к-ты, так и щелочи. Из к-т чаще всего применяют раствор серной к-ты (10—20%-ный или даже более крепкий). Кислые ванны, однако, требуют большой осторожности, и при их применении часто получается жесткая и мало эластичная нить. Поэтому наибольшее распространение в настоящее время имеют щелочные восстановительные ванны, гл. образом натровый щелок различной концентрации. Как после кислой, так и после щелочной восстановительной ванны на волокне остается в нерастворенном состоянии медь, к-рая м. б. удалена растворами к-т; для этого служат слабые растворы соляной или серной кислоты. Эта обработка производится или на прядильной машине непосредственно после выхода нити из восстановительной ванны и перед наматыванием ее на бобину или уже в мотках. После удаления меди следует промывка, которая производится в обыкновенных барках и обычно в два приема: сначала в подкисленной, а затем — в чистой воде. Дальнейшие операции—отбелка, сушка и крутка—производятся таким же образом, как и при нитрошелке.

3. Вискозный шелк. Производство—см. *Вискоза* и *Вискозный шелк*.

4. Ацетатный шелк. Ацетатный шелк представляет собой сложный эфир клетчатки и по способу получения и химическ. природе своей близко подходит к нитрошелку, отличаясь от последнего, однако, тем, что здесь не требуется «деацетилирования», и готовый продукт остается сложным эфиром, тогда как нитрошелк после денитрации представляет собой почти чистую целлюлозу и ее гидрат; имея свободные гидроксильные группы, нитрошелк значительно менее устойчив к влаге, чем ацетатный шелк (см. *Волокна искусственные*). В качестве исходного материала для производства ацетатного шелка служит линтер, хотя м. б. употребляема и древесная целлюлоза. Ацетилирование обычно ведется уксусным ангидридом в присутствии катализатора, которым служат серная к-та, хлористый цинк и другие вещества. Наиболее быстро действует и чаще всего применяется серная кислота, которая, однако, при высоких $t°$ может не только ускорять процесс ацетилирования, но и вызывать расщепление молекулы целлюлозы; поэтому ее применение д. б. достаточно осторожным. Процесс ацетилирования, как и процесс нитрирования, имеет несколько ступеней. Для производства И. ш. имеют значение триацетаты—продукты высшей ступени ацетилирования, которые растворимы в хлороформе, но нерастворимы в ацетоне, и диацетаты, растворимые в ацетоне. Для приготовления триацетата на каждые 2 молекулы целлюлозы требуется 3 молекулы уксусного ангидрида, или на 1 вес. ч. целлюлозы 1,8 вес. ч. ангидрида. Практически, для обеспечения реакции, требуется на 1 вес. ч. целлюлозы до 4 вес. ч. ангидрида. Готтенрот дает следующий способ получения триацетата: в смесь, состоящую из равных частей (по 180—200 *кг*) ледяной уксусной кислоты и уксусного ангидрида, вливают 1—1,5 *кг* серной кислоты 66° Bé, затем, при постоянном перемешивании, в смесь вводят 25 *кг* воздушносухого хлопкового волокна (с содержанием влаги 5—6%). Смесь подвергают сильному охлаждению, и через 4—6 ч. получается первичный раствор целлюлозы в виде сиропообразной массы, представляющей собой продукт промежуточных ступеней ацетилирования. Окон-

чание процесса и получение триацетата узнается по тому, что он выпадает в виде компактного, тягучего образования, которое принимает форму связного тела при выливании его тонкой струей в воду и после выщелачивания хорошо растворяется в хлороформе, но не растворяется в ацетоне, алкоголе и других веществах. Для получения триацетата массу обрабатывают водой, затем выделившийся ацетат отжимают на центрифуге, промывают до полного удаления к-ты и высушивают. Осаждение ацетата водой представляет наиболее дешевый и простой способ, но он невыгоден, потому что уксусный ангидрид и кристаллич. уксусная к-та превращаются в сильно разведенную уксусную к-ту, к-рая не имеет почти никакой ценности. Поэтому для осаждения ацетата были предложены другие вещества: бензин, бензол, керосин, этиловый эфир и др. Для получения ацетата, растворимого в ацетоне, из ацетата, растворимого в хлороформе, Майльс предложил в свое время способ обработки слабым раствором серной к-ты (10%) в среде уксусной к-ты (в объеме, равном объему раствора серной к-ты). Ацетат, растворимый в хлороформе, представляет собой твердое зернистое вещество светлосерого цвета, мало гигроскопичное. Среднее содержание влаги в нем составляет 0,5—3%. Он растворяется, кроме хлороформа, в муравьиной кислоте, ледяной уксусной к-те и особенно легко в тетрахлорацетилене, а также в анилине и феноле. Ацетаты, растворимые в ацетоне, в большинстве случаев представляют собой легкие пушистые снежно-белые порошкообразные вещества. Прядение ацетатного шелка производится преимущественно сухим способом, и полученная нить подвергается дальнейшим операциям в указанном выше порядке.

Лит.: Нитрошелк—Ф. П. 165349, 195654, 218759, 221901, 258287, 342077, 344660, 344845, 346693, 350723, 351265, 354398, 355016, 356835, 360395, 360396, 368190, 369170, 371544, 373957, 376785, 377673, 383555, 386109, 396664, 397791, 401182, 401343, 402950, 403243, 410267, 410652, 412887, 413359, 415060, 416064, 420086, 434868, 434869, 439721, 441551, 455011, 473986, 478461; Г. П. 55293 кл. 29, 56331 кл. 29, 81599 кл. 29, 88556 кл. 29, 135316 кл. 29в, 168173 кл. 29, 169931 кл. 29в, 171752 кл. 29в, 173012 кл. 29а, 186277 кл. 29а, 197167 кл. 29а, 199885 кл. 29в, 200824 кл. 29, 200265 кл. 29в, 245837 кл. 12, 247095 кл. 29а, 250421 кл. 22, 254801 кл. 29а, 254913 кл. 29в, 267509 кл. 29а, 271747 кл. 29в, 277154 кл. 29а, 300595 кл. 29в, 303396 кл. 29в, 320908 кл. 29а; Ан. П. 22540/96, 9087/00, 15343/00, 5076/01, 2476/02, 13603/05, 6166/06, 1595/07, 7098/15, 10518/15.

Медноаммиачный шелк—Ф. П. 203741, 344138, 347960, 350888, 352528, 355064, 356402, 357171, 365037, 368706, 369973, 373429, 374277, 376065, 379000, 381939, 383413, 392869, 399911, 401741, 403427, 417851, 422565, 436968, 437815, 440907, 450193, 451406; Г. П. 109996 кл. 29, 111313 кл. 29в, 113208 кл. 29в, 119099 кл. 29в, 119230 кл. 29в, 121439 кл. 29в, 125310 кл. 29в, 134312 кл. 29с, 140347 кл. 29в, 154507 кл. 29в, 157157 кл. 29в, 162866 кл. 29в, 165577 кл. 29а, 169567 кл. 29в, 174508 кл. 29в, 175296 кл. 29в, 185139 кл. 29в, 187313 кл. 29в, 190267 кл. 29в, 206883 кл. 29в, 210280 кл. 29а, 216669 кл. 29в, 218490 кл. 29в, 220051 кл. 29а, 221041 кл. 29в, 222624 кл. 29в, 222873 кл. 29в, 225161 кл. 29в, 228504 кл. 29в, 228872 кл. 29в, 229863, 229677 кл. 12, 229711 кл. 29в, 230141 кл. 29в, 230941 кл. 29в, 233370 кл. 29а, 235134 кл. 29в, 235476 кл. 29в, 237200 кл. 29а, 237717 кл. 29в, 239214 кл. 29в, 240082 кл. 29в, 240242 кл. 29в, 241683 кл. 29в, 241921 кл. 29в, 244510 кл. 29в, 252180 кл. 29в, 256351 кл. 29в, 259816 кл. 29в, 260630 кл. 29в, 300254 кл. 29а, 303047 кл. 29в, 306107 кл. 29в, 320711 кл. 29в; Ан. П. 27222/05, 10545/07, 14655/07, 20316/08, 28256/09, 25986/10; Швейц. П. 34760, 35642, 37584, 40164, 45321.

Вискозный шелк—Ф. П. 253569, 334636, 339564, 357056, 361319, 361877, 400577, 402804, 406724, 414520, 415619, 425953, 426436, 430876, 431681, 436590, 443897, 449536, 451156, 451276, 454061, 461900, 462147, 477735; Г. П. 108511 кл. 29, 133144 кл. 81, 152743 кл. 29в, 153817 кл. 29в, 160244 кл. 29а, 163467 кл. 29а, 163661 кл. 29в, 164321 кл. 29а, 183623 кл. 29в, 187947 кл. 29в, 192406 кл. 29а, 189139 кл. 29а, 197086 кл. 29в, 209161 кл. 29в, 223736 кл. 29в, 228836 кл. 120, 234861 кл. 29в, 240846 кл. 29в, 252179 кл. 29в, 260479 кл. 29в, 267731 кл. 29в, 282789 кл. 29в, 283286 кл. 29в, 287092 кл. 29в, 287955 кл. 29в, 312392 кл. 29в, 323891 кл. 29в; Ан. П. 8700/92, 4713/96, 2529/02, 17503/02, 7023/03, 17876/07, 19157/08, 19158/08, 25097/08, 330/13, 20090/13.

Ацетатный шелк.—Ф. П. 330714, 413787, 418309, 425900, 426436, 474163; Г. П. 188542 кл. 29в, 196730 кл. 29в, 201910 кл. 29в, 210778 кл. 29в, 225704 кл. 29в, 234028 кл. 29в, 237599 кл. 29в, 240751 кл. 29в, 274260 кл. 29в, 286173 кл. 29в, 287073, кл. 29в; Ан. П. 28733/04, 15700/10, 20672/10.

Процессы прядения—Ф. П. 359026, 364912, 383411, 394009, 405782, 409387, 442022, 465322 469890, 481399; Г. П. 96208 кл. 76, 101844 кл. 76, 102573 кл. 76, 111333 кл. 76, 143763 кл. 29в, 148889 кл. 29в, 163293 кл. 29в, 172265 кл. 29а, 178942 кл. 29в, 186203 кл. 29а, 222131 кл. 29а, 237744 кл. 29в, 244375 кл. 29а, 247418 кл. 29в, 248349 кл. 29а, 249002 кл. 29а, 252841 кл. 29а, 276082 кл. 29а, 288667 кл. 29а; Ан. П. 23157/00, 13868/07, 21872/08, 14599/10, 4078/11, 22635/11, 2222/12, 17495/14.

Процессы перемотки и крутки—Ф. П. 337693, 364269, 370717, 440965, 450818, 451913, 466210; Г. П. 218586 кл. 29а, 236585 кл. 76д, 239821 кл. 76д, 239822 кл. 76д, 253371 кл. 29а; Ан. П. 10211/10, 1022/11, 12710/12, 13360/13.

Процессы мойки и прочее—Ф. П. 10760, 313464, 369957, 374724, 417599, 434602, 463160, 463693, 477655; Г. П. 118910 кл. 29а, 178410 кл. 29а. 187090 кл. 29а, 232605 кл. 29в, 262253 кл. 29в, 271656 кл. 29а, 274044 кл. 8м, 314968 кл. 8с, 316045 кл. 29а; Ан. П. 19166/10, 9067/13, 18556/14.

Ам. П.—1916 год: 1181857, 1181858—60, 1199799, 1193178, 1188718; 1917 год: 1242783, 14388, 1217722, 1251237, 1226178; 1918 год: 1280974—5, 1278885, 1286712, 1279328—30, 1260508; 1919 год: 1309980, 1298199, 1309981, 1301652, 1301409; 1920 год: 1342603, 1353384—5, 1339728, 1355985; 1921 год: 1395401, 1379351, 1366163, 1393197—9, 1387882, 1366162; 1922 год: 1440006, 1406153, 1406224, 1425368, 1426953, 1427238, 1437340, 1437899; 1923 г.: 1441989, 1449380, 1457977, 1478926; 1924 г.: 1484004, 1501207, 1501206, 1515556, 1505043, 1492594, 1489199; 1925 год: 1548932, 1528810, 1538859, 1552795, 1528219, 1528218, 1546211, 1566384, 1562885, 1556174.

Анучин С. и Жирмунский С., Искусствен. волокно. Экономика, производство, потребление, Ив.-Вознесенск, 1927; Архангельский А. Г., Волокна, пряжа, ткани, методы исследования, в связи с кратк. материаловедением волокн. веществ, М., 1914; Воронцов В. А., Волокн. прядильн. вещества, их добывание и свойства, Ив.-Вознесенск, 1928; Гейзер Э., Химия целлюлозы, пер. с нем., М., 1923; Минаев В. И., Элементарный состав обыкнов. и мерсеризованной целлюлозы и искусств. шелка, Киев, 1910; Шапошников В. Г., Общая технология волокн. и крас. веществ, М.—Киев, 1926; Антропов С. В., Искусств. шелк. К вопросу об организации у нас производства искусств. шелка, «ИТПТ», 1926, *16*; Бернгардт Р., Созревание вискозы с точки зрения химич. изменений, там же, 1927, *7*; В. Л., Нормы и методы испытания искусств. шелка в Америке, там же, 1927, *2*; П. Л., Искусствен. шелк в ткачестве, там же, 1926, *22*, *23*; Перль А. Г., Машины, употребляемые при производстве вискозного шелка, там же, 1926, *4*, *25*; Рязузов А. Н., Искусств. вискозная шерсть, там же, 1927, *23*, *24*; Х. Б., Изготовление искусств. шелка из уксусноцеллюлозных эфиров, там же, 1925, *12*, стр. 1989; его же, Искусственный шелк, там же, 1925, *9*, стр. 1693; его же, К производству искусств. шелка, там же, 1925, *11*, стр. 1884; его же, Физич. свойства искусств. шелка, там же, 1925, *10*, стр. 1728; Френкель И. Я., О созревании вискозы, там же, 1927, *21*, *22*; Линде В. В., Искусств. шелк и перспективы его развития, «Техн.-экономическ. вестник», 1926, стр. 470; Жирмунский С. С., Искусственный шелк, там же, 1925, стр. 427; его же. Искусствен. шелк из ацетатцеллюлозы, «ЖХП», 1927, стр. 808; Л. О., О производстве искусств. шелка, там же, 1926, стр. 110; Надеев В., Современное состояние промышленности искусств. шелка за границей, «Техника и производство», М., 1926, *4*; Avram M. H., The Rayon Industry, N. Y., 1927; Becker Fr., Die Kunstseide, Halle a/S., 1912; Belzer J. et Persoz J., Les matières cellulosiques, Paris, 1912; Berl E. und Havas A., Kunstseide, in Lunge-Berl,

Chem.-technische Untersuchungsmethoden, B. 4, p. 636, 7 Auflage, B., 1924; Bodenbender H. G. und Stadlinger H., Das Kunstseiden-Taschenbuch. Ein prakt. Nachschlagebuch f. Hersteller, Verarbeiter, Kaufleute, B., 1928—29; Bronnert E., Emploi de la cellulose pour la fabrication des fils brillants, imitants la soie, Mülhausen, 1909; Bruck W. F., Die Organisation d. deutschen Kunstspinnstoff-Wirtschaft, Jena, 1922; Chaplet A. et Rousset H., Les soies artificielles, 2 éd., P., 1926; Cross C. a. Bevan E., Cellulo , 2 ed., L., 1918; Cross C. a. Bevan E., Researches on Cellulose, v. 1—4, London, 1895—1921; Dubosc A., Les éthers cellulosiques, Paris, 1921; Eggert H., Die Herstellung und Verarbeitung d. Viskose unter besonderer Berücksichtigung d. Kunstseidenfabrikation, B., 1926; Faust O., Kunstseide, Dresden—Lpz., 1928; Foltzer J., Artificial Silk and its Manufacture, L., 1926; Hall A. J., Cotton Cellulose, its Chemistry a. Technology, London, 1924; Häussermann C., Die Nitrozellulosen, Brschw., 1914; Hermann P., Technologie d. Textilveredlung, 2 Aufl., Berlin, 1926; Herzog A., Die mikroskop. Untersuchung d. Seide mit besond. Berücksichtigung d. Erzeugnisse d. Kunstseidenindustrie, Berlin, 1924; Herzog A., Unterscheidung d. natürl. u. künstl. Seiden, Dresden, 1910; Heuiser E., Lehrbuch d. Zellulosechemie, 2 Auflage, Berlin, 1927; Hölkern M., Die Kunstseide auf d. Weltmarkt, Berlin, 1926; Hottenroth V., Die Kunstseide, Leipzig, 1926; Hottenroth V., Die Kunstseide, Ulm. Enz., B. 7, p. 305; Jentgen H., Laboratoriumsbuch für die Kunstseiden- u. Ersatzfaserstoff-Industrie, Halle, 1923; Königsberger C., Die deutsche Kunstseiden- u. Kunstseidenfaser-Industrie in d. Kriegs- u. Nachkriegsjahren u. ihre Bedeutung f. unsere Textilwirtschaft, B., 1925; Technologie d. Textilfasern, hrsg. v. R. O. Herzog, B. 7—Kunstseide, Berlin, 1927; Lehner S., Entwicklung der Kunstseidedarstellung, Nürnberg, 1906; Mullin Ch., Acetate Silk a. its Dyes, N. Y., 1927; Nasmith F., The Artificial Silk Handbook, L., 1926; Reinthaler Fr., Die Kunstseide u. andere seidenglänzende Fasern, B., 1926; Schober C., Seide u. Seidenwaren, Lpz., 1927; Schwalbe C., Die Chemie d. Zellulose unter besond. Berücksichtigung d. Textil- u. Zellstoffindustrie, Berlin, 1928; Sproxton F., Cellulose-ester Varnishes, London, 1925; Süvern K., Die künstliche Seide, ihre Herstellung u. Verwendung, 5 Auflage, B., 1926; Wheeler E., The Manufacture of Artificial Silk, L., 1928; Witt O. N., Die künstlichen Seiden, 2 Aufl., Berlin, 1909; Woodhouse T., The Artificial Silk, its Manufacture a. Uses, L., 1927; Woodhouse T., The Artificial-silk Yarns Winding, Warping, Beaming, and Weaving, L., 1928; Worden E. C., Nitrocellulose Esters, v. 1, L., 1921; Wurtz Ed., Die Viskosekunstseidenfabrik, ihre Maschinen u. Apparate, Monographien zur chemisch. Apparatur, hrsg. v. B. Block, B. 5, Lpz., 1927; Wykes A. L., The Working of Viscose Silk, Manchester, 1926; Yarsley V. E., Über d. Herstellung und physikal. Eigenschaften d. Zelluloseazetate, B., 1927; Brough Th., Artificial Silk, «Textile Manufacturer», Manchester, 1926, p. 424; Bruckhaus W., Weighting a. Dulling Artificial Silk, ibid., p. 240; Hall A., The Dyeing of Viscose Silk, ibid., p. 421; Chittick J., Handling Artificial-silk Fabrics, ibid., p. 209, 423; Whittaker C., Artificial-silk Dyeing, ibid., p. 132; Bean P., The Sizing of Artificial-silk Yarns a. Comparison with the Sizing of Cotton Yarns, ibid., p. 378; Ainslie Th., Peroxide Bleaching of Artificial Silk, ibid., p. 59; A New Silk a. Artificial-silk Loom, ibid., p. 127; Spun, Artificial-silk Yarns, ibid., p. 174; Cromton W., Artificial-silk Sizing Problems, ibid., p. 133; Woodhouse T., Preparing Artificial-silk Yarns for the Loom, ibid., p. 291, 366, 410; ibid., p. 253; Silk and Artificial-silk Trades Census of Production, ibid., p. 207; Wykes A. L., Physical Properties of Artificial Silk, ibid., p. 360, 396; p. 27; Hadfield Th., Viscose in Comparison with Nitrate a. Acetate Artificial Silks, ibid., p. 197; Fleming H., Artificial Silk a. Mercerisation, ibid., 1928, p. 244; Grove-Palmer Fr., Bleaching Artificial-silk and Cotton Stockings, ibid., p. 97; Halas St., Spinningpot-Dyes for Artificial Silk, ibid., p. 271; Bennet W., Preparation, Scouring a. Bleaching of Artificial Silk a. Mixed Goods, ibid., p. 240; Hutchinson J. W., Hattersley Artificial-silk Loom, ibid., p. 21; Taylor R. W., Warp a. Skein Sizing of Artificial Silk, ibid., p. 58; Shearer A., Artificial Silk and its Uses, ibid., p. 137; Artificial-silk Sizing Machine, ibid., p. 89; Atwood P. D., Some Developments in Artificial-silk Process, ibid., p. 353; Morse E. H., Laboratory Preparation of Viscose, ibid., p. 398; Blanco G. W., Cellulose Xantate, ibid., p. 1257; Hofmann A., Die Verwendung d. feinfaserigen Kupferoxyd-Ammoniakseide in d. Wirkerei u. Strikkerei, «Melliands Textilberichte», Mannheim, 1927, p. 694; Lewitzky A., Präparieren u. Avivieren v. Kunstseide, ibid., p. 793; Schupp H., Azetat-Kunstseide, ibid., p. 864; Kirberger L., Eigenschaften u. Verwendung d. Azetatseide, ibid., p. 261; Hoz H., Gewebe u. Effekte mit Azetatseide, ibid., p. 252; Bayer, Die chem. u. mechan. Verfahren beim Fertigstellen frischgesponnener Viskoseseide, ibid., p. 82, 153; Alterhoff W., Das Färben v. gemischten Geweben aus Baumwolle und Kunstseide, ibid., p. 795; Jeack W., Über d. Färben d. Azetatseide, ibid., p. 252; Rabe P., Siriusfarben auf Kunstseide, ibid., p. 260; Ullrich E., Gewebe aus feinfaseriger schwachgedrehter Kunstseide, ibid., p. 241; Rosenzweig A., Die Zukunft d. Kunstseide, ibid., p. 114, 201; Evers H., Eigenschaften v. Kunstseiden aus Gemischen von Zellulose-Nitraten u.-Azetaten, ibid., p. 873; Gmelin B., Druck auf Azetatseide- u. Azetatseidehaltigen-Mischgeweben, ibid., p. 225; Tede, Bemberg-Seide, ibid., p. 230; Eckert M., Die Verarbeitung d. Kunstseiden in d. Vorwerken, ibid., p. 18; Engel H., Über Avivage und Färbung von Kunstseide, ibid., p. 686; Alterhoff W., Ein bedeutender Fortschritt in d. Kunstseiden-Färberei, ibid., p. 230; Kirberger L., Wie wäscht man Kunstseide, ibid., p. 49; Konrad R., Kunstseidenpräparation, ibid., p. 223; Laer J. A., Kunstseide in d. Textilindustrie, ibid., p. 683; Herzog A., Über d. mikroskop. Verhalten d. Baumwolle in Kupferoxydammoniak, «Kunststoffe», Mch., 1911, p. 401; Mitscherling W., Die Nitrokunstseide, ibid., 1912, p. 261; Hampel O., Über Veredeln kunstseidener Gewebe, ibid., 1913, p. 264; Herzog A., Zur Unterscheidung d. natürl. u. künstl. Seide, ibid., 1917, p. 227; Dyes A., Die internat. Entwicklung d. Kunstseiden- und Kunstfasern-Industrie, ibid., 1928, p. 149; Lasson A., Die weltwirtschaftliche Bedeutung d. Kunstseide, ibid., p. 4; Walter H., Die Verarbeitung von Kunstseide in d. Praxis, ibid., p. 216; Mukoyama T., Zur Kolloidchemie der Viskoselösungen. Über eine Modifizierung d. Reifegradbestimmung von Hottenroth, ibid., B. 41, p. 62, B. 42, p. 349, B. 43, p. 79, 180, 350, 353; Waentig P., Zur Frage der Zähflüssigkeitsänderung v. Viskoselösungen, ibid., B. 41, p. 152; Lehner F., Die Kunstseide, «Z. ang. Ch.», 1906, p. 1581; Herzog R., Zur Chemie und Physik d. Kunstseide, ibid., 1928, p. 531; Eggert J., Über die Spinnzentrifuge in d. Kunstseidenfabrik, ibid., p. 49; Rudolf G., Regeln f. das Färben v. gemischten Geweben aus Wolle mit Viskose u. Kupferseide, ibid., p. 1820; Faust O., Kunstseide, Kolloidchem. Technologie, hrsg. v. R. E. Liesegang, Lpz.—Dresden, 1927, p. 516—576; Nollau E. H., Mit Nitrozellulose imprägnierte Textilstoffe, «Journal of the Soc. of Automotive Eng.», N. Y., 1927, p. 393; Höhnel, Über d. Kollodiumseide, «Mitt. d. k.-kgl. technol. Gewerbemuseums in Wien», Sektion chem. Gewerbe, W., 1890, 4 Jg., *1—4*, p. 2; Appretage des soies artificielles, «Revue générale des matières colorantes», Paris, 1926, p. 126; Notes sur la teinture de la soie d'acétate de cellulose, ibid., p. 39, 102; Deschiens, L'acétate de cellulose et ses emplois industriels, «Chimie et industrie», P., 1920, p. 591; Mortgat R., La fabrication de la soie artificielle de viscose, «L'industrie chimique», P., 1928, p. 3, 66; «Kunstseide», Mch.—B.; «Rayon», Boston; «Revue universelle des soies et des soies artificielles», P.; «Seide», B.; «Kunststoffe», Mch. **В. Линде.**

ИСПАРЕНИЕ, переход вещества из жидкого состояния в газообразное (парообразное). И. происходит со всякой свободной поверхности жидкости. Механизм И. с точки зрения молекулярно-кинетической теории заключается в следующем. Молекулы жидкости, находящиеся вблизи от ее поверхности и обладающие в данный момент большой скоростью в направлении, образующем достаточно большой угол с поверхностью, вылетают в пространство над жидкостью, освобождаясь от притяжения остальных молекул жидкости; таким образом они становятся свободными молекулами пара. На преодоление сил сцепления жидкости и сопротивления внешнего давления для каждой испаряющейся молекулы требуется затрата энергии (тепловой).

Количество тепла ϱ, затрачиваемого на И. при данной $t°$ одной весовой единицы жидкости, называется скрытой тепло-

той И.: $\varrho=\varrho_i+\varrho_e$, где ϱ_i — внутренняя скрытая теплота И., расходуемая на внутреннюю работу разъединения молекул, а ϱ_e — внешняя скрытая теплота испарения, затрачиваемая на внешнюю работу расширения вещества от удельного объема s жидкости до удельного объема σ пара. Теплота испарения $m\varrho$, отнесенная к граммолекуле жидкости, называется молекулярной теплотой И. Соответственно употребляются $m\varrho_i$ и $m\varrho_e$. В технике полной теплотой И. λ называется количество тепла в Cal, затрачиваемое на 1 *кг* жидкости для нагревания от 0° до данной темп-ры t и на превращение ее при этой темп-ре в пар:

$$\lambda = q + \varrho = q + \varrho_i + \varrho_e ,$$

где q — количество тепла, затрачиваемое на нагревание жидкости. Теплотой пара называется сумма

$$q + \varrho_i = \int_0^t C\,dt + \varrho_i ,$$

где C — теплоемкость жидкости. Теплота пара определяет избыток энергии пара над энергией жидкости при 0°. Внешняя скрытая теплота И. при постоянном давлении p

$$\varrho_e = A \cdot p\,(\sigma - s),$$

где A — термический эквивалент работы. Полная теплота И.

$$\lambda = \int_0^t C\,dt + \varrho_i + A \cdot p\,(\sigma - s).$$

Для воды от 0 до 100° можно пользоваться формулой: $\varrho = 606{,}5 - 0{,}695\,t - 0{,}00011\,t^2$. Для других жидкостей:

Хлороформ . . . $\varrho = 67{,}0 - 0{,}09485t - 0{,}0000507t^2$
Сероуглерод . . $\varrho = 90{,}0 - 0{,}08922t - 0{,}0004938t^2$
Эфир . . . . . $\varrho = 94{.}0 - 0{,}07901t - 0{,}0008514t^2$
Бензол . . . . . $\varrho = 109{,}0 - 0{,}13550t - 0{,}0008515t^2$

С повышением $t°$ скрытая теплота И. уменьшается и при $t°_{крит.}$ $\varrho=0$. Величина ϱ_e с возрастанием $t°$ сначала постепенно увеличивается и достигает своего максимума обычно при 0,7 абсолютной $t°_{крит.}$, а затем убывает и при $t°_{крит.}$ $\varrho_e=0$, как и $\varrho_i=0$.

Самый простой случай И. — с поверхности неподвижной жидкости в покоящийся воздух (статическое И.). На практике мы сталкиваемся с этим случаем при хранении жидкостей (в частности жидкого топлива), в поверхностных увлажнителях, в мокрых производствах и т. д. В природе к этому случаю надо отнести И. из водоемов в безветреную погоду. Основной закон для статического И. дан Дальтоном: количество Q испаряемой в единицу времени жидкости пропорционально площади s испаряющей поверхности, обратно пропорционально давлению воздуха p и прямо пропорционально разности давления насыщенного пара p_s при данной температуре и давления паров в воздухе $p=\varphi p_s$ (φ — отношение данного давления пара к p_s):

$$Q = k \quad s\,\frac{p_s - \varphi p_s}{p}.$$

Опыты Стефана и Винкельмана показали, что закон Дальтона является лишь первым, грубым приближением; однако, для случая испарения воды из водоемов поправки оказываются незначительными. Под скоростью испарения понимают объем паров V_z, испаряющихся с 1 *см²* площади свободной поверхности жидкости в 1 ск. Для жидкостей, налитых в открытые цилиндрич. сосуды, Стефан и Винкельман нашли, что

$$V_z = \frac{k_t}{h} \cdot \ln \frac{p - \varphi p_s}{p - p_s},$$

где h — «путь диффузии» паров, равный расстоянию от поверхности жидкости до свободного края цилиндра, k_t — коэфф. диффузии паров. Если И. идет в свободную от паров атмосферу, то $\varphi p_s = 0$. Для изменения коэфф-та диффузии с темп-рой Винкельман дает следующую ф-лу:

$$k_t = k_0 \left(\frac{T}{273}\right)^m,$$

где k_0 — коэфф. диффузии при 0°, T — абсолютная темп-ра, m — постоянная величина, определяемая из опытов. Для диффузии водяного пара в воздух $k=0{,}2162$ *см²/ск* и $m=1{,}774$. Коэфф. диффузии и скорость И. зависят от внешнего давления:

$$k_p = k_{760} \cdot \frac{760}{p}.$$

Таким образом,

$$V_z = -\frac{k_{0_{760}}}{h} \cdot \frac{760}{p} \cdot \left(\frac{T}{273}\right)^m \ln \frac{p - \varphi p_s}{p - p_s}\ см^3/см^2 \cdot ск$$

(ф-ла для И. в покоящийся воздух или газ). Далее, И. связано и с формой поверхности жидкости и с формой сосуда, внутри к-рого оно происходит. В средних частях поверхности И. происходит иначе, чем у краев. Неста Томас и Фергюсон нашли для массы Q воды, испаряющейся в 1 ск., ф-лу: $Q=ka^n$, где a — радиус круглой поверхности, $k = 0{,}05 + 0{,}025e^{-4a}$ и $n = 2{,}0 - 0{,}60\,e^{-2a}$. Недавно (в 1926 г.) В. Шулейкиным разработана кинетическая теория И. Он расчленяет весь процесс И. на три части: 1) вылетание молекул из жидкости — свободное И., 2) обратное поглощение части вылетевших молекул жидкостью (при ударах о ее поверхность) и 3) распространение (диффузию) остальных молекул в окружающей покоящейся газовой среде.

Для скорости И. с безграничной плоской поверхности теория приводит к ф-ле:

$$v_s = \frac{v_0\,\dfrac{p_s - \varphi p_s}{p_s}}{1 + \dfrac{h}{\xi k}\sqrt{\dfrac{RT}{2\pi m}}},$$

где φp_s — давление паров в сечении, нахо-

Значения удельных теплот испарения для воды.

$t°$	Давление паров p в *кг/см²*	Давление паров p в *мм* Hg	λ	ϱ	ϱ_e	ϱ_i
0	0,00622	4,575	595 0	595,0	30,1	564 9
25	0,0323	23,76	606 6	581 6	32 8	548 8
50	0,1258	92 53	618,0	568 0	35 5	532 5
75	0,3929	288,99	629,0	554,0	38 1	515 9
100	1 0333	760,00	639,4	539 4	40,5	498 9
125	2 3662	1740,42	648 8	523 5	42 7	480,8
150	4,8517	3568,61	657 0	506 0	44,6	461 4
175	9,0937	6688,74	663 5	486 5	46,1	440 4
200	15,854	11661,2	667,7	464 2	46,9	417 3
225	26,003	19126,2	669,0	438 4	47,1	391 3
250	40.547	2982 ,8	666,4	408.1	46 3	361 8
275	60 625	44592,0	659,4	372 5	44 3	328 2
300	87 63	64455,2	646,8	5.0 2	40 8	289 4
325	123.00	90471,1	628,1	278 1	35 6	242 5
350	168 64	124041 0	601,1	210,3	27 8	182 6
374	225 05	165532,7	501,1	0	0	0

дящемся над поверхностью жидкости на высоте h, ξ—среднее число ударов молекул пара о поверхность жидкости, приходящихся на поглощение жидкостью одной молекулы пара, v_0—скорость свободного статического И., равная $\sqrt{\frac{RT}{2\pi m}}\, e - \frac{m\varrho}{RT}$, R — газовая постоянная, m—мол. вес, ϱ—скрытая теплота И., k—коэффициент диффузии.

В случае статич. И. с поверхности круга конечных размеров, объем испаряющейся жидкости со всей поверхности равен:

$$Q = \frac{a \cdot k \cdot \gamma \cdot m}{\pi RT} (p_s - \varphi p_s) \; см^3/ск,$$

где a—радиус круга и γ—удельн. объем жидкости. Чтобы оценить статич. И., необходимо знать для паров данной жидкости коэфф. *диффузии* (см.) и его изменение с $t°$ и другими факторами, мол. вес, кривую упругости насыщенных паров и скрытую теплоту И.

Явление И. значительно осложняется, как только от статич. условий мы переходим к динамическим. При самом слабом движении воздуха количество испаряющейся жидкости значительно возрастает, т. к. увеличивается коэфф. диффузии: $k_w = k_0\sqrt{W}\ \ln\frac{1}{1-\varphi}$, где k_0—коэфф. диффузии в отсутствии движения воздуха, W—скорость воздуха вдоль испаряющей поверхности в *см/ск*. Случаи И. в динамич. условиях наиболее часто встречаются как в природе (т. к. обычно имеется или движение воздуха мимо испаряющей поверхности—ветер или, наоборот, движение самой испаряющей поверхности в воздухе—капли дождя), так и в технике, где особенно распространен случай И. жидкости, разбрызгиваемой в струе воздуха (двигатели внутреннего сгорания, работающие на карбюрируемом топливе, И. при пульверизации, и т. д.). Если рассматривать И. капли не слишком мало о радиуса a с точки зрения кинетической теории И., то для скорости И. с поверхности капли получим:

$$v_s = \frac{v_0}{aB+1} \cdot \frac{(p_s - \varphi p_s)}{p_s},$$

где

$$B = \frac{\sqrt{\frac{RT}{2\pi m}}}{k\xi},$$

а v_0 — скорость испарения с безграничной плоской поверхности.

Самым сложным, а вместе с тем и имеющим наибольш. значение в технике является случай И. при карбюрации. Основные процессы здесь следующие воздух просасывается через карбюратор; создающимся разрежением в струю этого воздуха засасывается из жиклера жидкое топливо, при выходе из жиклера струя топлива разбивается на капли, несущиеся в потоке; вместе с тем начинается И. с капель в воздух и диффузия в последнем молекул образовавшихся паров топлива. Значительная часть капель, как показали опыты в Научном автомоторном институте (НАМИ), вскоре оседает на стенке трубопровода и образует пленку жидкого топлива, движущуюся по трубе значительно медленнее (раз в 60) воздуха. С поверхности этой пленки тоже происходит И. топлива в воздух. В результате И. с поверхности капель и с пленки жидкого топлива и диффузии молекул пара, в струе воздуха происходит смешение паров топлива с воздухом, и образуется горючая рабочая смесь.

Попытка дать теорию динамич. И. принадлежит Кляфтену. Им построена теория И. с капель, прямолинейно движущихся в потоке воздуха и равномерно в нем распределенных. Кляфтен исходил из основного уравнения классической теории диффузии газов (в полярных координатах):

$$\frac{\partial(\varphi p_s)}{\partial Z} = k\left[\frac{\partial^2(\varphi p_s)}{\partial a^2} + \frac{2}{a}\cdot\frac{\partial(\varphi p_s)}{\partial a}\right],$$

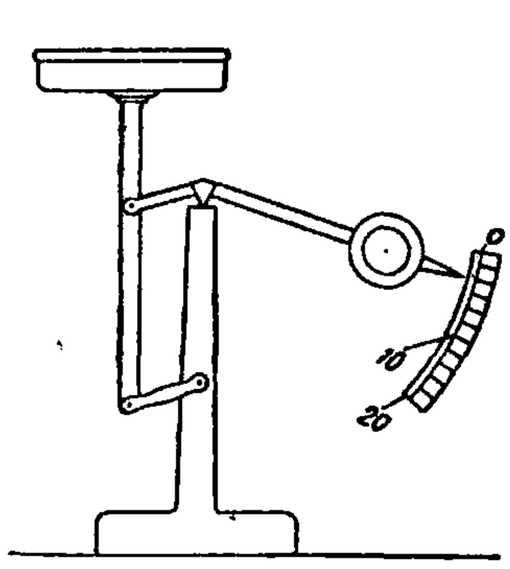
где a—радиус капли, Z—время, p_s—давление насыщенных паров, k—коэфф-т диффузии. Интегрирование этого ур-ия дает:

$$\varphi p_s = \frac{\sin(Aa)}{Aa} C e^{-A^2kZ},$$

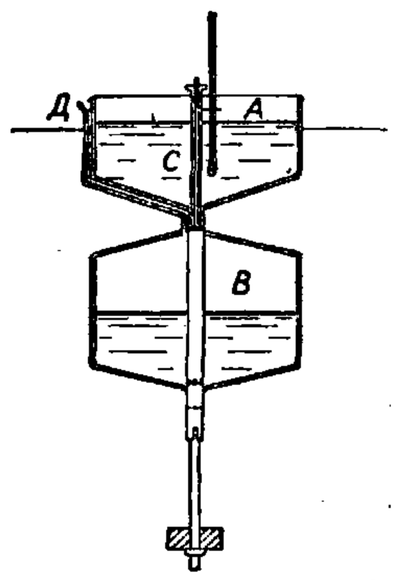
где

$$A = \frac{\pi}{a_0}\sqrt[3]{\frac{n'}{n}},\quad C = \frac{p_s}{\frac{\sin(Aa_0)}{Aa_0}},$$

a_0—радиус капли в момент начала И., n—коэфф. смешения, т. е. отношение веса воздуха к весу жидкости и паров, n'—коэфф.



Фиг. 1.

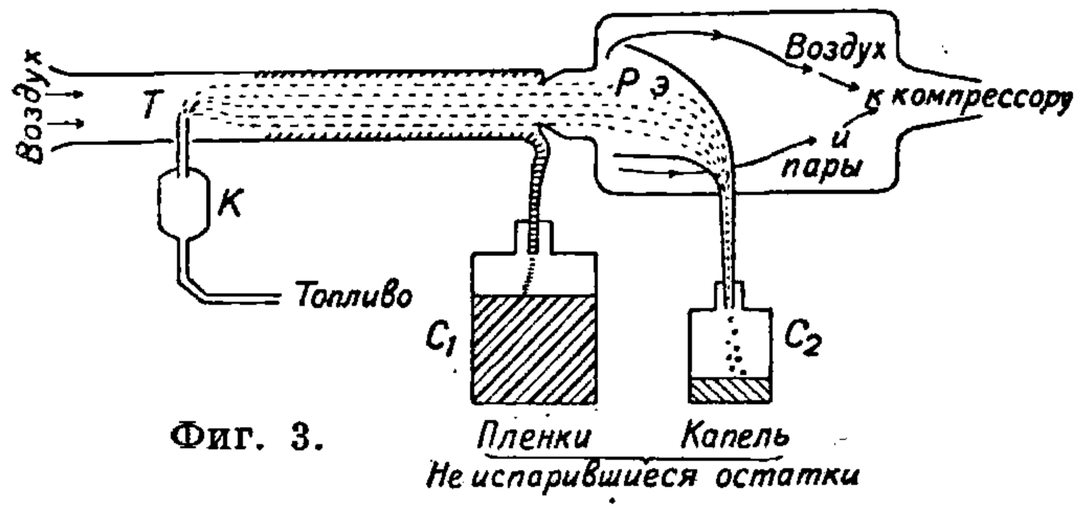


Фиг. 2.

смешения для случая, когда насыщение наступает при $Z = \infty$. Теория Кляфтена очень несовершенна, так как не учитывает целого ряда очень важных факторов (упругости насыщенных паров около капель в зависимости от формы и размеров поверхности последних, неоднородности распыливания, наличия вихревых движений воздуха, И. с пленки и т. д.). Вследствие этого время полного И. капель, по теории Кляфтена, получается слишком малым, что не согласуется с данными, полученными из моторной практики. Таким образом, полной теории динамического И. пока еще нет, и оценку И. приходится давать, лишь основываясь на сравнительных опытных данных.

Для измерения И. с покоящейся жидкости служат особые приборы, называемые испарителями, или эвапорометрами. Самый простой и наиболее распространенный из них—испаритель Вильда (фиг. 1). На чашку неравноплечных весов наливается жидкость (слой толщиной 20 *мм*). При И. чашка делается легче, и уравновешивающий ее груз опускается. Стрелка показывает, сколько жидкости испарилось. Очень распространен для воды испаритель Лермантова (фиг. 2), состоящий из двух соединен. друг с другом сосудов A и B. В испаритель наливают воду, пока не заполнится весь нижний сосуд (воздух из него выходит через трубку $Д$). Затем мехами через трубку $Д$

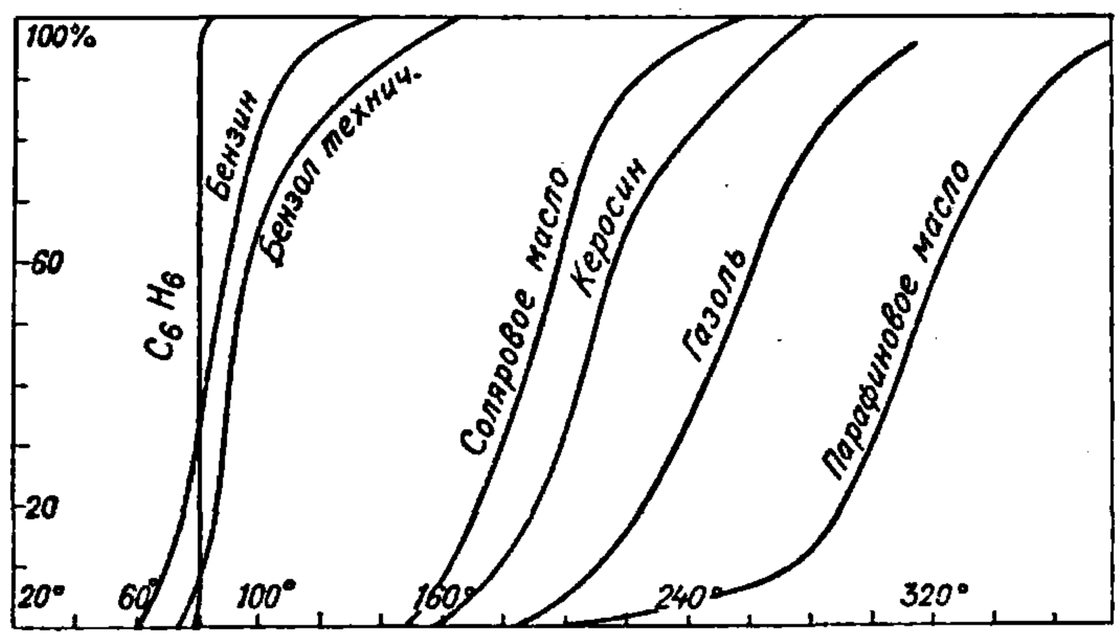
нагнетают в нижний сосуд воздух, этим подымают воду в верхний сосуд и закрывают соединительную трубку пробкой *C*. Вода испаряется в течение определенного времени из верхнего сосуда. Чтобы узнать, сколько испарилось воды, открывают пробку *C*, спускают воду в нижний сосуд и приливают мензуркой дополнительно новую воду, пока в нижнем сосуде не будет достигнут прежний уровень. В лабораторных условиях скорость статич. И. можно измерять или в открытых цилиндрах, по понижению свободного уровня жидкости (метод Винкельмана), или в закрытых цилиндрах по парциальному давлению паров. Для измерения И. в условиях, возможно близких к тем, какие имеются во всасывающих трубопроводах мотора (динамич. И.), НАМИ осуществлена следующая установка (фиг. 3). Жидкое топливо через карбюратор *K* подается в трубу *T*, через которую просасывается с помощью компрессора воздух (со скоростью до 40 *м/ск*). Часть топлива, образующая пленку на стенках трубопровода, в конце последнего улавливается захватными кольцами и стекает в собирательный сосуд C_1. Оставшиеся неиспаренные капли падают на рупорный экран *Рэ* и стекают в собирательный сосуд C_2. Т. о. оказывается возможным уловить всю неиспарившуюся в трубе часть топлива, а отсюда узнать и количество испарившегося топлива.



Фиг. 3.

Во всех случаях И. жидкость может испариться нацело лишь в количестве, к-рое соответствует давлению насыщения. Упругость насыщенного пара является важнейшим фактором для процесса И. Чем больше упругость насыщенных паров при данной $t°$, тем больше для насыщения требуется вещества, тем большее количество жидкости может испариться. Упругость насыщенных паров равняется атмосферному давлению при $t°_{кип.}$. Отсюда, чем ниже $t°_{кип.}$ данной жидкости, тем последняя более «летуча», тем сильнее она испаряется.

Если обратимся к сложным жидкостям, являющимся смесями из целого ряда компонентов (а таковы все наши жидкие топлива—бензины, керосины, нефть, технические или моторные бензолы и т. д.), то они выкипают уже не при одной $t°$, а по фракциям. Так, в техническ. бензоле, представляющем смесь бензола, толуола, ксилола и сольвентнафта, должна была бы сначала, ок. 80° выкипать бензольная фракция, затем, ок. 110°—толуольная, ок. 130°—ксилольная и т. д. На самом же деле кипение начинается действительно ок. 80°, но жидкость при дальнейшем подогреве продолжает все время нагреваться, и кипение идет непрерывно до тех пор, пока все, даже трудно испаряющиеся фракции не улетят. Для характеристики таких сложных жидкостей служит т. н. кривая разгонки (фиг. 4), дающая % по отношению к первоначальному весу (в технике часто к объему) испарившейся части



Фиг. 4.

жидкости до данной $t°$. Законы И. смесей очень сложны и до сего времени не выяснены.

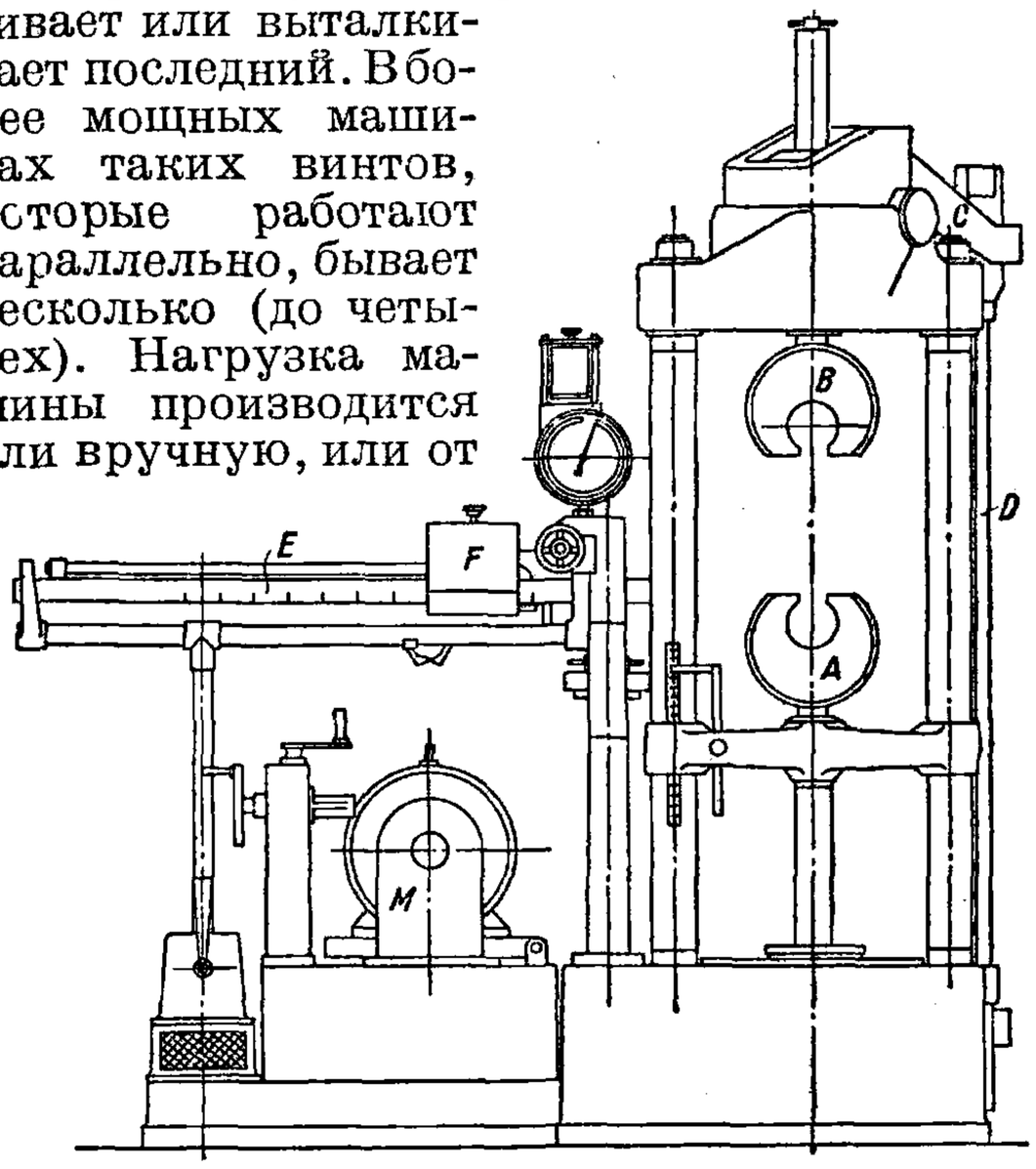
Лит.: Хвольсон О. Д., Курс физики, т. 3, Берлин, 1923; Любославский Г., Основания учения о погоде, П., 1915; Вишняков С. И., Теория карбюрации и расчет карбюраторов, М., 1927; Шулейкин В. В., Кинетическая теория испарения, «Ж», ч. физич., 1928, т. 50, стр. 527; Hansbrand E., Verdampfen, Kondensieren u. Kühleu, 6 Aufl., B., 1918; Klaften Z., «Motorwagen», B., 1921, H. 11, 13, 14; Heinlein F., Experimentelle Untersuchung d. physikalischen Eigenschaften mittlerer u. schwerer Brennstoffe, ibid., 1926, H. 4, 8, 26, 31; Fomin W. und Irissow A., Methoden z. Verdampfungsuntersuchung flüssiger Brennstoffe, ibid., 1929.

А. Ирисов.

ИСПЫТАНИЕ МАТЕРИАЛОВ, экспериментальное определение их механич. и физич. свойств, знание которых необходимо для расчета сооружений и машин. В более узком смысле слова, под И. м. подразумевается механич. испытание с целью выяснения механич. прочности материала. На практике применяются следующие виды механич. испытания: 1) на разрыв (растяжение), 2) на раздробление (сжатие), 3) на изгиб, 4) на загиб, 5) на кручение, 6) на твердость, 7) на усталость, 8) на удар, 9) на износ, 10) на обрабатываемость и 11) технологические пробы. Для различных специальных материалов (бумага, проволока, жесть, ремни, цементы, камень, дерево, дорожные материалы) употребляются, кроме того, особые методы, здесь не упомянутые.

1. Испытание на разрыв. Испытание на разрыв представляет собой основной и наиболее распространенный вид И. м. Для производства испытания служат испытательные машины, назначение к-рых сообщать образцу из испытуемого материала удлинение и одновременно измерять величину растягивающей силы. По механической схеме различаются машины: а) задающие постоянную скорость деформации (например посредством винтового пресса) и б) задающие постоянную скорость нагружения (напр. посредством равномерного перемещения груза по нагружающему рычагу). Отчетливое изучение законов механич. сопротивления материалов возможно только при первой схеме, почему она получила почти исключительное распространение. По техническим приемам работы машины классифицируются в зависимости от устройства а) механизма для производства деформации и б) механизма для измерения силы. Первый обычно бывает или

механическим, в узком смысле слова, или гидравлическим. В первом случае применяется почти исключительно винт, натягиваемый шестерней с червячной передачей; при вращении червяка шестерня, играющая роль гайки винта, втягивает или выталкивает последний. В более мощных машинах таких винтов, которые работают параллельно, бывает несколько (до четырех). Нагрузка машины производится или вручную, или от



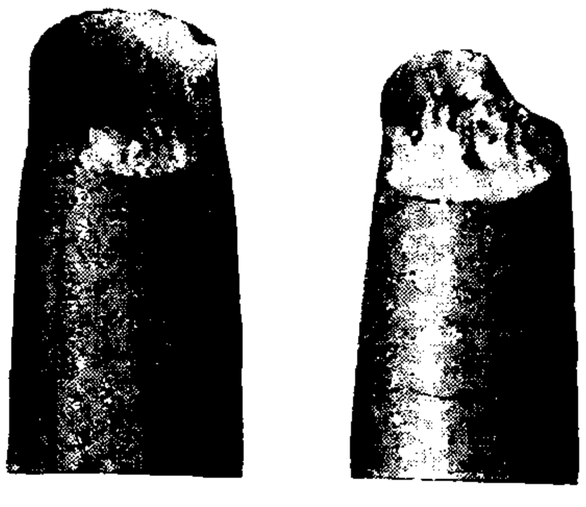
Фиг. 1.

электромотора (в последнем случае непосредственно), или при помощи трансмиссии. Для работы на разных скоростях либо ставят моторы, допускающие достаточно широкое изменение скоростей, либо между мотором и машиной включают специальную переменную передачу. Последняя строится или по принципу фрикционной передачи (европ. система) или по принципу коробки скоростей (америк. система). При наличии механич. двигателя параллельная возможность работы от руки является обязательной для каждой машины, так как пользование зеркальным прибором для измерения упругих деформаций при работе мотора невозможно.

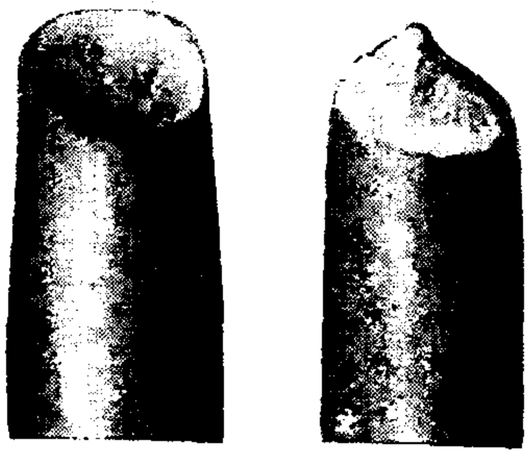
Гидравлическое производство деформаций достигается посредством гидравлического пресса, особенно часто—при машинах большой мощности (свыше 100 *m*). В простейших случаях употребляется простой ручной насос, которым рабочая жидкость (обычно — касторовое масло) нагнетается под поршень машины, с давлением до 200 *atm*. При более крупных установках применяются электромоторы. Гидравлич. привод позволяет работать на аккумуляторах, в к-рых жидкость под определенным рабочим давлением заготовляется впрок. Аккумуляторы бывают гравитационные, паровые и воздушные; последние применяются обычно лишь при отдельных машинах для смягчения толчков насоса, тогда как первые и вторые обслуживают группу машин. В этом случае громоздкие аккумуляторные и насосные установки м. б. вынесены из машинного зала, а управление машинами становится особенно простым и заключается лишь в приоткрывании или закрывании распределительного крана.

Механизм, измеряющий силу, применяется обычно одного из следующих четырех типов: 1) рычаг с грузом, 2) пружинный динамометр (с рычажной передачей и без нее); 3) металлич. манометр; 4) ртутный манометр.

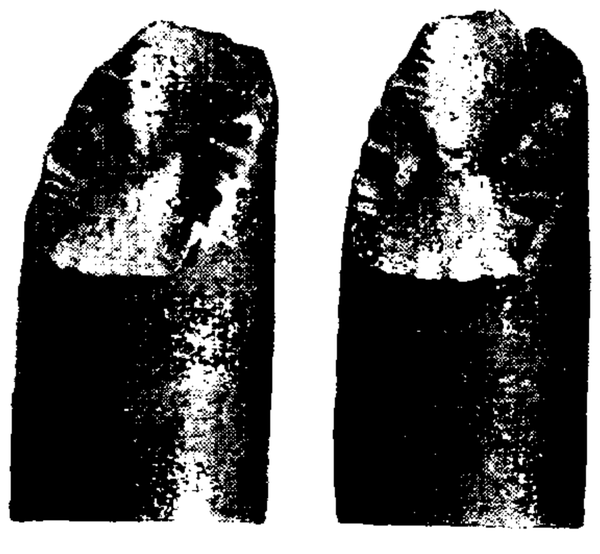
1) Рычаг с грузом применяется в трех видоизменениях: подвижной груз, неподвижный груз и маятниковый рычаг. Подвижной постоянный груз перемещается по длинному плечу снабженного шкалой рычага, на короткий конец которого измеряемая сила действует непосредственно (Мор и Федергаф) или после многократного уменьшения системой промежуточных рычагов (Олсен, Риле, Альфа). Перед каждым отсчетом рычаг приводится в горизонтальное положение, проверяемое язычками, как у десятичных весов, стрелкой с рычажной передачей или уровнем. Груз снабжен указателем с нониусом, по которому берется отсчет шкалы. К этой группе машин относится большинство рычажных машин: русские—А. Гагарина, германские — Мора и Федергафа, Лозенгаузена, английские — Буктона, американские — Олсена. Риле и шведские — Альфа. Большей частью эти машины снабжаются автоматич. приспособлением, устанавливающим подвижной груз в положение равновесия (часовой механизм, электромагнитная связь, фрикционный механизм, переключатель перемещающего груз мотора и т. п.). На фиг. 1 изображена получившая большое распространение рычажная машина Мора и Федергафа (изготовляется силою до 50 *m*). Здесь *A*—нижний захват образца, опускаемый с помощью механич. привода, заключенного в цоколь машины и обслуживаемого мотором *M*; *B*—верхний захват, передающий нагрузку при помощи системы рычагов и тяг *C*, *D* на рычаг со шкалой *E*, по к-рому перемещается уравновешивающий груз *F*. Неподвижный переменный груз остается приложенным к одной и той же точке рычага, но изменяется по величине так, чтобы рычаг становился каждый раз в горизонтальное положение. Груз составляется при этом из десятичного набора гирь, которые вешаются на рычаг в определенной последовательности. Способ этот обладает большой точностью и применяется в наиболее точных машинах Мартенса (фиг. 2), Эмери (Селлерс), Вердера. Машина Эмери (имеется в Механической лаборатории Ленинградского политехнического института) отличается совершенно исключительной чувствительностью, вполне отвечающей точности, с к-рой м. б. измерена сила. Построенная впервые для арсенала Уотертаун близ Бостона, она позволила при испытании разорвать железный стержень диаметром 125 *мм* с измеренным сопротивлением в 328 *m* и вслед за ним конский волос толщиной 0,075 *мм* с сопротивлением в 450 *г*. Маятниковый рычаг измеряет момент уравновешивающего груза посредством изменения угла наклона маятника. При этом сила, действующая на короткое плечо маятника, в малых машинах передается непосредственно от образца, в больших же машинах — уменьшена системой



1

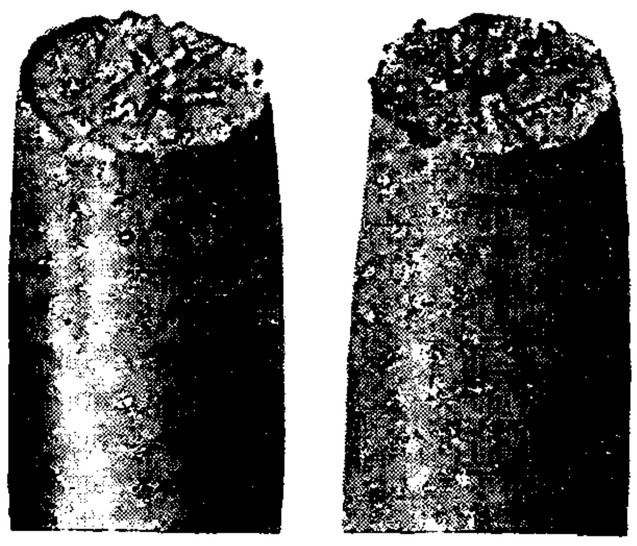


2

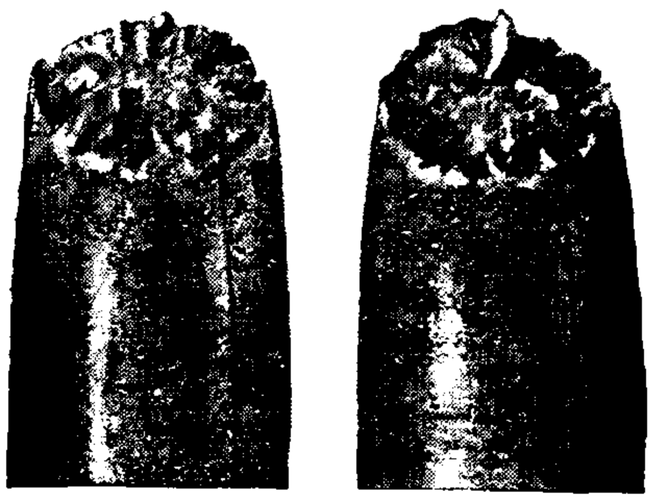


3

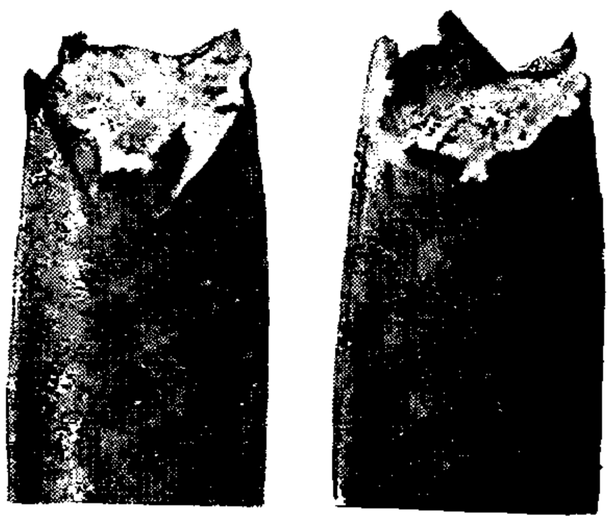
4



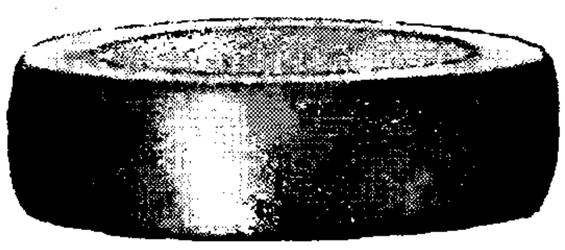
5



6

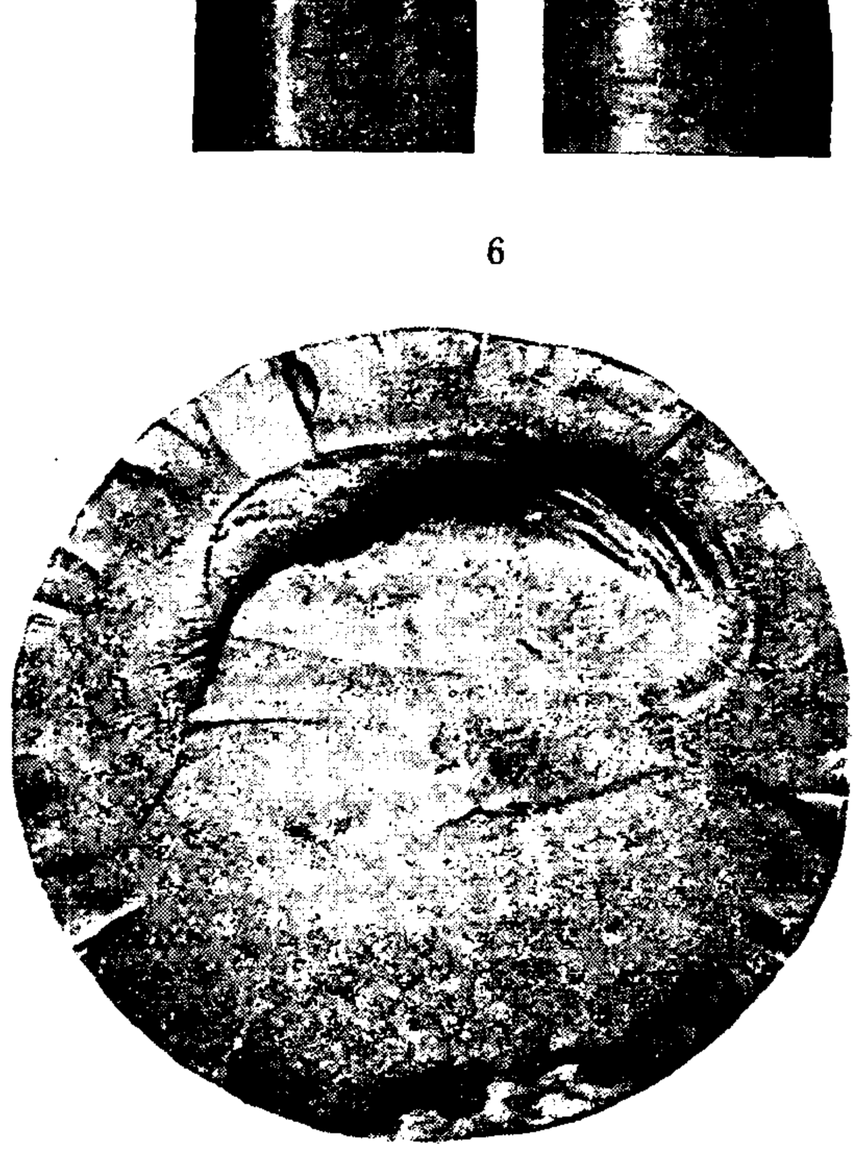


7



8

9



11

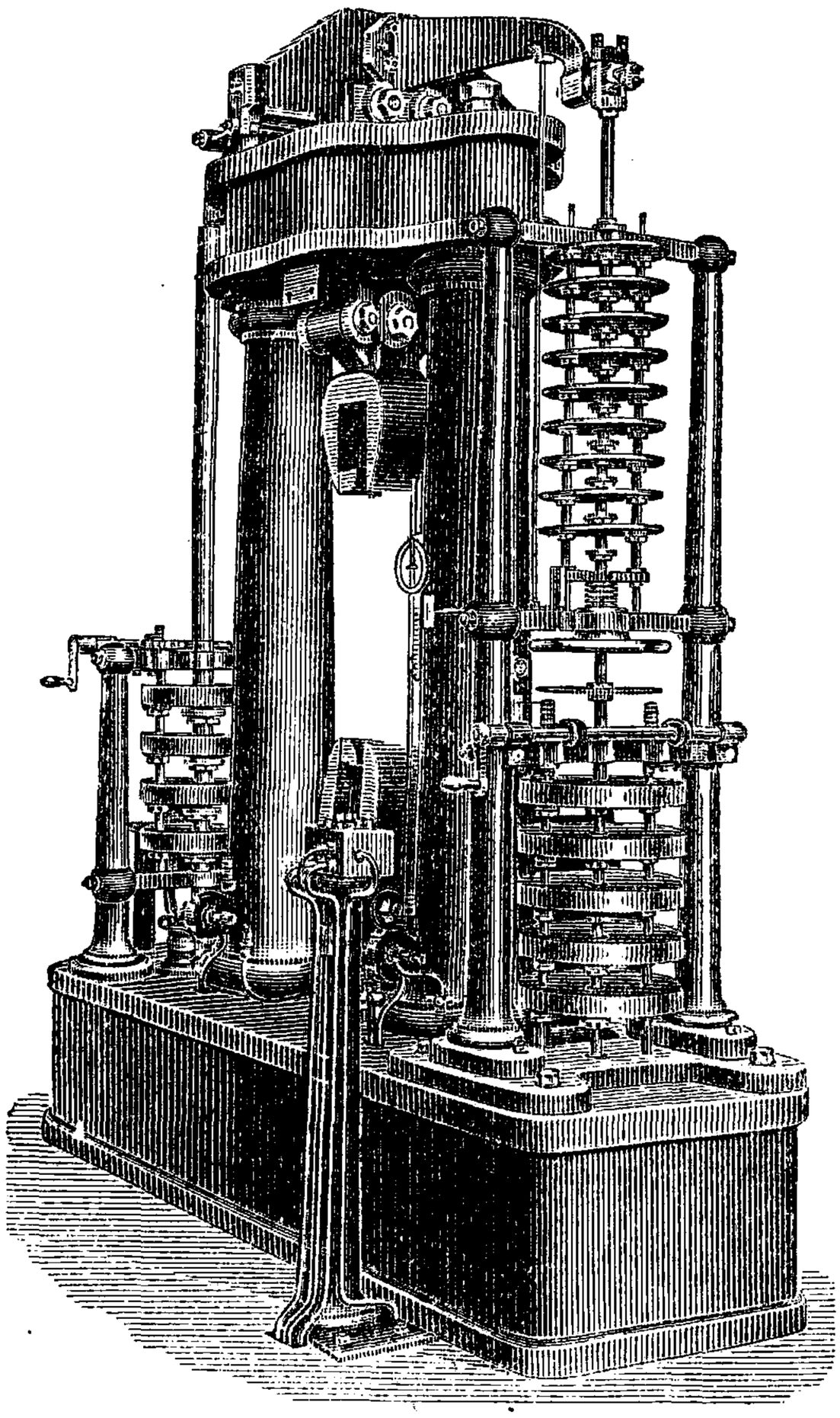
10

12

ТРЕСТ „ГЕОКАРТПРОМ"

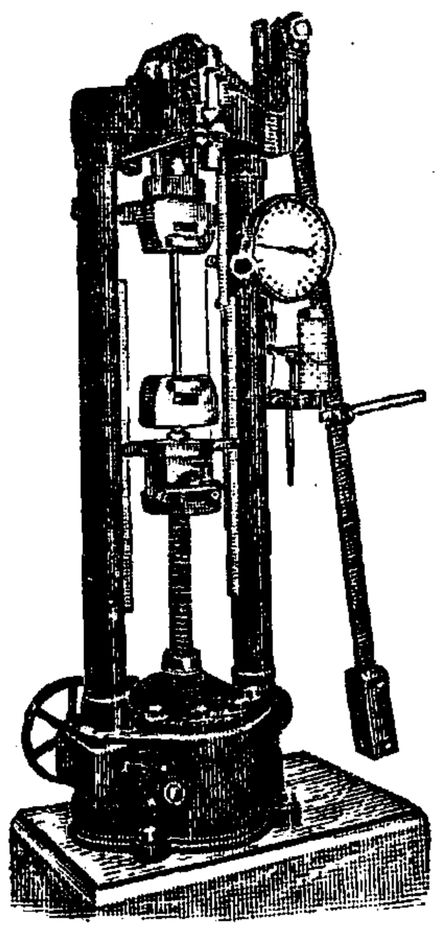
промежуточных рычагов (машины Шоппера—фиг. 3, Польмейера, новейшие машины Мора и Федергафа).

2) Пружинные динамометры обычно применяются лишь для самых малых нагрузок, и только в последнее время



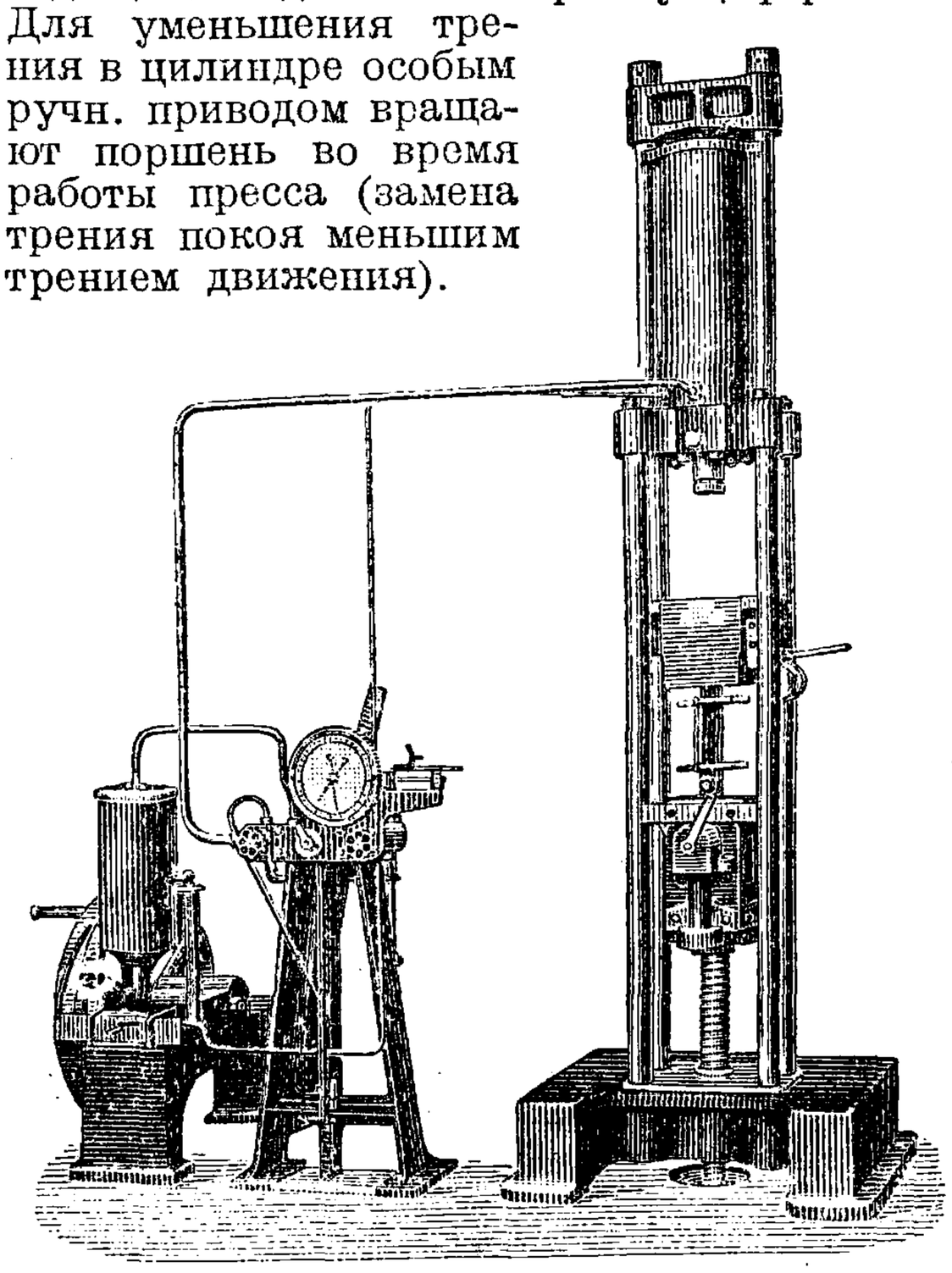
Фиг. 2.

фирма Шпис в Германии использовала их для испытательных машин обыкновенной мощности. Удобство пружинного динамометра состоит в возможности непосредственного отсчета нагрузки в каждый момент испытания; надежность его, однако, меньше, чем рычага с грузом.



Фиг. 3.

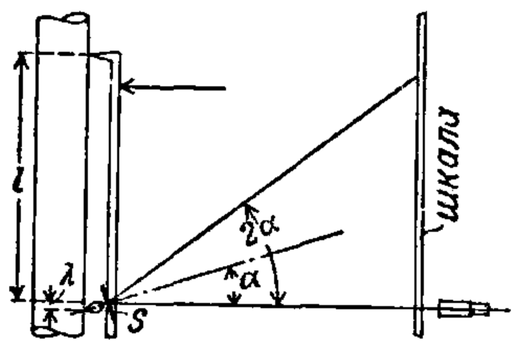
3) Металлические манометры (Бурдона) применяют в испытательных машинах путем непосредственного присоединения к рабочему гидравлическому цилиндру машины, что возможно только в машинах с гидравлич. производством деформаций, и путем включения в механизм особого передаточного органа, превращающего силу механического сопротивления образца в гидростатическое давление. В первом случае манометр измеряет давление жидкости в рабочем цилиндре, которое, будучи умножено на площадь поршня, дает величину усилия, передаваемого на образец (здесь остается неучтенной потеря на трение поршня о стенки цилиндра, достигающая 0,5—1% от нагрузки). При втором способе между захватом машины и манометром ставится особый гидравлическ. трансформатор (Messdose—измерительная коробка), трансформирующий механическое усилие в гидравлич. давление. Он представляет собой (см. *Динамометры*, фиг. 2) низкий гидростатический цилиндр с поршнем, на который непосредственно действует измеряемая сила. Для того чтобы при передаче давления на жидкость не имела места заметная потеря на трение, в нем применен принцип упругой мембраны (металлической или резиновой), перекрывающей зазор между поршнем и стенками цилиндра. Преимущество этого способа измерения нагрузок заключается в непрерывности показаний прибора; недостаток—в затруднительности поверки и контроля, а также в меньшей точности по сравнению с рычажными приборами. Метод предпочтителен в заводской обстановке, при быстрой и интенсивной работе. Кроме трансформаторов прямого действия, в испытательных машинах встречаются и обращенные, превращающие гидростатическое давление рабочего цилиндра в механическое усилие, отклоняющее маятник. На фиг. 4 показана машина Амслера (Швейцария), строящего все свои машины с гидравлич. производством деформаций. Сила измеряется при помощи маятникового манометра, приводящего в движение стрелку циферблата. Для уменьшения трения в цилиндре особым ручн. приводом вращают поршень во время работы пресса (замена трения покоя меньшим трением движения).



Фиг. 4.

4) Ртутные манометры, применимые только для машин с гидравлическим производством деформаций, в последнее время почти совсем вышли из употребления.

Для измерения упругих деформаций, в виду их обыкновенно незначительной величины, требующей точности порядка 10^{-3} *мм*, применяются специальные измерительные приборы. Из них наибольшим распространением пользуется зеркальный прибор Мартенса (фиг. 5). Удлинение образца вызывает поворот прижатой к нему стальной призмочки, к к-рой прикреплено зеркальце S. Угол поворота зеркальца α, пропорциональный (при малых деформациях) удлинению образца λ, измеряется методом Поггендорфа-Гаусса с помощью шкалы и зрительной трубы. Для исключения влияния изгиба к образцу прикрепляют два прибора на диаметрально противоположных его образующих. Обыкновенно цена деления шкалы составляет 0,002 *мм* удлинения.

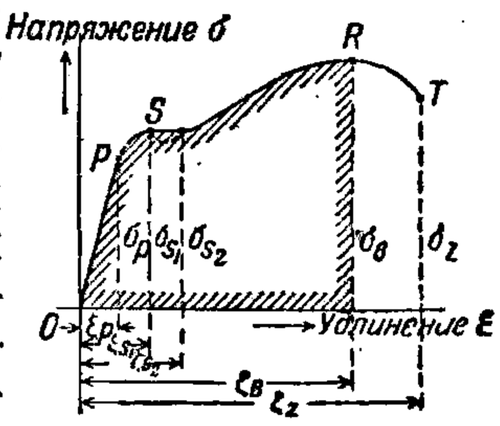


Фиг. 5.

Для той же цели служат: экстенсометры с микроскопами (Юнга), малоудобные по своей тяжести, но простые в обращении; экстенсометры с микрометрическими винтами (кембриджский, Олсена), работающие по нулевому способу (т. е. не дающие непрерывных показаний) и в этом отношении неудобные; экстенсометры с механическ. передачей на стрелку (Кеннеди, Олсен и Риле), доведенные в последнее время (американские типы) до высокого совершенства, свободные от мертвого хода, допускающие быструю установку и дающие точность одного порядка с зеркальным прибором. Экстенсометры, построенные на принципе интерференции света (Менаже, Грюнейзен), измерении электропроводности (Гийери) или радиотехническ. методике (Виддингтон, Генфорд), применяются лишь при научных изысканиях, когда требуется повышенная точность.

Измерение неупругих деформаций производится простыми методами: масштабными линейками, штангенциркулями, простейшими экстенсометрами с механической передачей (Кеннеди) и т. п. В результате испытания строится диаграмма растяжения либо по точкам либо с помощью различных автографических приспособлений, которыми обычно снабжены испытательные машины. По одной оси откладываются относительные удлинения ε (отношение приращения длины образца к его начальной длине), по другой—напряжения σ (отношение растягивающей силы к исходной площади поперечного сечения F_0). Для железа и мягкой стали типовая диаграмма растяжения имеет вид, показанный на фиг. 6. До точки P, по закону Гука, сохраняется пропорциональность между σ и ε (предел пропорциональности); практически до той же точки материал не получает остающихся деформаций (предел упругости). Коэффициент пропорциональности E между напряжениями σ и удлинениями ε образца в формуле $\sigma = E\varepsilon$ носит название модуля упругости, или модуля Юнга. При точке S образец сразу получает значительное остаточное удлинение (1—2%) при постоянном значении силы, т. е. течет (предел текучести, площадка текучести, критическая точка). Иногда (для образцов с плавным переходом от цилиндрической части к головкам) в начале участка текучести появляется зубец, свидетельствующий о неустойчивом повышении напряжения выше предела текучести. При дальнейшем увеличении деформации сопротивление образца снова возрастает (см. *Наклеп*), достигая максимума в точке R (временное сопротивление $\sigma_B = \frac{P_{max}}{F_0}$), после чего начинается образование местного сужения (шейки), сопротивление образца падает, и, наконец, он рвется в точке T. Шейка имеет различный вид в зависимости от рода и качества материала (шкала изломов—вкладн. лист, *1*—*7*).

В отношении пределов упругости и пропорциональности можно говорить об их значениях: а) истинных, недоступных определению, б) приближенных, зависящих от точности приборов, и в) условных, определяемых ради однозначности каким-либо условным способом. Практическое значение имеет лишь последняя группа. Для предела упругости назначается предельная величина остаточного удлинения (от 0,001%, по нормам Международного об-ва испытания материалов, до 0,03%, по нормам лаборатории Круппа), для предела пропорциональности — предельная величина отклонения от прямолинейности (увеличение тангенса угла наклона касательной к оси напряжений на 50% — метод Джонсона, НКПС). Предел текучести ясно выражен только для немногих материалов, для к-рых он имеет физич. характер (мягкая сталь, некоторые сорта латуни после специальной обработки). Для стали появление площадки текучести, как показал Кестер, обусловлено разрывом хрупкой цементитной оболочки зерен, образовавшейся при распадении (при 300—400°) растворенного в феррите углерода. Для остальных металлов на диаграмме растяжения перелом в точке S отсутствует, и определяется условный предел текучести, задаваемый величиной пластической деформации (напр. в Германии 0,02%).



Фиг. 6.

После разрыва образца определяется остаточное удлинение δ, или относительное увеличение расчетной длины l_0 в процентах, и сужение шейки ψ (иногда называемое сжатием), или относительное уменьшение исходной площади поперечного сечения:

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0}; \quad \psi = \frac{F_0 - F}{F_0}.$$

Площадь диаграммы растяжения представляет собой работу деформации, а частное от деления ее на исходный объем образца — удельную работу деформации, которая измеряется в *кгсм* на $см^3$, или в $кг/см^2$. Эта работа почти полностью (за вычетом 5—15%) обращается в тепло, вызывая нагревание образца.

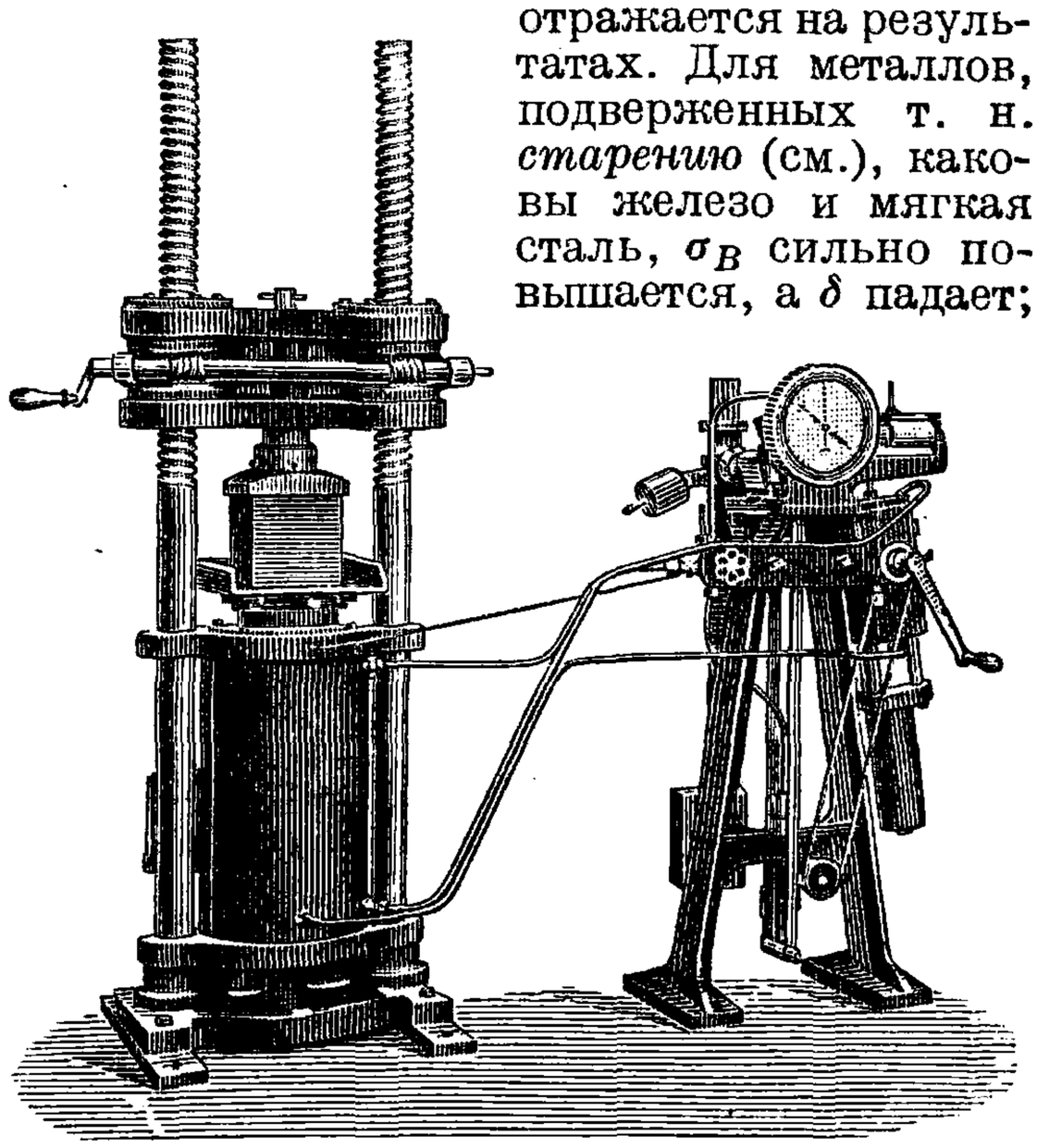
Если построить диаграмму и с т и н н ы х напряжений (т. е. отнесенных не к исходной, а к действительной величине площади сечения образца, то получающаяся кривая показывает непрерывное возрастание до самого разрыва; соответствующее последней точке напряжение называется и с т и н н ы м с о п р о т и в л е н и е м р а з р ы в у и значительно превышает временное сопротивление (до двух раз и более).

Для получения при испытании в разных условиях одинаковых результатов должны быть соблюдены определен. требования, касающиеся размеров и формы образца и скорости испытания. Опытами установлено (закон подобия Барба и Кика), что одинаковые относительные деформации при одинаковых напряжениях получают только геометрически подобные образцы. Поэтому Международное общество испытания материалов установило нормальные типы подобных между собой круглых образцов нескольких размеров; в частности во всех случаях отношение расчетной длины (т. е. той длины, для которой рассчитывается остаточное удлинение) к диаметру принято равным 10. Так как, по Баушингеру, удлинение не изменяется при замене круглых образцов прямоугольными (1:4) равновеликого поперечного сечения, то допускается применение и прямоугольных образцов; условие надлежащего соотношения размеров выражается при этом зависимостью:

$$l_0 = 11{,}3\sqrt{F_0}.$$

При вычислении сужений шейки, как показали Закс и Кунце, для получения одинаковых с круглыми образцами результатов следует измерять толщину поперечного сечения шейки в самом узком ее месте (на середине ширины). Однако, вследствие неоднородности материала и случайных причин даже вполне подобные образцы могут разорваться неодинаково, давая шейку то посередине, то вблизи головки. В последнем случае общее удлинение образца оказывается меньшим, и для получения сравнимых чисел измеряют удлинение условным способом, пересчитывая его на удлинение образца с шейкой посередине, а именно: измеряют относительное удлинение для половины расчетной длины, отсчитывая ее от места разрыва в сторону наиболее удаленной головки; для этого до начала испытания на поверхность образца с помощью делительной машины наносят деления через 0,5—1 *см*.

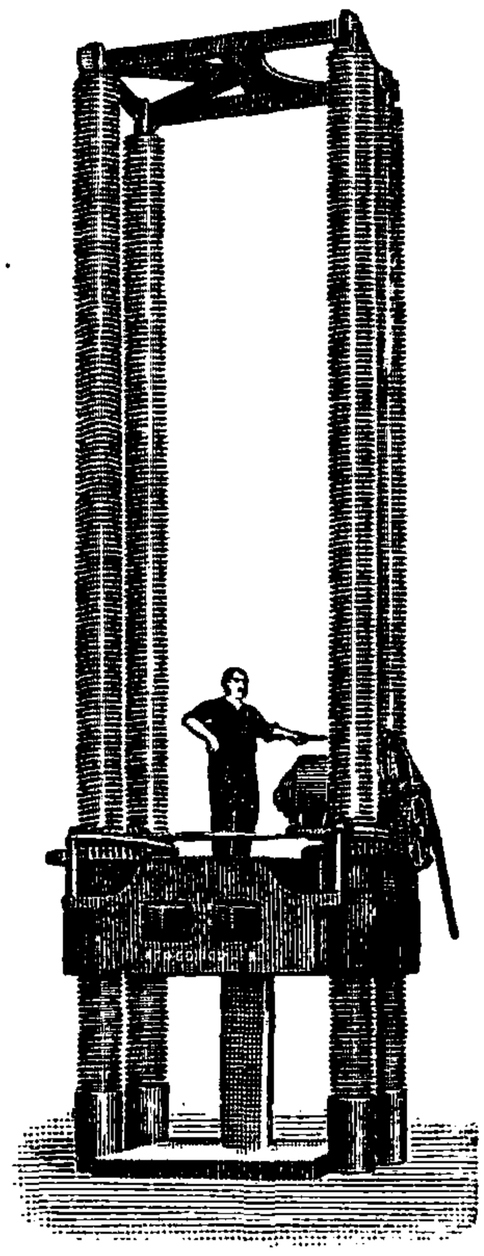
С к о р о с т ь испытания отражается на диаграмме испытания так, что увеличение скорости влечет за собой повышение всей диаграммы в целом. Для легкоплавких металлов (олово, свинец, цинк) это влияние проявляется весьма сильно и может привести к повышению временного сопротивления в несколько раз (например для цинка временное сопротивление при продолжительности испытания в 3 секунды составляет 38 *кг/мм²*, при 20 ч.—7,9 *кг/мм²*). Для большинства же технических материалов влияние скорости в обычных пределах невелико (для стали увеличение скорости с нуля до 1,25% в ск. повышает σ_B на 2,5%; предел текучести повышается значительнее, чем σ_B); тем не менее требование одинаковой скорости нагружения является обязательным (принято не превышать 1 *кг/мм²* в ск.). Сильное уменьшение скорости испытания (разрыв в течение недель и месяцев) также отражается на результатах. Для металлов, подверженных т. н. *старению* (см.), каковы железо и мягкая сталь, σ_B сильно повышается, а δ падает;



Фиг. 7.

для остальных же металлов (цветные металлы), наоборот, σ_B резко понижается и в особо неблагоприятных условиях (нек-рые сорта латуни), как показал Вельтер, может упасть даже до предела текучести.

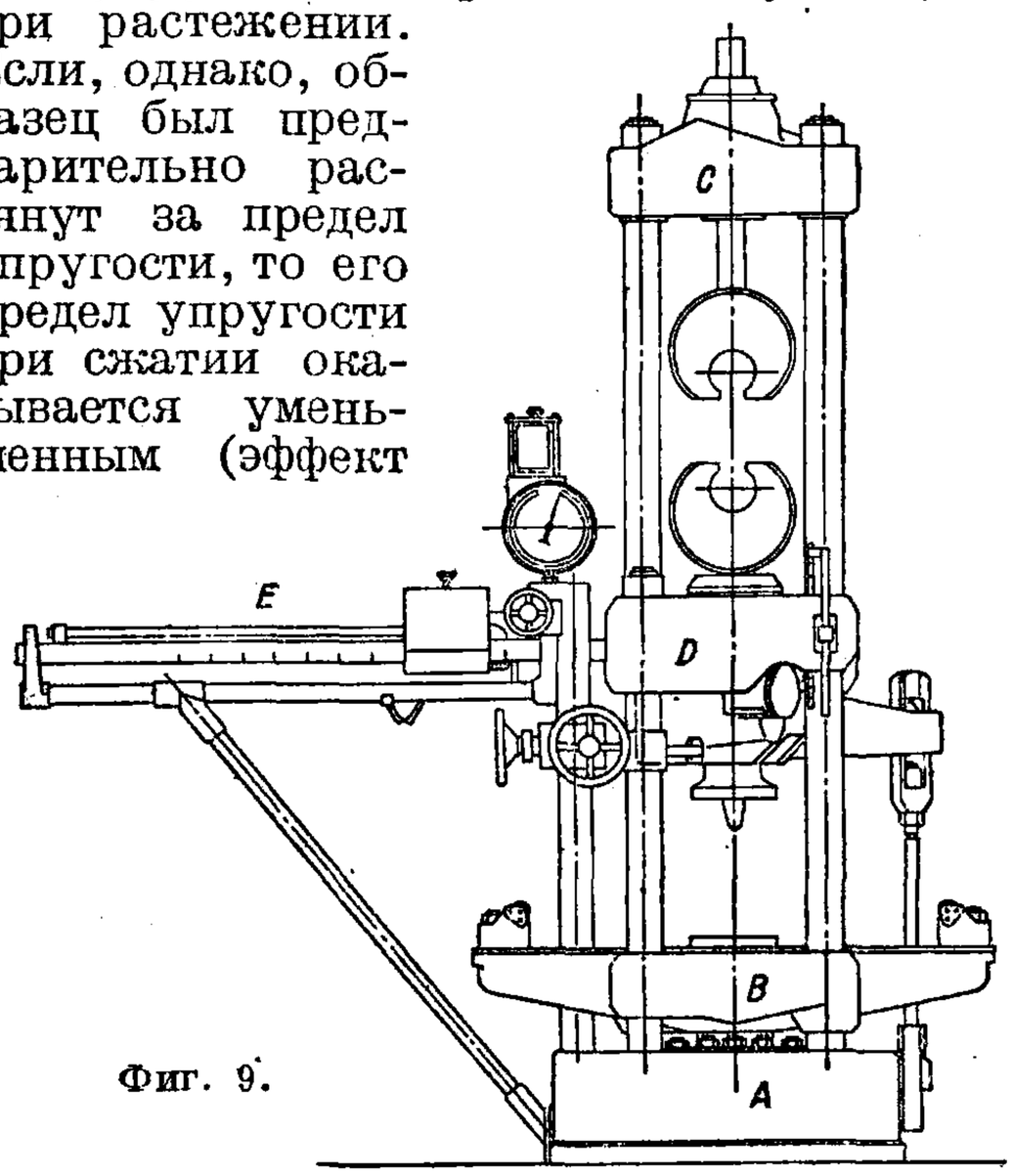
2. Испытание на сжатие. Испытание на сжатие имеет практич. значение лишь для хрупких материалов (чугун, камень), для к-рых изготовление образцов на разрыв и правильная центрировка их в машине затруднительны. И с п ы т а т е л ь н ы е м а ш и н ы для испытания на сжатие представляют собой обычно гидравлич. прессы (напр. пресс Амслера с маятниковым манометром, фиг. 7). Один из самых больших прессов построен Олсеном на 5 000 *т* (фиг. 8) и служит для испытания на раздробление целых столбов каменной кладки или крупных железных мостовых элементов (стержней). Некоторые машины на растяжение (Олсен, Эмери, Гагарин, Риле) позволяют также работать и на сжатие. Универсальные машины (фиг. 9) работают по желанию на растяжение, сжатие и изгиб. Гидравлический цилиндр *A* перемещает вверх балку *B* и связанную с ней поперечину *C*. Площадка *D* посредством системы рычагов передает



Фиг. 8.

направленное на нее снизу вверх усилие взвешивающему рычагу E с передвижным грузом. Образец, помещенный выше D, растягивается, помещенный же ниже—сжимается или изгибается.

Большинство материалов обладает при сжатии теми же модулем упругости, пределом упругости и пределом текучести,что и при растежении. Если, однако, образец был предварительно растянут за предел упругости, то его предел упругости при сжатии оказывается уменьшенным (эффект



Фиг. 9.

Баушингера). Временным сопротивлением, как и при растяжении, называется отношение наибольшей (разрушающей) нагрузки к исходной площади поперечного сечения.

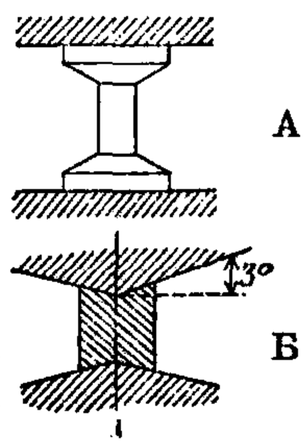
Разрушение при сжатии происходит различными способами. Пластичные материалы только сплющиваются, сохраняя целость (железо—вкладной лист, 8); хрупкие ломаются либо от скалывающих напряжений (чугун—вкладной лист, 9, а также каменные и бетонные кубики, которые дают при изломе две сходящиеся вершинами пирамидки) либо от деформации поперечного расширения (те же кубики при наличии парафиновой смазки по плоскостям соприкасания с досками пресса). Особый вид испытания на сжатие составляет всестороннее (гидростатическое) давление. При таком испытании достаточно однородные материалы не разрушаются (см. *Прочность*), а в случае неравенства главных сжимающих напряжений хрупкие материалы (мрамор, песчаник в опытах Кармана) становятся пластическими и обнаруживают под микроскопом в своих зернах линии сдвигов.

Так как во избежание продольного *изгиба* (см.) отношение высоты h образца к его диаметру d не д. б. больше 4 для хрупких и 2,5 для пластичных материалов, то трение поверхностей образца о доски пресса, создавая фиктивное увеличение прочности, тем большее, чем короче и толще образец, оказывает существенное влияние на результаты по формуле:

$$R' = R + A\frac{d}{h},$$

где A и R — постоянные (Закс); образец при сжатии принимает бочкообразную форму (вкладной лист, 8). Для исключения этого влияния предложено три способа: а) производя испытание сериями при разных $\frac{d}{h}$, экстраполируют результат на $\frac{d}{h} = \infty$; б) применяют образцы, имеющие форму фиг. 10, А (Трапезников); в) придают образцам и доскам пресса форму конич. поверхностей (фиг. 10, Б), образующие к-рых наклонены к плоскости поперечного сечения под углом трения (ок. 3° при наличии смазки, Зибель). При этих предосторожностях диаграмма сжатия для одного и того же металла совпадает с диаграммой растяжения, если в обоих случаях на одной оси откладывать истинные напряжения, а на другой—относительные деформации в виде отношения двух площадей поперечных сечений до и после деформации, ставя в числитель ту, которая меньше (Закс).

3. Испытание на изгиб. Это испытание производится или на специальных машинах (Амслера и др.) или на универсальных машинах (см. выше) и имеет практич. значение лишь для хрупких материалов (чугун, закаленная сталь, камень). В результате испытания определяется условное временное сопротивление на изгиб по формуле: $\sigma = \frac{M}{W}$, где M—наибольший изгибающий момент, а W—момент сопротивления исходного поперечного сечения образца; условность определения вытекает из неприменимости ф-лы за пределом пропорциональности. Для точного вычисления напряжений необходимо учесть различную форму диаграмм растяжения и сжатия (Бах).



Фиг. 10.

Для хрупких материалов, у которых сопротивление разрыву ниже сопротивления раздроблению (чугун, камень), испытание на изгиб заменяет испытание на растяжение, имея преимущество большей простоты образцов и меньшей мощности машин.

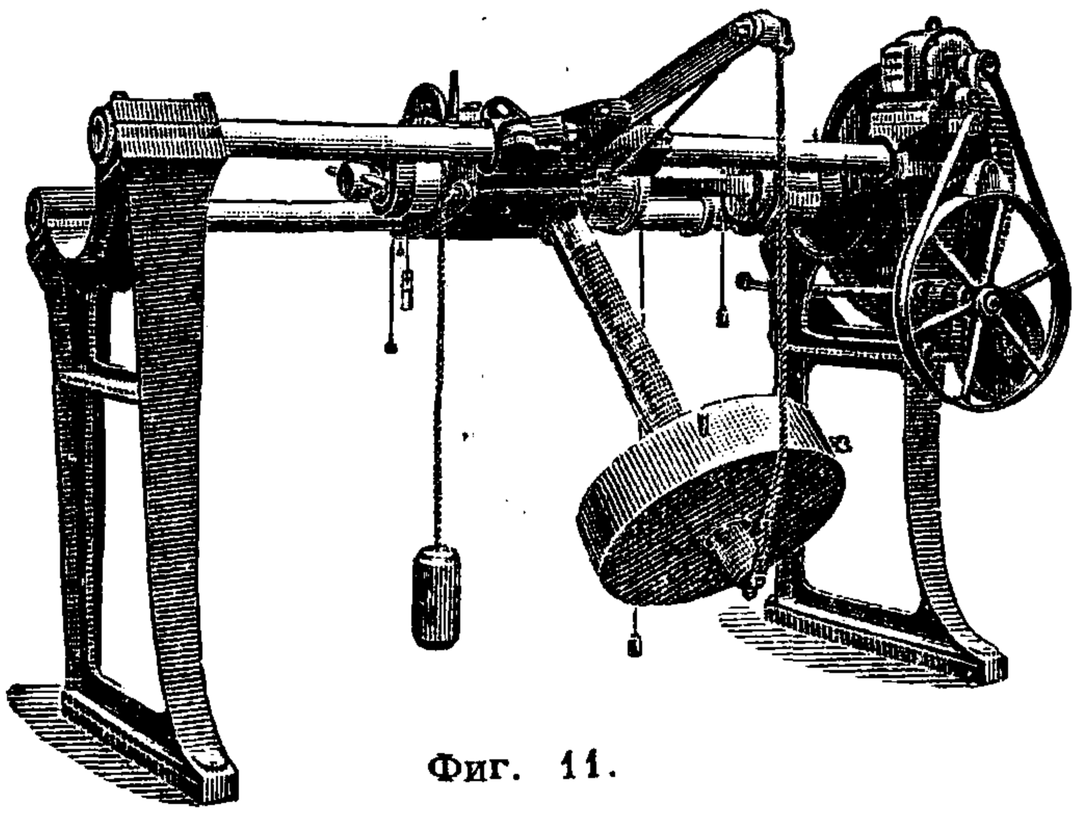
Получение однозначных результатов требует соблюдения закона подобия. Для чугуна международные нормы устанавливают следующую зависимость между пролетом l и поперечным сечением F образца:

$$l = 33{,}3\sqrt{F}.$$

4. Испытание на кручение. Это испытание применяется редко. Машины для него обычно имеют горизонтальное расположение образца (фиг. 11), закручиваемого вручную или от привода. Скручивающий момент M измеряется по углу отклонения тяжелого маятника, ось привеса которого совпадает с осью образца; угол закручивания—по разности углов поворота обеих головок образца. Условное временное сопротивление на кручение определяется по той же ф-ле, что и при изгибе, где M означает наибольший скручивающий момент, а W—полярный момент сопротивления. Материалы, у к-рых сопротивление разрыву меньше сопротивления скалыванию (напр. чугун), ломаются при кручении

по винтовой линии (вкладной лист, *10*), т. е. по траектории главных напряжений; при обратном соотношении разрушение идет по плоскости, перпендикулярной к оси образца.

5. Испытание на срезывание. Испытание на срезывание не м. б. произведено в чистом виде, всегда сопровождаясь побочным явле-



Фиг. 11.

нием изгиба. Обычно это испытание производится на двойное перерезывание; временное сопротивление на срезывание σ_c условно вычисляется по ф-ле $\sigma_c = \frac{P}{2F_0}$, где P—перерезывающая сила и F_0 — поперечное сечение образца. Определение сопротивления срезыванию имеет особенное значение для таких анизотропных материалов (дерево), у к-рых оно значительно понижено (скалывание вдоль волокон).

6. Испытание на твердость. Понятие твердости, как физич. величины, до сих пор не установлено. Поэтому ее определение заменяется условными технологическ. методами, к-рых применяется несколько.

Статические методы. а) Проба Бринеля заключается во вдавливании в образец стального шарика определенного диаметра D под определенной нагрузкой P, в измерении диаметра отпечатка d и вычислении среднего напряжения, приходящегося на 1 *мм*² поверхности отпечатка (твердость по Бринелю—H_{Br}):

$$H_{Br} = \frac{2P}{\pi D\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)}.$$

Для получения твердости по Мейеру (H_M) делят силу на площадь проекции отпечатка:

$$H_M = \frac{4P}{\pi d^2}.$$

Между твердостью по Мейеру и диаметром отпечатка существует зависимость, выражаемая показательной ф-ией:

$$H_M = H_0 \left(\frac{d}{D}\right)^{n-2},$$

где H_0 и n—постоянные. По H_{Br} можно грубо вычислить и временное сопротивление σ_B стали по эмпирич. ф-ле: $\sigma_B = 0{,}36\ H_{Br}$ для углеродистых и $\sigma_B\ 0{,}34 H_{Br}$ для хромоникелевых сталей. Неудобство пробы Бринеля заключается: 1) в необходимости двух раздельных операций нагружения и измерения диаметра; 2) в невозможности измерения твердости закаленных сталей; 3) в порче поверхности испытываемого предмета. Эти недостатки устранены в следующей пробе.

б) Твердость по Роквелу. В исследуемый предмет вдавливается стальной шарик диаметром $^1/_{16}$ дм. (1,5 *мм*) или алмазный конус с углом при вершине в 120°, сначала при нагрузке в 10 *кг*, потом в 100 (или 150) *кг*. Разность углублений, произведенных вторым и первым нагружением, измеряется автоматически и отсчитывается по циферблату стрелкой в условных единицах дающих число твердости по Роквелу с помощью одной только операции в течение 6 ск. Остающиеся на предмете отпечатки мало заметны. Измерение эффекта разности двух грузов позволяет не заботиться о состоянии поверхности. Алмазный конус допускает испытание закаленной стали любой твердости.

в) Твердость по Викерсу. Вдавливается алмазная четырехгранная пирамида (угол 136°) под нагрузкой в 50 *кг* и измеряется диагональ полученного квадратного отпечатка. За число твердости принимается отношение нагрузки к поверхности отпечатка, прочитываемое по особым таблицам. Получающиеся числа совпадают с числами Бринеля. Специальная машина позволяет быстро произвести отпечаток с помощью ножной педали, опустить столик с предметом, подвинуть микроскоп с микрометром и произвести измерение диагонали.

г) Твердость по Герберту. На отшлифованную поверхность образца ставится подковообразный (весом 2—4 *кг*) маятник, опирающийся с помощью стального или алмазного шарика диаметром 1 *мм*; ц. т. маятника лежит на 0,1 *мм* ниже центра шарика. Маятнику сообщают легкие качания и измеряют с помощью секундомера продолжительность 10 полукачаний, к-рая и принимается за число твердости по Герберту—H_H. Чем мягче материал, тем меньше радиус кривизны сделанного в нем шариком отпечатка и тем короче период колебания шарового маятника. Для стекла $H_H = 100$. Числа H_H не пропорциональны H_{Br}, но располагают металлы в тот же ряд. Для перевода на шкалу Бринеля служат формулы:

$$H_{Br} = 10 H_H \quad \text{для} \quad H_H > 33{,}3;$$
$$H_{Br} = 0{,}3 H_H \quad \text{»} \quad H_H < 33{,}3.$$

Отпечатки при пробе Герберта совсем незаметны на-глаз.

д) Твердость по Мартенсу определяется на особом приборе (склерометре) с помощью царапания поверхности образца алмазным конусообразным (угол 90°) резцом; ширина черты измеряется посредством микроскопа; за число твердости по Мартенсу принимается нагрузка в *г* (определяемая интерполированием между двумя опытными нагрузками), при которой ширина черты получается в 0,01 *мм*. Твердость по Мартенсу отличается от всех упомянутых выше тем, что в основу ее положен процесс резания, а не пластич. деформации. Этим способом можно измерять различную твердость отдельных составляющих сплава (фаз). Твердость по Мартенсу, кроме того,

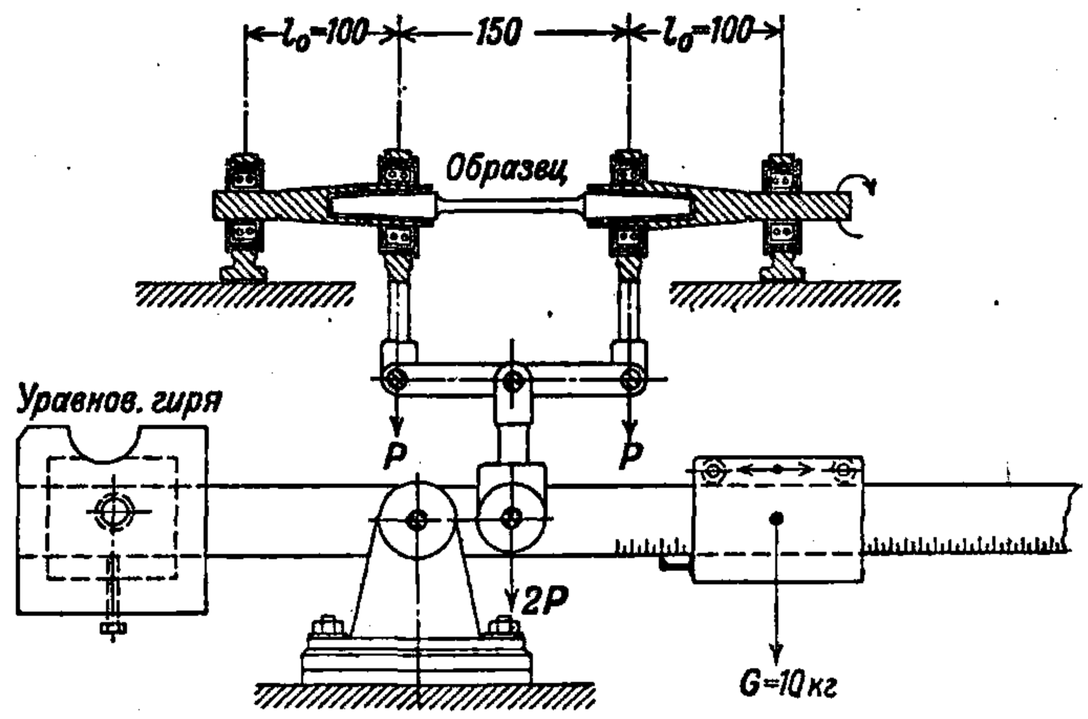
не увеличивается от наклепа, в противоположность H_{Br} и др.

Динамические методы. Они имеют преимущество легкого и простого оборудования, но дают не сравнимые со статическими и не всегда достаточно устойчивые числа. а) Метод отскакивания сводится к измерению относительной высоты отскакивания стального шарика, падающего на исследуемую поверхность: чем мягче металл, тем больше работа пластич. деформации и тем меньше часть энергии, принимающая потенциальную форму и обусловливающая высоту подскакивания. В склероскопе Шора падает маленькая баба (2,5 *г*) с алмазным наконечником. Высота отскакивания измеряется на-глаз в условных единицах по шкале Шора, для которой 100-е деление отвечает закаленной стали.

б) Метод отпечатка аналогичен пробе Бринеля. На образец падает с определенной высоты небольшая баба с шариком на конце (копер Вюста, Николаева), оставляя отпечаток, диаметр к-рого измеряется под микроскопом. Отношение работы деформации к вытесненному объему отпечатка (для черных металлов) не зависит от энергии удара и диаметра шарика и выражает динамическую твердость по Мейеру (в *кг/мм*²); со статич. твердостью она не совпадает. Часто стараются использовать ударные приборы для получения статической твердости по Бринелю; по существу, это недостижимо, но с некоторым приближением осуществляется при условии работы при одной высоте падения и составления эмпирич. таблиц для перехода от диаметров ударных отпечатков к твердостям по Бринелю. Пружинные ударники (Бауман, Шоппер) сообщают бабе начальный толчок действием пружины. Молотки для измерения твердости (Польди-гютте) производят удар произвольной силы одновременно по образцу и эталонному материалу; твердость вычисляется (очень приближенно) из сравнения диаметров обоих отпечатков.

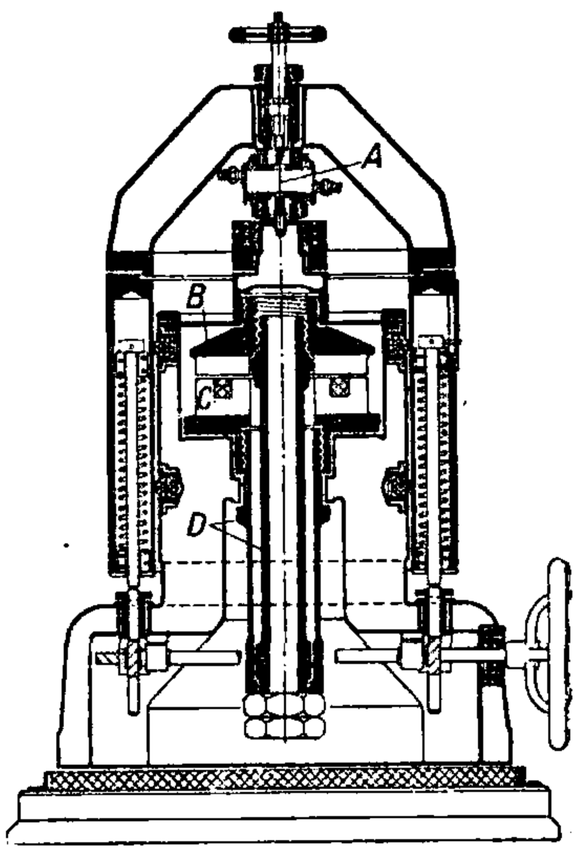
7. Испытание на усталость. Усталостью материала называется хрупкое разрушение его под действием большого числа переменных нагрузок, значительно меньших, чем временное сопротивление. Однократный переход напряжения от наименьшего к наибольшему и обратно называется циклом; если крайние напряжения в цикле равны и противоположны по знаку, цикл называется симметричным. Алгебраич. разность крайних напряжений в цикле называется амплитудой, или интервалом, цикла. Чем меньше амплитуда, тем больше число циклов N, приводящее к разрушению образца; при приближении N к бесконечности (практически к 2—10 млн.) амплитуда стремится к определенному пределу. Отвечающее последнему наибольшее крайнее напряжение в цикле называется пределом усталости (выносливости) σ_f.

Машины для испытания на усталость устраиваются двух главных типов: на изгиб и на растяжение-сжатие. В машине Шенка, работающей на изгиб, образец, снабженный наконечниками, вращается электромотором, оставаясь все время под нагрузкой двух симметричных вертикальных сил (фиг. 12), сообщающих ему круговой изгиб (с постоянным моментом). Величина нагрузки P м. б. изменяема перемещением рабочего груза по рычагу. Каждая точка поверхности образца за время одного оборота проходит через полный симметричный цикл напряжений. Машина снабжена



Фиг. 12.

приспособлениями для измерения: 1) прогибов под грузами (часы Цейсса); 2) вращающего момента (по реакции на статор мотора, подвешенный по типу маятника); и 3) темп-ры образца (термопара). Для машин этой группы часто применяют также простой изгиб консольного образца (Альфа, Амслер, Олсен). Машина Шенка-Ганемана, которая работает на растяжение-сжатие (фиг. 13), построена по принципу резонанса, впервые примененном для этой цели Гопкинсом. Образец A, неподвижно укрепленный верхним концом, несет на нижнем тяжелый груз B, служащий якорем электромагнита C. Переменный ток, питающий электромагнит, раскачивает якорь и в случае резонанса его частоты с частотой (500 пер/ск.) собственных колебаний механич. системы, состоящей из образца, якоря и связанных с ними двух упругих стальных труб D, доводит амплитуды напряжений в образце до максимума. Напряжения в образце определяют посредством измерения (под микроскопом) упругой его деформации. Другие машины (Стентон и Берстау, Рейнольдс и Смит) строятся по принципу использования сил инерции движущегося взад и вперед противовеса; они часто дают ошибочные показания вследствие побочных напряжений, вызываемых сотрясениями. Строятся также машины на кручение (Лозенгаузен, Шенк, Фёпль-Буземан), на повторный изгиб без вращения (фирма MAN) и др. Самое испытание отнимает всегда много времени (порядка недели) и требует расхода



Фиг. 13.

от 8 до 10 образцов, ломаемых при различных нагрузках, для возможности построения диаграммы: амплитуда напряжений—число циклов разрушения.

Изломы усталости всегда типичны по виду (вкладной лист, *11*) и обычно состоят из очень гладкой волокнистой зоны усталости и из зоны неизмененного кристаллич. сложения. Несмотря на кажущееся структурное различие, в действительности зерно металла не меняется, как это легко обнаружить на шлифах, и не происходит, как думали раньше, никакой рекристаллизации. Под действием переменных напряжений, которые в отдельных точках вследствие неоднородности материала выходят за предел упругости, появляются местные остающиеся деформации; накопление последних (вкладной лист, *12*) приводит к трещине, которая постепенно распространяется вглубь сечения и вызывает излом. Поэтому одна из обычных причин изломов усталости—концентрация напряжений вблизи мест резких изменений формы изделия (канавка для шпонок, крутые выкружки сопряжений и т. п.).

Установить постоянную связь предела усталости с другими механич. свойствами не удается. Ближе других σ_f связано с твердостью по Бринелю, отчасти—с временным сопротивлением (σ_f составляет 0,36—0,68 от σ_B, Мур и Коммерс). По отношению к пределу упругости σ_f оказывается то ниже, то выше и даже превышает иногда предел текучести (мягкое железо, медь), что естественно, т. к. в циклич. состоянии устанавливается свой особый предел упругости (текучести), отличный от статического. На этом основаны ускоренные способы определения σ_f: а) при испытании изгибом измеряют с большой точностью прогиб конца образца на ходу машины при все возрастающих нагрузках, наблюдая момент отклонения от пропорциональности (Гаф); б) измеряют темп-ру образца при возрастающих нагрузках и устанавливают момент резкого увеличения нагревания (Мур и Коммерс, Стромейер); в) измеряют рассеяние энергии, приходящееся на один цикл (площадь петли гистерезиса), и определяют момент резкого его возрастания (Лер). Все эти способы дают надежные результаты лишь для не особенно твердых, и притом черных, металлов. При несимметричных циклах величина безопасного интервала усталости уменьшается по мере отклонения среднего напряжения в цикле от нуля и стремится к нулю при приближении крайнего напряжения к временному сопротивлению. Зависимость предела усталости σ_{max} от отношения крайних напряжений $n = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$ в несимметричном цикле, по Муру и Коммерсу, выражается ф-лой:

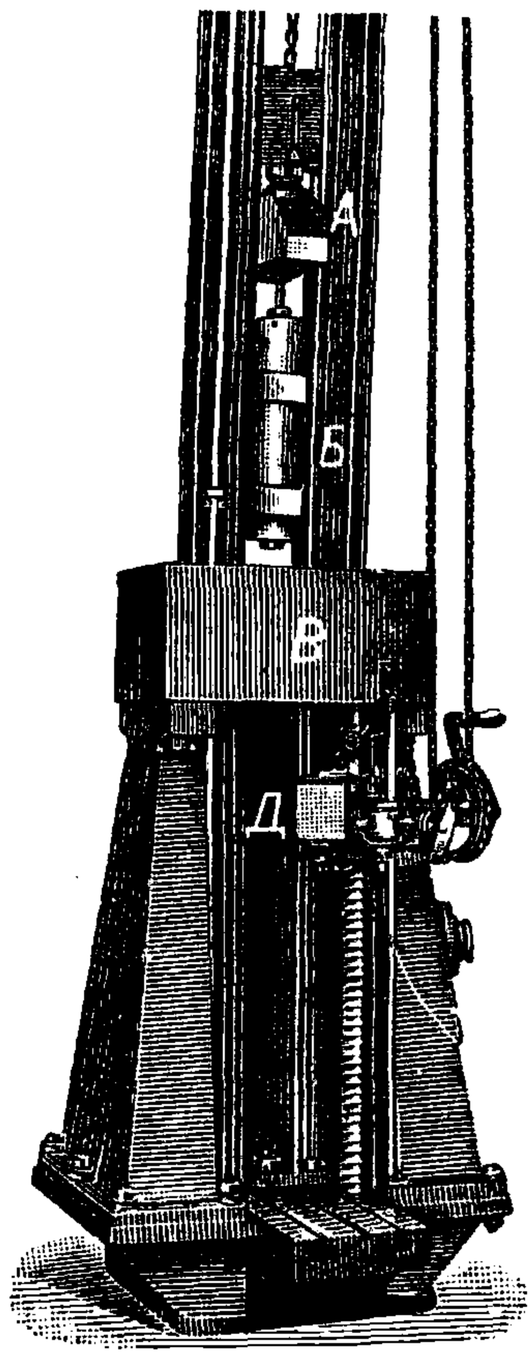
$$\sigma_{max} = \sigma_f \frac{3}{2-n},$$

где σ_f — предел усталости симметричного цикла.

На предел усталости оказывает некоторое влияние скорость испытания. Как и при всяком испытании, повышение скорости уменьшает деформацию, а следовательно, и вред от нагрузки. Влияние скорости начинает чувствоваться (для железа), начиная с 4 000 циклов в мин.; при 60 000 циклов предел усталости повышается на 7,5% (Дженкин).

Для испытания на усталость при ударных скоростях строятся специальные машины (Круппа, Стентона), работающие на повторный ударный изгиб в сменяющихся направлениях (образцы на двух опорах с надрезом посередине). Эти испытания не дают ничего нового, так как при большой величине энергии каждого удара они приближаются по результатам к ударной пробе, а при очень малой—к статической усталости.

8. Испытание на удар. Оно производится или на разрыв или на изгиб (реже на сжатие). Для испытания на разрыв строятся б. ч. вертикальные копры. Копер Амслера (фиг. 14) состоит из двух направляющих, по к-рым движется система из двух баб *А* и *Б*, связанных между собой образцом. Верхняя баба, имеющая заплечики, ударяется ими о массивную наковальню *В* и останавливается; нижняя баба проходит через отверстие наковальни свободно и разрывает образец, расходуя на работу разрыва свою живую силу. Расход определяется с помощью измерения скоростей бабы до и после разрыва, для чего баба *Б* снабжена карандашом, чертящим при падении диаграмму на быстро вращающемся цилиндре *Д*. Измеренную работу деформации делят на рабочий объем образца и получаемую удельную работу деформации (в *кгм/см*³) сравнивают с такой же работой при статич. испытании геометрически подобного образца; отношение первой ко второй для материалов, не обладающих ударной хрупкостью, не д. б. меньше 1 (обычно 1,10—1,60).

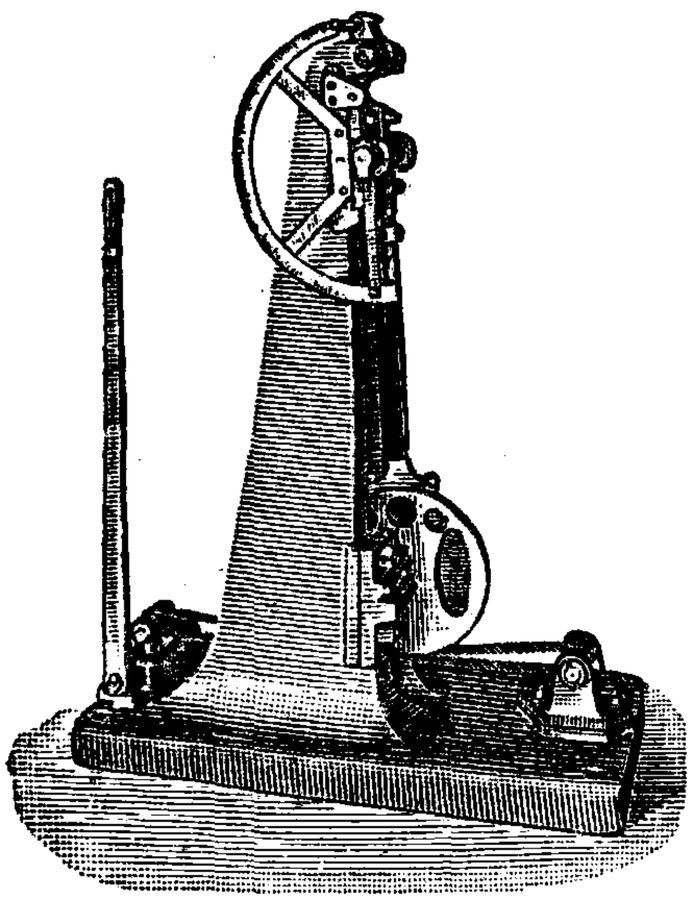


Фиг. 14.

Измерение сил при ударе представляет большие трудности и в лабораторную практику еще не вошло. В отдельных исследованиях применялись следующие способы: а) кинематический — двукратное дифференцирование кривой, изображающей путь бабы в функции от времени; полученное ускорение (отрицательное), умноженное на массу бабы, дает силу удара; б) динамометрический—применение упругих динамометров (две прижимаемые друг к другу линзы, дающие кольца Ньютона, диаметр которых зависит от давления, или пьезокварцевая пластинка, заряд к-рой пропорционален силе) или неупругих (медные цилиндрики-крешеры, степень

осадки к-рых зависит от наибольшего мгновенного усилия). Показания упругих динамометров часто искажаются вибрациями; неупругие же заключают в себе неустранимую ошибку, происходящую от распространения статич. тарирования на динамич. процессы. В результате этих измерений всегда оказывается, что динамическ. временное сопротивление выше статического (превышение до 100%); предел текучести также повышен, и притом больше, чем временное сопротивление, на 20—60%. Удлинение или равно или больше статического; сужение шейки почти такое же. Характерная ударная хрупкость проявляется при этом испытании у очень немногих металлов (например у стали с содержанием фосфора > 0,10%).

Испытание на изгиб (излом) надрезанных образцов имеет крупные преимущества: оно требует более дешевых и простых машин и позволяет обнаружить опасную хрупкость там, где испытание на разрыв дает хорошие результаты. Для испытания на изгиб употребляются маятниковые копры (фиг. 15). Тяжелый маятник, падая, ударяет по образцу, лежащему на двух опорах (в копре Изода образец зажат одним концом в тиски и получает удар по другому), и ломает его, израсходованная живая сила измеряется по разности потенциальных энергий маятника до начала падения и при окончании взлета после излома: $G\ (H-h)$, где G—вес маятника, H и h—начальная и конечная высоты его ц. т. Образец имеет форму прямоугольного бруска, снабженного надрезом до половины высоты в средней части, со стороны противоположной удару. Форма и размеры образца должны быть стандартизованы; однако, до сих пор применяется несколько разных типов (Шарпи, Фремона, Менаже, Германск. общества испытания материалов и др.).



Фиг. 15.

За меру ударной вязкости принимается частное от деления работы деформации на рабочее поперечное сечение образца (за вычетом надреза) и выражается в *кгм/см²*. Появление хрупкого излома объясняется тем, что диаграмма растяжения волокон, прилегающих к надрезу, и в особенности предел текучести сильно повышены под влиянием надреза, создающего резкий градиент напряжений и тем затрудняющего деформацию, и под влиянием скорости; истинное же сопротивление на разрыв не зависит от этих факторов и при достаточно интенсивном действии последних может оказаться ниже сопротивления пластич. деформации (предела текучести). Благодаря этому, на появление хрупкости влияют: а) температура образца, понижение к-рой повышает предел текучести, увеличивая внутреннее трение, и тем облегчает наступление хрупкости; б) скорость удара, увеличение к-рой также повышает предел текучести; в) форма образца, т. к. широкие образцы с затрудненной поперечной деформацией легче приводят к хрупкому излому, чем узкие. Хрупкий излом при комнатной темп-ре обнаруживают материалы, подвергнутые ненадлежащей термич. и механич. обработке, напр. крупнокристаллич. железо (рекристаллизация после т. н. критического наклепа), состаренное железо (получившее деформацию при 200—300°), хромоникелевая сталь, отпущенная с малой скоростью охлаждения (хрупкость отпуска); остальные виды испытания, в том числе ударный разрыв, не обнаруживают при этом никаких ненормальностей. Испытание на удар без надреза применяется только при приемке *рельсов* (см.).

9. Испытание на износ. Это испытание пока еще не стандартизовано и отличается разнообразием. Трение I рода. Самый распространенный способ — истирание образцов, прижимаемых определенной нагрузкой к вращающемуся чугунному, стальному или агатовому кругу, иногда в присутствии подсыпаемого равномерной струей истирающего порошка—наждака, стальных опилок (круг Баушингера и др.). За меру изнашиваемости принимается потеря веса образца после прохода условленного пути трения (числа оборотов круга). Для исключения влияния случайных моментов, различных в отдельных опытах, испытания производятся по сравнительному методу, т. е. одновременно на двух образцах, из к-рых один служит эталоном. В машине Шпинделя (для рельсов) истирание производит стальной диск толщиной 1 *мм*, врезающийся при вращении в образец своим ребром на глубину, служащую мерой изнашиваемости. Трение II рода. Два образца, имеющие форму дисков, диам. 30—50 *мм* и толщиной 10 *мм*, взаимно прижаты определенной нагрузкой и получают вращение от привода машины во встречном направлении с одинаковой (чистое катание) или разной (катание, соединенное со скольжением) скоростью (машины Амслера, Мора и Федергафа). Износ также определяется взвешиванием.

Числа износа находятся в очень слабой связи с результатами других испытаний; лучшая связь замечается с твердостью по Бринелю.

10. Испытание на обрабатываемость производится (по Кеснеру) на специально сконструированном сверлильном станке. Сверло стандартной формы, работая под определенной нагрузкой, после 100 оборотов дает отверстие, глубина к-рого и принимается за меру обрабатываемости испытуемого металла резанием. Самопишущий аппарат рисует диаграмму глубины отверстия в функции от числа оборотов шпинделя. Чтобы исключить влияние различной заточки сверла на результаты, испытание ставится по способу сравнения испытываемых материалов с эталоном, обрабатываемым в начале и в конце каждой серии. Получаемые числа не стоят ни в какой зависимости от других механич.

свойств. Так, медь при одинаковой твердости по Бринелю с латунью показала в 4 раза худшую обрабатываемость.

11. Технологические пробы. Так называются специальные качественные испытания, которые дают в результате вместо числовых характеристик лишь утвердительный или отрицательный ответ. Проба на изгиб состоит в загибе испытываемой полосы в холодном или горячем состоянии с помощью пресса вокруг стержня определенного диаметра, или без стержня до схождения концов, или на определенный угол, при чем не должно появляться трещин. Можно при этом оценивать качество металла степенью изгиба B до появления трещины по ф-ле:

$$B = 100\frac{a}{2\varrho}\,\%,$$

где a—толщина полосы и ϱ—радиус кривизны нейтральной оси при изгибе. Кузнечные пробы (в горячем состоянии): а) проба на расплющивание плоского образца до увеличения ширины в 1,5—2 раза; б) проба на вдавливание плоского листа в форму со сферическим углублением; в) проба на осаживание стержня до определенной высоты ударами молотка; г) проба на раздачу отверстия конич. оправками, забиваемыми молотком; д) проба на продавливание дыр штампом и пр. Все эти пробы материал должен выдержать при заданных условиях без механич. повреждения.

Лит.: Одинг И., Современные методы испытания металлов, Л., 1927; Вавpциньок О., Руководство по испытанию материалов, применяемых в машиностроении и строит. деле, пер. с нем., М.—Л., 1926—27; Martens A., Испытание строительных материалов, пер. с нем., ч. 1—Способы испытания, СПБ, 1910; Давиденков Н., Динамич. испытания металла, Л., 1929; Давиденков Н., Руководство к практич. занятиям в механич. лаборатории, Л., 1924; Sachs G. u. Fick G., Der Zugversuch, Lpz., 1926; Sachs G., Grundbegriffe d. mechanischen Technologie d. Metalls, Lpz., 1925; Müller W., Materialprüfung u. Baustoffkunde f. d. Maschinenbau, B., 1924; Memmler K., Das Materialprüfungswesen, 2 Aufl., Stg., 1924; Schulze G. u. Vollhardt E., Werkstoffprüfung f. Maschinen- u. Eisenbau, B., 1923; Döhmer P. W., Die Brinell'sche Kugeldruckprobe, Berlin, 1925; Bach C. u. Baumann R., Elastizität u. Festigkeit, 9 Aufl., B., 1924; Batson R. G. u. Hyde J. H., A Treatise on Mechanical Testing, v. 1—2, London, 1922; Timoshenko S. a. Lessels A., Applied Elasticity, Pittsburg, 1925; Gough H. J., The Fatigue of Metals, L., 1924; Moore H. F. a. Kommers J. B., The Fatigue of Metals, N. Y., 1927. **Н. Давиденков.**

ИСПЫТАНИЕ РАСТВОРОВ, см. *Растворы в строительном деле.*

ИСТОЧНИКИ СВЕТА разделяются на две основные группы: 1) первичные И. с., излучающие световую энергию самостоятельно, вследствие превращения в видимые радиации какого-либо другого вида энергии (солнце, звезды и все виды искусственных И. с. собственного свечения) и 2) вторичные источники света, заимствующие способность свечения от первичных источников (небесные тела, не обладающие высокой $t°$, напр.: Луна и другие планеты, облачное небо, освещенные поверхности и части осветительных арматур).

В качестве генераторов видимых излучений первичные И. с. разделяются на два класса: 1) И. с. $t°$-ного, или калорического, излучения (см. *Излучение*) и 2) И. с., работающие на принципе *люминесценции* (см.). Кроме того, И. с. разделяются по видам первичной энергии, превращаемой в видимые излучения, на след. три группы: 1) И. с., работающие на основе сжигания твердых, жидких и газообразных веществ; эта группа, в свою очередь, м. б. подразделена на две подгруппы: а) источники открытого пламени и б) источники с вспомогательным калильным теплом; 2) И. с. электрические, подразделяющиеся на 3 подгруппы: а) лампы накаливания, б) лампы с вольтовой дугой и в) лампы электролюминесцирующие (трубчатые); эти основные подразделения могут быть дополнены группировкой И. с. по некоторым признакам их конструкции и назначения; 3) И. с. холодного свечения, работающие по принципу различных видов люминесценции; эта последняя группа, однако, является группой будущего, так как вопрос практического применения этого принципа для осуществления источников света является пока очень мало разработанным. Таблица с указанием искусственных источников света, относящихся к 1-й и 2-й группам, приведена ниже. **А. Иванов.**

Классификация искусственных И. с.

№ по порядку	Название источника света	Принцип излучения	Род излучателя	Сфера применения
	I. Источники света, основанные на сжигании			
	А. Твердого горючего			
1	Горящее дерево и твердые органич. вещества	Калорическое излучение	Пламя	Временное освещение в домашнем обиходе
2	Свечи стеариновые, восковые, парафиновые, сальные и спермацетовые	То же	То же	То же
	Б. Жидкого горючего			
3	Лампа Карселя	» »	Пламя сурепного масла	Эталон силы света, ранее применявшийся во Франции
4	Лампа Вернон-Гаркура	» »	Пламя паров пентана	То же, в Англии
5	Лампа Гефнера	» »	Пламя амилацетата	Эталон силы света, применяющийся в Германии

Классификация искусственных И. с. (Продолжение.)

№ по порядку	Название источника света	Принцип излучения	Род излучателя	Сфера применения
6	Керосиновая лампа с плоским и круглым фитилем	То же	Пламя керосина	Для освещения внутр. и наружных пространств
7	Лампа для легких масел	» »	Пламя газолина, лигроина и т. д.	То же
8	Керосинокалильная лампа низкого давления	Калорическое избират. излучение	Калильная сетка	То же
9	То же, высокого давления	То же	То же	» »
10	Спиртокалильная лампа с фитилем .	» »	» »	» »
11	Спиртокалильная лампа с вертикальной сеткой	» »	» »	» »
12	То же, с подвесной (инвертной) сеткой	» »	» »	» »
	В. Газообразного горючего			
	а) Каменноугольного газа			
13	Горелка с двумя отверстиями	Калорическое излучение	Пламя светильного газа	» »
14	Разрезная горелка	То же	То же	» »
15	Аргандовская горелка	» »	» »	» »
16	Регенеративная горелка Вернера Сименса	» »	» »	» »
17	Газокалильная горелка стоячего типа нормальн. давления	Калорическое избират. излучение	Калильная сетка	» »
18	То же, с инвертной сеткой	То же	То же	» »
19	Газокалильная горелка стоячего типа высокого давления	» »	» »	» »
20	То же, с инвертной сеткой	» »	» »	» »
	б) Водяного газа			
21	Нормальная газокалильная горелка .	» »	» »	» »
	в) Воздушного газа			
22	Газокалильные горелки нормального стоячего типа	» »	» »	» »
23	То же, с инвертной сеткой	» »	» »	» »
	г) Нефтяного газа			
24	Горелка для открытого пламени . . .	Калорическое излучение	Пламя нефтяного газа	» »
25	Газокалильная горелка	Калорическое избират. излучение	Калильная сетка	» »
	д) Ацетилена			
26	Горелка для открытого пламени . . .	Калорическое излучение	Пламя ацетилена	Для освещения внутр. и наружных пространств и для различных спец. целей
27	Газокалильная горелка	Калорическое избират. излучение	Калильная сетка	Для освещения внутр. и наружных пространств
	II. Источники света электрические			
	А. Лампы накаливания			
1	Лампы с угольной нитью	Калорическое излучение	Раскаленное тело из соответствующего материала	Осветит. установки для освещения внутр. и наружных пространств и применение для спец. целей
2	» » металлизир. нитью			
3	» » осмиевой нитью			
4	» » циркониевой нитью			
5	» » танталовой нитью			
6	» » вольфрамовой нитью: а) пустотные . . . . . б) газополные			
7	Лампы с калильным телом из проводников 2-го рода	Калорическое избират. излучение	Раскаленное тело из проводников 2-го рода	Для спец. целей
	Б. Лампы с вольтовой дугой			
8	Дуговые лампы с электродами из чистого угля, открытые	Калорическое излучение	Главная часть светового потока излучается раскаленными электродами	Осветит. установки для освещения внутр. и наружных пространств и применение для спец. целей
9	То же, с ограниченным доступом воздуха			

Классификация искусственных И. с. (Продолжение.)

№ по порядку	Название источника света	Принцип излучения	Род излучателя	Сфера применения
10	Дуговые лампы с электродами из угля с примесью солей металлов, открытые	Калорическое излучение + люминесценция	Главная часть светового потока излучается благодаря люминесценции дуги	То же
11	То же, с ограниченным доступом воздуха			
12	Дуговые лампы с магнетитовыми электродами			
13	Дуговые лампы с титанкарбидовыми электродами			
14	Дуга Люммера под давлением 22 *atm*	То же	Раскаленные электроды и люминесцирующая дуга	Опытная установка для изучения свойств дуги
15	Вольфрамовая дуговая лампа	Калорич. излучение	То же	Для спец. целей
	В. Электролюминесцирующие лампы			
16	Ртутные дуговые лампы, стеклянные	Люминесценция	Положительное свечение ртутных паров	В осветит. установках внутри помещений и для спец. целей
17	Кварцевые ртутные дуговые лампы . .	То же	То же	Для спец. целей
18	Неоновые дуговые лампы	» »	Положительное свечение разреженного газа	Рекламное и сигнальное освещение
19	Свет Мура с азотом	» »	То же	Осветит. установки для внутр. освещения
20	» » » углекислотой	» »	» »	
21	Светящиеся трубки с благородными газами высокого напряжения . . .	» »	» »	Рекламное и сигнальное освещение и внутр. освещение при дневном свете
22	Безэлектродная лампа с благородными газами	» »	» »	Сигнальное освещение
23	Лампа тлеющего разряда	» »	Отрицательное свечение разреженного благородного газа (неона)	Сигнальное освещение и применение для спец. целей

ИСЧИСЛЕНИЕ БЕСКОНЕЧНО МАЛЫХ, часть высшей математики, включающая дифференциальное и интегральное исчисление и характеризуемая специальным методом, применявшимся еще Архимедом (в неявном виде) для вычисления площадей криволинейных фигур (круга, параболы). В полной мере этот метод был развит одновременно Ньютоном и Лейбницем (17 в.); однако, строгую логическую основу он получил лишь в 19 в. в работах Коши и Вейерштрасса. В основе современного метода И. б. м. лежит понятие переменной величины. Буквенная величина называется п е р е м е н н о й, если (в данном рассуждении) она может принимать разные численные значения; если же величина сохраняет одно и то же численное значение, то она называется п о с т о я н н о й (всякое число есть величина постоянная); напр.: в ф-ле равномерного движения $s=vt$ скорость v есть величина постоянная, а время t и пройденное расстояние s—переменные величины. Переменная, которой мы можем давать произвольные численные значения, называется н е з а в и с и м о й п е р е м е н н о й (или а р г у м е н т о м); переменная, численные значения которой определяются значениями независимой переменной (или переменных), называется з а в и с и м о й п е р е м е н н о й (или ф у н к ц и е й). В нашем примере t есть независимая переменная, а s—ф-ия от t. Функция определена, если каждому значению аргумента соответствует определенное значение функции. Эта зависимость м. б. задана графически, таблицей (таблицы логарифмов, синусов) или ф-лой. Выражение «y есть ф-ия от x» символически записывается так: $y=f(x)$. Если z есть ф-ия двух независимых переменных x и y, то это запишется так: $z=f(x, y)$. Если ф-ла, определяющая ф-ию, содержит только действия сложения, вычитания, умножения и возведения в целую степень над независимой переменной, то это — ф-ия ц е л а я р а ц и о н а л ь н а я (она м. б. представлена в виде многочлена), напр.: $y=x^2-\frac{2}{3}x+8$; если же в ф-лу входит деление, то имеем ф-ию д р о б н у ю р а ц и о н а л ь н у ю, напр.: $y=\frac{1}{x}$. Если в ф-ии $y=f(x)$ или же при нахождении y из ур-ия $f(x,y)=0$ независимая переменная находится под знаком радикала, то мы имеем и р р а ц и о н а л ь н у ю ф-ию, напр. $y^2-x=0$, или $y=\sqrt{x}$. Рациональные и иррациональные функции называются а л г е б р а и ч е с к и м и. В последнем примере всякому значению $x>0$ соответствуют два значения y (два знака перед радикалом); мы имеем функцию д в у з н а ч н у ю. Все функции, не являющиеся алгебраическими, называются т р а н с ц е н д е н т н ы м и, например $\sin x$.

Б е с к о н е ч н о м а л ы е в е л и ч и н ы. Если переменная величина изменяется так, что ее значения по абсолютной величине становятся (и остаются) меньше любого наперед заданного положительного числа ε, то переменная называется б е с к о н е ч н о

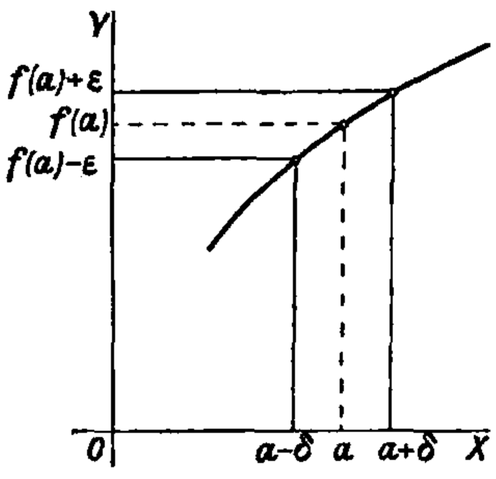
м а л о й. Так, величина $\frac{1}{x}$ — бесконечно мала при неограниченном увеличении абсолютного значения x; в самом деле $\left|\frac{1}{x}\right| < \varepsilon$ для всех значений x, для к-рых $|x| > \frac{1}{\varepsilon}$, напр. $\left|\frac{1}{x}\right| < 0{,}01$, если только $|x| > 100$. Далее, $\sin x$—бесконечно малая при достаточно малом x, т. к. $|\sin x|$ всегда меньше $|x|$ и, следовательно, $|\sin x| < \varepsilon$, если $|x| < \varepsilon$. Из постоянных величин только 0 удовлетворяет определению бесконечно малого.

Т е о р е м ы о б е с к о н е ч н о м а л ы х: 1) алгебраич. сумма ограниченного числа бесконечно малых бесконечно мала; 2) произведение бесконечно малой α на о г р а н и ч е н н у ю величину β (т. е. существует такое положительное число M, что $|\beta| < M$ при рассматриваемых значениях β) бесконечно мало; в частности, произведение двух бесконечно малых бесконечно мало.

П р е д е л. Если переменная y изменяется так, что разность между нею и нек-рой постоянной b становится бесконечно малой β, то говорят, что предел y есть b; это записывается так: $\lim y = b$, или $y \to b$. Из определения предела следует, что $y = b + \beta$ (β—бесконечно малая) или что $|y - b|$ м. б. сделана $< \varepsilon$. Очевидно, предел бесконечно малой величины есть 0. Если переменная при своем изменении становится по абсолютной величине больше любого положительного числа M, т. е. $|y| > M$, то y называется б е с к о н е ч н о б о л ь ш о й; бесконечно большая величина не имеет предела, но условно говорят, что предел y в этом случае равен бесконечности: $\lim y = \infty$, или $y \to \infty$, напр.:

$$\lim_{x \to 0} \sin x = 0; \quad \lim_{x \to \infty} \frac{1}{x} = 0; \quad \lim_{x \to \frac{\pi}{2}} \operatorname{tg} x = \infty .$$

Т е о р е м ы о п р е д е л а х: 1) предел постоянной равен этой постоянной; 2) предел алгебраич. суммы переменных равен алгебраической сумме пределов; 3) предел произведения равен произведению пределов; 4) предел частного равен частному пределов, если только предел делителя $\neq 0$; в случае, если предел делителя равен 0, а предел делимого $\neq 0$, мы имеем бесконечно большую, ее предел (в условном смысле) есть ∞; если же и предел делимого равен 0, то имеем неопределенный случай (предел отношения двух бесконечно малых). Здесь может существовать предел, но его нахождение требует каждый раз особых рассуждений; так, доказывается, что $\lim_{x \to 0} \frac{\sin x}{x} = 1$ (см. *Дифференциальное исчисление*, Н е о п р е д е л е н н ы е в ы р а ж е н и я). Точно так же неопределенным является предел отношения двух бесконечно больших величин, но иногда его можно вычислить после преобразования выражения,



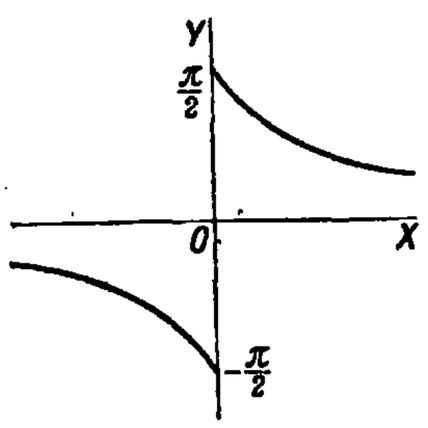
Фиг. 1.

на основании общих теорем, например:

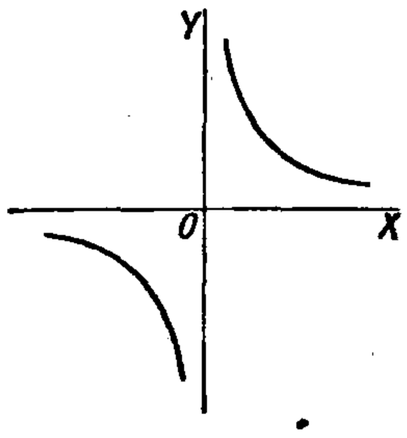
$$\lim_{x \to \infty} \frac{2x^2 - x + 4}{x^2 - 1} = \lim_{x \to \infty} \frac{2 - \frac{1}{x} + \frac{4}{x^2}}{1 - \frac{1}{x^2}} = \lim_{x \to \infty} \frac{2}{1} = 2.$$

Понятие предела является основным в дифференциальном и интегральном исчислении.

Н е п р е р ы в н о с т ь ф у н к ц и и. Рассмотрим значение ф-ии $f(x)$ при $x = a$, т. е. $f(a)$, и значения той же ф-ии при близких к a значениях x. Если изменение ф-ии бесконечно мало при достаточно малом изменении x, то говорят, что $f(x)$ н е п р е р ы в н а в т о ч к е $x = a$. Это можно записать так: для любого (сколько угодно малого) $\varepsilon > 0$ найдется достаточно малое $\delta > 0$ такое, что $|f(x) - f(a)| < \varepsilon$, как только $|x - a| < \delta$ (фиг. 1). Пользуясь определением предела, непрерывность при $x = a$ можно выразить так: $\lim_{x \to a} f(x) = f(a)$, т. е. предел функции равен значению функции в предельной точке. Ф-ия, непрерывная в каждой точке отрезка, называется н е п р е р ы в н о й н а о т р е з к е. Если в точке $x = a$



Фиг. 2.



Фиг. 3.

условие непрерывности не выполнено, ф-ия называется р а з р ы в н о й при $x = a$. Так, если при $x \neq 0$ $f(x) = 0$, а $f(0) = 1$, то ф-ия разрывна при $x = 0$, т. к. предел функции равен 0, а значение в предельной точке $= 1$. Ф-ия $y = \operatorname{arc\,tg} \frac{1}{x}$ разрывна при $x = 0$, так как, если x приближается к 0 по положительным значениям, то предел ф-ии равен $\frac{\pi}{2}$; если же x приближается к 0 по отрицательным значениям, предел равен $-\frac{\pi}{2}$, т. е. $\lim_{x \to 0} \operatorname{arc\,tg} \frac{1}{x}$ не существует (фиг. 2). Ф-ия $y = \frac{1}{x}$ имеет разрыв при $x = 0$, т. к. предела в истинном смысле слова нет: он равен ∞ (фиг. 3). В анализе бесконечно малых, и особенно в приложениях, мы имеем дело гл. обр. с непрерывными функциями.

Лит.: см. *Дифференциальное исчисление* и *Интегральное исчисление*.

В. Степанов.

ИСЧИСЛЕНИЕ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ,

отдел математическ. анализа. В *дифференциальном исчислении* (см.) мы даем аргументу ф-ии приращение, к-рое является бесконечно малым (стремится к 0); в И. к. р. мы ограничиваемся конечными приращениями аргумента, равными некоторому постоянному числу h. Основным понятием является р а з н о с т ь ф-ии, $\Delta f(x)$:

$$\Delta f(x) = f(x + h) - f(x) .$$

Разность есть ф-ия от x; ее разность есть 2-я разность, $\Delta^2 f(x)$:

$$\Delta\Delta f(x) = \Delta^2 f(x) = f(x + 2h) - 2f(x + h) + f(x).$$

Аналогично определяются разности 3-го, 4-го,..., n-го порядка. Мы можем ограничиться рассмотрением случая $h=1$, так как общий случай сводится к этому заменой переменного: $x=hy$.

Разности простейших функций. $\Delta C=0$ (C—постоянная); $\Delta x=h$; $\Delta a^x=a^{x+h}-a^x=a^x(a^h-1)$; $\Delta\sin x=2\cos\left(x+\frac{h}{2}\right)\sin\frac{h}{2}$; $\Delta\cos x=-2\sin\left(x+\frac{h}{2}\right)\sin\frac{h}{2}$.

Разность ф-ии x^n или любого многочлена n-й степени есть многочлен $(n-1)$-й степени, разность $(n+1)$-го порядка от многочлена n-й степени есть 0. Но более простые формулы получатся, если вместо степеней ввести факториальные функции $x(x-h)\dots[x-(n-1)h]$ и $\frac{1}{(x+h)(x+2h)\dots(x+nh)}$; разности

$$\Delta\, x(x-h)\dots[x-(n-1)h]=$$
$$=nhx(x-h)\dots[x-(n-2)h]$$

и

$$\Delta\frac{1}{(x+h)(x+2h)\dots(x+nh)}=\frac{-nh}{(x+h)(x+2h)\dots[x+(n+1)h]}$$

тоже факториальные функции с числовым множителем.

Основные формулы И. к. р. аналогичны формулам дифференциального исчисления; отметим разность от произведения:

$$\Delta[f(x)\cdot\varphi(x)]=\varphi(x+h)\Delta f(x)+f(x)\,\Delta\varphi(x).$$

Роль ряда Тейлора в И. к. р. играет ряд Ньютона, являющийся разложением данной функции по факториальным функциям. Он пишется так:

$$f(x)=f(0)+\frac{\Delta f(0)}{1\cdot h}x+\frac{\Delta^2 f(0)}{1\cdot 2\cdot h^2}x(x-h)+$$
$$+\frac{\Delta^3 f(0)}{3!\,h^3}x(x-h)(x-2h)+\dots$$

Этот ряд применяется для интерполяции (см. *Вычисления приближенные*).

Пример. Разложить x^3 по факториальным ф-иям при $h=1$. Имеем:

$$\Delta x^3=(x+1)^3-x^3=3x^2+3x+1;$$
$$\Delta^2 x^3=6x+6;\ \Delta^3 x^3=6;\ \Delta^4 x^3=0.$$

Подставляя в эти равенства значение $x=0$ и обозначая символически $(\Delta^k x^l)_{x=0}=\Delta^k 0^l$, имеем: $\Delta 0^3=1$, $\Delta^2 0^3=6$, $\Delta^3 0^3=6$. Итак:

$$x^3=x+3x(x-1)+x(x-1)(x-2).$$

Операция, обратная нахождению разности, называется суммированием; если

$$\Delta\varphi(x)=f(x), \qquad (1)$$

то имеем:

$$\varphi(a+h)-\varphi(a)=f(a),$$
$$\varphi(a+2h)-\varphi(a+h)=f(a+h),$$
$$\dots\dots\dots\dots\dots\dots$$
$$\varphi(a+nh)-\varphi[a+(n-1)h]=f[a+(n-1)h].$$

Отсюда, складывая почленно, имеем:

$$\sum_{i=0}^{i=n-1}f(a+ih)=\varphi(a+nh)-\varphi(a)=$$
$$=\Big[\varphi(x)\Big]_a^{a+nh}. \qquad (2)$$

Ф-ия φ, удовлетворяющая условию (1), называется иногда неопределенным интегралом по конечным разностям и обозначается знаком $\boldsymbol{S}f(x)$; он определяется с точностью до произвольной периодич. ф-ии периода h; ф-ла (2) показывает, что конечная сумма в левой части получается подстановкой значений x, $x+nh$ в неопределенный интеграл по конечным разностям; это записывается так: $\overset{a+nh}{\boldsymbol{S}}f(x)$.

Пример 1. Найти сумму $1^3+2^3+\dots+(n-1)^3$. Здесь $f(x)=x^3$, $h=1$. Заметим, что неопределенный интеграл по конечным разностям от факториала выражается так:

$$\boldsymbol{S}\,x(x-h)\dots[x-(n-1)h]=$$
$$=\frac{1}{(n+1)h}x(x-h)\dots(x-nh),$$

следовательно,

$$\boldsymbol{S}\,x^3=\boldsymbol{S}\,[x+3x(x-1)+x(x-1)(x-2)]=$$
$$=\frac{x(x-1)}{2}+x(x-1)(x-2)+\frac{x(x-1)(x-2)(x-3)}{4}.$$

Искомая сумма $\sum_{m=0}^{n-1}m^3=\overset{n}{\underset{0}{\boldsymbol{S}}}x^3=\left[\frac{x(x-1)}{2}+\right.$

$$\left.+x(x-1)(x-2)+\frac{x(x-1)(x-2)(x-3)}{4}\right]_{x=0}^{x=n}=\left[\frac{n(n-1)}{2}\right]^2.$$

Пример 2. Путем обращения ф-лы разности для $\cos x$ находим

$$\boldsymbol{S}\sin x=-\frac{\cos\left(x-\frac{h}{2}\right)}{2\sin\frac{h}{2}}.$$

Отсюда получаем:

$$\sin a+\sin(a+h)+\dots+\sin[a+(n-1)h]=$$
$$=\overset{a+nh}{\underset{a}{\boldsymbol{S}}}\sin x=\frac{\cos\left(a-\frac{h}{2}\right)-\cos\left(a+\frac{2n-1}{2}h\right)}{2\sin\frac{h}{2}}=$$
$$=\frac{\sin[a+(n-1)h]\sin nh}{\sin\frac{h}{2}}.$$

В связи с суммированием, в И. к. р. большую роль играют функции Бернулли. Их можно определить как неопределенный интеграл по конечным разностям: n-я ф-ия Бернулли

$$\varphi_n(x)=\overset{x}{\underset{0}{\boldsymbol{S}}}\frac{x^{n-1}}{(n-1)!}.$$

Это—многочлен n-й степени вида

$$\varphi_n(x)=A_0\frac{x^n}{n!}+A_1\frac{x^{n-1}}{(n-1)!}+\dots+A_{n-1}x.$$

Здесь A_0, A_1, A_2... —числа Эйлера; они определяются ур-иями:

$$\frac{A_0}{n!}+\frac{A_1}{(n-1)!}+\dots+\frac{A_{n-2}}{1\cdot 2}+A_{n-1}=0;$$
$$A_0=1;\ A_1=\frac{1}{2};\ n=3,\ 4,\ 5\dots$$

При этом оказывается, что $A_3=A_5=\dots=0$. С помощью чисел Эйлера выражаются числа Бернулли (см. *Бернуллиевы числа*):

$$B_k=(-1)^{k-1}\cdot 1\cdot 2\cdot\dots\cdot 2k\cdot A_{2k}$$

и суммы вида $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n^{2k}}$, именно:

$$A_{2k}=\frac{(-1)^k\cdot 2}{(2\pi)^{2k}}\left(1+\frac{1}{2^{2k}}+\frac{1}{3^{2k}}+\frac{1}{4^{2k}}+\dots\right).$$

В частности, $1+\frac{1}{2^2}+\frac{1}{3^2}+\dots=\frac{\pi^2}{6}$.

Формула суммирования Эйлера выражает связь между интегралом

по конечным разностям и обыкновенным интегралом:

$$\overset{x}{\underset{0}{S}} f(x) = \int_0^x f(x)\,dx + A_1[f(x) - f(0)] + A_2[f'(x) - f'(0)] + \ldots + A_{n-1}[f^{(n-2)}(x) - f^{(n-2)}(0)] + R_n. \quad (3)$$

В этом ряду R_n не стремится к 0,—ряд расходится; но для нек-рого значения n остаточный член мал, и конечная сумма дает хорошее приближение. В наиболее важном случае, когда $f''(t)$, $f^{IV}(t)$, ... имеют одинаковый знак, а $f'(t)$, $f'''(t)$,... бесконечно малы при бесконечно большом t, имеем:

$$R_{2k} = \theta A_{2k} f^{(2k-1)}(x).$$

Ф-ла (3) применяется для приближенного вычисления суммы через интеграл или, наоборот, для приближенного вычисления определенного интеграла. С ее помощью доказывается формула Стирлинга:

$$\ln(1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \ldots \cdot n) = \ln\sqrt{2\pi} + \left(x + \frac{1}{2}\right)\ln n - n + A_2 n^{-1} + A_4 1 \cdot 2 \cdot n^{-2} + \ldots,$$

откуда приближенно:

$$n! \cong n^n e^{-n}\sqrt{2\pi n}.$$

Уравнения в конечных разностях. Будем полагать $h=1$ и обозначать: $f(x)=y_x$, $f(x+1)=y_{x+1}$, ... Разность $\Delta^n y$ выразится линейно через y_x, y_{x+1},..., y_{x+n}. Ур-ие в конечных разностях n-го порядка есть соотношение между x, y_x и разностями до n-го порядка включительно, которое можно написать в виде

$$\Phi(x, y_x, y_{x+1}, \ldots, y_{x+n}) = 0.$$

Для техники наибольшее значение имеют линейные уравнения в конечных разностях с постоянными коэфф-тами, т. е. ур-ия вида

$$y_{x+n} + p_1 y_{x+n-1} + \ldots + p_{n-1} y_{x+1} + p_n y_x = q, \quad (4)$$

где p_1, p_2, ..., p_n—постоянные числа, q—данная ф-ия x. Если $q=0$, имеем однородное уравнение. Для решения однородного ур-ия ищем частное решение вида $y=a^x$, для определения a получаем ур-ие n-й степени:

$$a^n + p_1 a^{n-1} + \ldots + p_{n-1} a + p_n = 0.$$

Если его корни—a_1, a_2, ..., a_n (различные), то общее решение однородного уравнения имеет вид:

$$y_x = c_1 a_1^x + c_2 a_2^x + \ldots + c_n a_n^x.$$

Для определения постоянных c_1, c_2, ..., c_n д. б. заданы значения y_0, y_1, ..., y_{n-1}. Если 2 корня—мнимые сопряженные, напр.

$$a_1 = \varrho(\cos\varphi + i\sin\varphi),\ a_2 = \varrho(\cos\varphi - i\sin\varphi),$$

то соответствующие решения будут: $\varrho^x \cos x\varphi$, $\varrho^x \sin x\varphi$. Случай кратных корней требует особого рассмотрения. Для общего ур-ия (4), если q постоянно, находим частное решение:

$$\overline{y_x} = \frac{q}{1 + p_1 + p_2 + \ldots + p_n} = \beta,$$

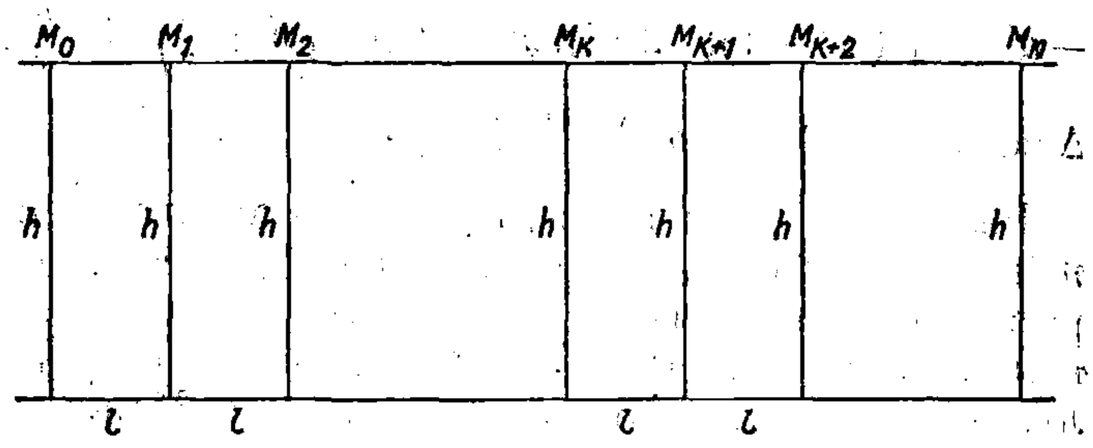
где β—постоянное число; тогда

$$y_x = c_1 a_1^x + \ldots + c_n a_n^x + \beta.$$

Пример. Требуется определить опорные моменты равномерно нагруженной горизонтальной балки, при чем все опоры одной высоты h, расстояния l между опорами равны и величина нагрузки q (см. фиг.). Уравнение, связывающее моменты

$$M_k + 4M_{k+1} + M_{k+2} = -\frac{1}{2}ql^2,$$

есть линейное ур-ие в конечных разностях. Общее решение соответствующего однородного ур-ия есть $M_k = c_1\lambda_1^k + c_2\lambda_2^k$, где λ_1 и λ_2—



корни характеристич. ур-ия $\lambda^2 + 4\lambda + 1 = 0$; $\lambda_{1,2} = -2 \pm \sqrt{3}$. Частное решение $\beta = -\frac{ql^2}{12}$. Итак,

$$M_k = c_1\lambda_1^k + c_2\lambda_2^k - \frac{ql^2}{12}.$$

Для определения c_1 и c_2 замечаем, что $M_0=0$, $M_n=0$, т. е. $c_1 + c_2 - \frac{ql^2}{12} = 0$, $c_1\lambda_1^n + c_2\lambda_2^n - \frac{ql^2}{12} = 0$; откуда $c_1 = -\frac{ql^2}{12} \cdot \frac{\lambda_2^n - 1}{\lambda_1^n - \lambda_2^n}$, $c_2 = \frac{ql^2}{12} \cdot \frac{\lambda_1^n - 1}{\lambda_1^n - \lambda_2^n}$. Кроме строительной механики, ур-ия И. к. р. применяются в электротехнике (в расчете катушек) и др.

Лит.: Селиванов Д., Курс исчисления конечных разностей, СПБ, 1906; Марков А., Исчисление конечных разностей, 2 изд., Одесса, 1911; Nörlund N., Vorlesungen über Differenzenrechnung, Berlin, 1924.

В. Степанов.

ИТ, итовая пластина, прокладка для уплотнения арматуры паровых котлов и паропроводов. И. выпускается различными фирмами под названиями, происходящими обычно от названия фирмы, с добавлением окончания «ит» (напр. клингерит). Итовые пластины, изготовляемые в СССР, называются паронитом. Состав пластины: асбестовое высокосортное волокно, резиновая смесь и минеральное уплотнение (напр. окись железа). Пластина получается смешением в закрытых мешалках асбестового волокна и других минеральных примесей с резиной и бензином и постепенным испарением бензина из полученной массы на поверхности металлич. вала итового каландра. Толстые пластины получаются склеиванием и спрессовыванием более тонких пластин. Толщина пластин 0,5—6 *мм* и более; ширина листов 1 000—1 250 *мм*, длина 1 000—1 400 *мм*; уд. вес около 2,0.

Требования стандарта С. Ш. А.: 9—16% резины; 75—77,5% асбеста для пластины 1-го сорта и 70% — для 2-го сорта; прочих минеральных примесей: 8—13% для 1-го сорта и 13—20% для 2-го сорта. Допуск по толщине: при толщине до 2,5 *мм*—10%, при толщине 2,5 *мм* и выше—5%. Твердость (по Бринелю, шарик диаметром 3,2 *мм*, нагрузка 1 *кг*) 0,15—0,25 *мм*. Прочность на разрыв (среднее из двух перпендикулярных направлений) 204—272 *кг/см²*. Свойства паронита: резины 13%, твердость 0,17—0,20 *мм*, прочность на разрыв 200—230 *кг/см²*.

ИХТИОЛ, одно из торговых названий препаратов, получающихся при переработке дегтя из *битуминозных сланцев* (см.); содержит

в значительном количестве серу. Препарат, выпускаемый в Союзе из волжского сланца, носит торговое название сульфихтона. И.—запатентованная торговая марка препарата, выпускаемого фирмой Cordes, Hermai et Co.; это название получило типовой характер для всех аналогичных препаратов. Препараты И. не представляют индивидуального химич. соединения: они являются смесью соединений, полученных при сульфировании тяжелых погонов сланцевого дегтя. Для приготовления И. сырой сланцевый деготь подвергают разгонке на легкое тиофеновое масло, кипящее до 180°, и тяжелое масло с $t°_{кип.}$ 180—275°. Легкие и тяжелые масла очищают 5%-ным раствором H_2SO_4 от пиридинов и 10%-ным NaOH от кислых соединений. Тяжелое очищенное масло сульфируют смесью олеума и купоросного масла (1:1), промывают водою для удаления избытка серной к-ты, нейтрализуют аммиаком и полученную соль экстрагируют спиртом для отделения от аммиачных солей и смол. После отгонки спирта полученную массу разбавляют водою с таким расчетом, чтобы содержание органич. массы было ок. 55%. К этому раствору, обладающему высокими эмульгирующими свойствами, прибавляют от 10 до 15% легких тиофеновых погонов, содержащих ок. 50% гомологов тиофена. Полученный препарат представляет тягучую жидкость черно-коричневого цвета, с пригорелым запахом, образующую с водой эмульсию, растворяющуюся в эфире и спирте. После того как рядом работ Шейблера было установлено, что основным бактерицидным началом препаратов сульфихтона и И. являются гомологи тиофена, в Союзе начали выпускать препарат с стандартным содержанием тиофенов. В качестве медицинского препарата ихтиол-сульфихтон имеет довольно широкое применение как антисептич. средство при заболевании легочным туберкулезом, нефритом, при дизентерии, кожных заболеваниях и др. В Союзе годовая потребность ок. 50 000 *кг*. Мировая потребность ок. 1 200 000 *кг*.

Лит.: Таль Р. И., «Военно-медиц. журнал», СПБ, 1906; Эйдерман М., «Вестник фармации», М., 1924; Раковский Е. В., «Хим.-фармац. журнал», М., 1926; Стадников Г., ст. в «Сборнике работ Химического института им. Карпова», Москва, 1927.

Е. Раковский.

К

КАБЕЛЬ электрический, частный случай электрич. проводника, служащего для передачи на расстояние электрич. энергии (для электрич. освещения, распределения энергии, телефонии, телеграфии, электрической сигнализации и т. п.). Собственно электрич. К. называется или один проводник, составленный (б. ч. скрученный) из нескольких проводящих электричество металлическ. проволок и покрытый изолирующими и защитными оболочками (одножильный К.), или группа изолированных один от другого проводников, заключенная в одну или несколько защитных оболочек (многожильный К.). В русской практике одножильные проводники, скрученные в несколько проволок и покрытые резиновой изоляцией и защитными оболочками из волокнистого материала (торговые марки ПР, ПРН, ПРГН и друг.), называются, однако, проводами; проводники, скрученные из нескольких проволок и не снабженные изоляцией (торговая марка ГК),—голыми К. По данным мировой статистики, на долю кабельного производства падает до 60% общего выпуска электротехнич. промышленности, а удельный вес стоимости кабельных сетей в крупных городских электростанциях доходит до 75% основного капитала предприятия.

Объекты кабельного производства следующие. 1) Голые изделия из цветных металлов для электрических проводов и К. и полуфабрикаты для электромашиностроительных з-дов. Сюда относятся: голые воздушные провода и К. из меди, алюминия, бронзы и др.; троллейные провода; шинная, коллекторная и фасонная медь; проволока высокого электросопротивления (реотан, константан, манганин и др.); луженая медная проволока и ряд других изделий, непосредственно к кабельному делу не относящихся. 2) Силовые высоковольтные К. для передачи и распределения электрич. энергии подземными сетями. Эти К. почти исключительно изготовляются с пропитанной бумажной изоляцией. 3) К. слабого тока: телефонные, телеграфные, блокировочные и др. Наиболее экономически важной частью этого производства является производство телефонных К. с воздушно-бумажной изоляцией для городских сетей и быстро развивающееся за границей производство телефонных «дальнобойных» К. для междугородных сообщений. 4) Установочные провода, преимущественно с резиновой изоляцией. В виду специфических требований, предъявляемых к резиновой изоляции, кабельные заводы, почти как правило, имеют свои резиноделательные отделы. Реже встречается производство К. с гуттаперчевой изоляцией, идущих исключительно для подводных телеграфных кабельных линий. 5) Динамомашинная проволока и провода с хл.-бум., шелковой или эмалевой изоляцией. 6) Шнуры слабого тока (коммутаторные, микротелефонные, кроссовые и др.), являющиеся чаще всего предметом специализации отдельных з-дов. 7) Кабельная арматура: соединительные и конечные муфты, кабельные ящики, установочные принадлежности, заливочная масса для муфт и т. п. В зависимости от производственного уклона отдельных з-дов сюда часто добавляются второстепенные производства: изоляционных материалов, в особенности связанных с употреблением каучука; стальных канатов и тросов; литья и штамповок из цветных металлов и т. п.

Кабель высоковольтный.

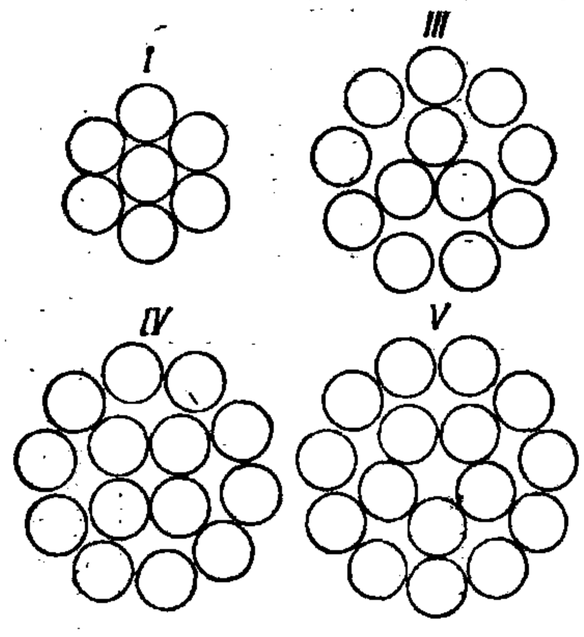
Классификация. По роду диэлектрика высоковольтные К. разделяются: а) на К. с пропитанной волокнистой изоляцией, б) К. с резиновой изоляцией, в) К. с кембриковой изоляцией и г) К. с изоляцией из вулканизованного битумена. Последние два рода изоляции почти исключительно применяются в Англии и С. Ш. А., при чем битуменная изоляция служит только защитной оболочкой лежащей под ней изоляции из другого материала. Употреблявшаяся в конце 19 в. изоляция из пропитанного джута сохранилась в настоящее время только как пережиток в телеграфных кабелях. По рабочему напряжению К. разделяются на: а) К. малых напряжений (до 3 000 V включительно), б) К. средних напряжений (от 6 до 12 kV включительно), в) К. больших напряжений (от 20 до 35 kV включительно) и г) К. высших напряжений (от 60 kV). В настоящее время практически осуществлен К. напряжением в 132 kV. Указанные границы являются условными. По форме проводящих жил различают кабели: а) со сплошными

Табл. 1.—Применение кабелей для разных видов потребления.

Назначение	Рабочее напряжение	Форма провод. жилы	Род изоляции	Материал провод. жилы	Защитные оболочки	Конструкция
Воздушная прокладка голыми неизолированными К. или проводами	До наивысших напряжений	1) Круглая, сплошная 2) Круглая, полая	—	1) Медь 2) Бронза 3) Алюминий 4) Сталь-алюм. 5) Aldrey 6) Монот	—	1) Правильно скрученная жила 2) Полый К.
Воздушная прокладка голыми изолированными (освинцован.) К.; прокладка в подземн. канализации	Малое и среднее	1) Круглая 2) Секторная или сегментная	Кабельная пропитанная бумага	Медь	Голая свинцовая оболочка с присадкой 3 % олова или 1 % сурьмы	Нормальная конструкция
Высоковольтные фидерные линии, проложенные непосредственно в земле или в подземной канализации	Среднее, высокое и высшее	1) Круглая 2) Секторная 3) Полая (в настоящее время только для экстравысокого напряжения)	Кабельная пропитанная бумага	Медь, иногда алюминий	Свинцовая оболочка, пропитанный джут, броня из 2 железн. лент, пропитан. джут. При прокладке в канализации — голая свинцов. оболочка с присадкой 3% олова или 1% сурьмы или из тройного свинцового сплава	1) Нормальная конструкция 2) Н-кабель 3) S-L-кабель 4) Кабель Пирелли и др.
Низковольтные распределительные сети, заводские сети, прокладка непосредственно в земле	Малое и среднее	1) Круглая 2) Секторная	Кабельная пропитанная бумага	Медь	1) Свинцовая оболочка, пропитанный джут, броня из 2 железных лент, пропитан. джут 2) Вулканизованный битумен	Нормальная конструкция
К. в шахтах, а также для прокладки в земле под уклоном свыше 45° и в зыбкой почве	Малое, среднее и высокое	1) Круглая 2) Секторная	Кабельная пропитанная бумага	Медь	Свинцовая оболочка, пропитанный джут, броня из плоских железных проволок, пропитанный джут	Нормальная конструкция, иногда Н-кабель
К. для прокладки внутри помещений на центральных электрич. станциях, з-дах и т. п.	Малое, среднее и высокое	1) Круглая 2) Секторная	1) Кабельная пропитанная бумага 2) Вулканизованная резина 3) Кембрик	Медь	1) Голая свинцовая оболочка 2) Свинцовая оболочка, слой пропитанного джута 3) Вулканизованный битумен	1) Нормальная конструкция 2) Н-кабель
К. для подвижных приемников тока, как то: врубовые машины, драги, торфодобывающие машины, краны и т. п.	Малое	Круглая	Вулканизованная резина	Медь	1) Голая резиновая оболочка 2) Защитные покровы в форме оплеток, обмоток и т. п.	1) Шланговые К. 2) Торфяные К. 3) Врубовые К.
К. для неподвижных прокладок внутри помещений и по кранам, где нужна легкая механич. защита.	Малое	Круглая	Вулканизованная резина	Медь	1) Пропитанная оплетка из волокнистого материала и оплетка тонкими луженными или оцинкованными проволоками 2) Свинцовая оболочка, слой волокнистого материала, оплетка железной проволокой	—
Небольшие внутренние проводки	Малое	Круглая	Вулканизованная резина	Медь	1) Оплетка пропитан. пряжей 2) Оплетка непропитанной, преимущественно лощеной пряжей	1) Установочные резиновые провода 2) Шнуры

(однопроволочными или многопроволочными) круглыми жилами (торговые марки САН, СГН, СБН и др.), б) с полыми круглыми жилами (исключительно специальные конструкции) и в) с секторными или сегментными жилами (торговые марки САСН, СГСН, СБСН и др.). Кроме того, К. разделяются по роду применения, конструкции, роду защитных оболочек, металлу проводящих жил и т. п. Сводка этих различий дана в табл. 1.

Конструкция К. Проводящая жила (теория скруток). Проводящая жила К. мелкого сечения делается как однопроволочной, так и многопроволочной, а К. крупных сечений, начиная с 16 *мм*^{2} (иногда с 25 *мм*^{2}) и выше всегда делается многопроволочной. Число проволок или их наибольший диаметр устанавливаются специальными нормами или стандартами, в зависимости от требуемой степени гибкости К. Отдельные проволоки проводящей жилы обязательно д. б. скручены между собой, во избежание выпирания проволок при изгибах. Различают два рода скруток: а) дикая (или шнуровая) скрутка и б) правильная скрутка. Первая преимущественно применяется для осветительн. шнуров и только при тонких проволоках (обыкновенно не выше 0,30—0,35 *мм*); при этой крутке проволоки в любом числе (иногда 100 и более) свиваются вместе в одну сторону. Жила при этой крутке не получает в сечении геометрически правильной формы круга, механически непрочна и требует для дальнейшей обработки обмотки пряжей или бумагой. Для правильной крутки число проволок определяется геометрич. соотношениями и д. б. вполне определенным. Применяются 4 основные формы правильной крутки (фиг. 1); различающиеся числом проволок в центре. Отдельные слои (повивы) проволок крутятся в противоположные стороны. Общее же правило правильной крутки круглых жил из круглых проволок заключается в том, что число проволок каждого слоя на 6 больше числа проволок предыдущего слоя за исключением первого повива вокруг центральной проволоки в форме I, где увеличение равно 5 (для прямоугольной литцы соответствующее увеличение равно 8, в секторных также можно принимать 6). Строго математически это правило неверно, но оно пригодно для всех случаев практики. Основные конструктивные данные и ф-лы правильной крутки собраны в табл. 2. Из этой таблицы видно, что наиболее выгодной является форма I, а наименее выгодной—форма III.



Фиг. 1.

Табл. 2.—Основные конструктивные данные и формулы правильной крутки.

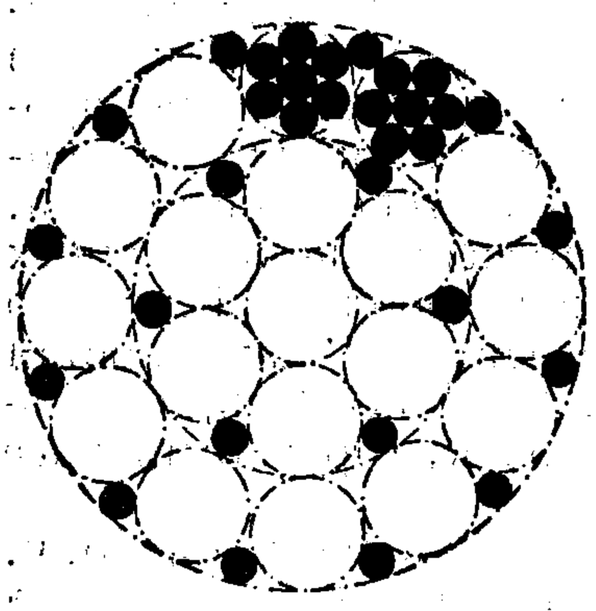
Форма I	$n =$		1	2	3	4	5	6	7
	$z' = 6(n-1) =$		1*	6	12	18	24	30	36
	$z = 3n(n-1)+1 =$		1	7	19	37	61	91	127
	$D = (2n-1)d =$		d	$3d$	$5d$	$7d$	$9d$	$11d$	$13d$
	$q = \frac{3n(n-1)+1}{(2n-1)^2} =$	(в %)	100	78	76	75	75	75	75
Форма III	$n =$		1	2	3	4	5	6	7
	$z' = 6n-3 =$		3	9	15	21	27	33	39
	$z = 3n^2 =$		3	12	27	48	75	108	147
	$D = (2n+0,15)d =$		$2,15d$	$4,15d$	$6,15d$	$8,15d$	$10,15d$	$12,15d$	$14,15d$
	$q = \frac{3}{4} \cdot \frac{n^2}{(n+0,08)^2} =$	(в %)	64	69	71	72	73	73	74
Форма IV	$n =$		1	2	3	4	5	6	7
	$z' = 6n-2 =$		4	10	16	22	28	34	40
	$z = n(3n+1) =$		4	14	30	52	80	114	154
	$D = (2n+0,4)d =$		$2,4d$	$4,4d$	$6,4d$	$8,4d$	$10,4d$	$12,4d$	$14,4d$
	$q = \frac{n(3n+1)}{4(n+0\quad)^2} =$	(в %)	69	72	73	74	74	74	75
Форма V	$n =$		1	2	3	4	5	6	7
	$z' = 6n-1 =$		5	11	17	23	29	35	41
	$z = n(3n+2) =$		5	16	33	56	85	120	161
	$D = (2n+0,7)d =$		$2,7d$	$4,7d$	$6,7d$	$8,7d$	$10,7d$	$12,7d$	$14,7d$
	$q = \frac{n(3n+2)}{(2n+0,7)^2} =$	(в %)	69	73	74	74	74	74	75

n—число повивов; z'—число проволок n-го ряда; z—число проволок в жиле; D—наружный диам. жилы; d—диам. отдельной проволоки; q—коэфф. заполнения (отношение суммы сечений проволок к площади круга, описанного вокруг жилы).

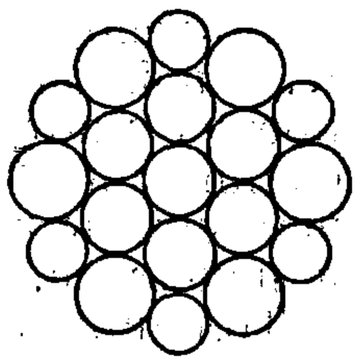
* Формула для z' в данном случае не дает правильной величины, это является исключением (см. также указание в тексте).

Жилы для гибких кабелей, требующие очень большого числа проволок, при крупных сечениях крутятся из отдельных стренг, предварительно скрученных из нескольких проволок. Коэфф-т заполнения для таких жил особенно невыгоден, т. к. он получается как произведение соответствующих коэффициентов для стренги и жилы. Поэтому иногда применяют [33] скрутку таких жил со вкладными проволоками (фиг. 2). В целях экономии в размерах иногда отступают

от принципа скрутки повивов в разные стороны (только при мягко отожженной медной проволоке) и крутят все проволоки в одну сторону. На фиг. 3 дан подобный пример для 19-проволочной скрутки. В этом случае требуется составление жилы из проволок 3 различных диам., но взамен получается сокращение наружного диаметра жилы приблизительно на 5%; на такую же величину сокращается и вес оболочек К. Пример комбинации скрутки в разные стороны со скруткой в одну сторону дает фиг. 4, где проволоки *a* скручены в одну сторону с проволоками *b*, а проволоки *c*—в сторону, противоположную проволокам *a*. Назначение этой конструкции — искусственное повышение диам. провода для снижения



Фиг. 2.



Фиг. 3.

напряженности поля [30 kV-ный кабель станции Клингенберг (в Берлине)]. Кроме этого приема, для искусственного увеличения диаметра проводящей жилы применяется ряд других: крутка со вкладным сердечником (напр. джутовым), опрессовка проводящей жилы свинцовой оболочкой и др.

Если требуется скрутить такое число изолированных проводников, к-рое не подходит под числа, указанные в табл. 2, или проводники разного диаметра (сечения), то применяют скрутку по принципам н е н о р м а л ь н о й жилы при увеличенных диаметрах или одного центрального проводника или нескольких центральных проводников. В табл. 3 даны конструктивные данные такой скрутки.

Т а б л. 3.—К о н с т р у к т и в н ы е д а н н ы е н е н о р м а л ь н о й ж и л ы.

Число проволок		Форма крутки	Число проволок в центре, получающих увеличение диаметра	Диаметр	
всей жилы	в последоват. повивах			каждой центральной проволоки	скрученной жилы
8	1+ 7	I	1	1,3*d*	3,3*d*
9	1+ 8	I	1	1,7*d*	3,7*d*
10	1+ 9	I	1	2,0*d*	4,0*d*
11	1+10	I	1	2,3*d*	4,3*d*
13	3+10	III	3	1,08*d*	4,34*d*
15	4+11	IV	4	1,12*d*	4,7*d*
17	4+13	IV	4	1,40*d*	5,3*d*
18	4+14	IV	4	1,55*d*	5,7*d*
20	5+15	V	5	1,48*d*	6,0*d*
21	1+7+13	I	1	1,3*d*	5,3*d*
23	1+8+14	I	1	1,7*d*	5,7*d*
25	1+9+15	I	1	2,0*d*	6,0*d*

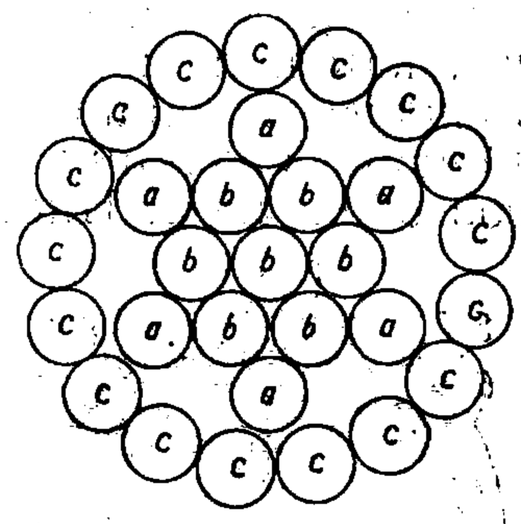
Данные табл. 3 и аналогичные им вычисляются из ф-л: наружный диаметр скрученной жилы

$$D = \left(\frac{1}{3} z' + 1\right) d ,$$

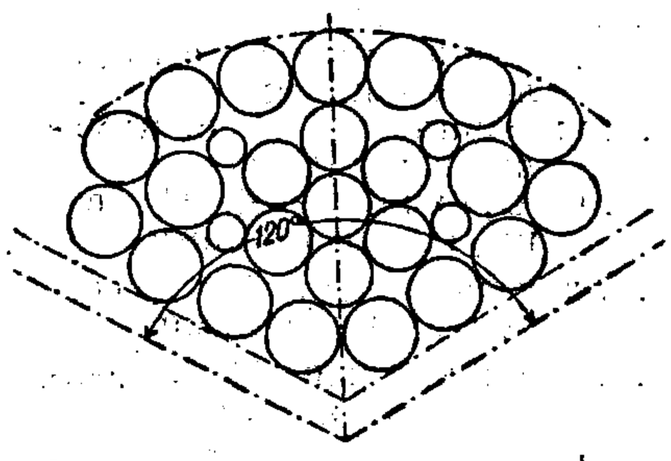
диаметр центральной проволоки или центральной скрутки

$$D_i = \left(\frac{1}{3} z' - 1\right) d .$$

Сегментные или секторные формы проводящих жил употребляются для сокращения наружного диаметра К., а следовательно, и для уменьшения его стоимости. Существуют следующие способы образования таких жил. 1) Одна или две центральные проволоки изготовляются с фасонным профилем; они образуют центральный фасонный сердечник, вокруг которого имеются один или несколько повивов круглой проволокой. 2) Скручивают, как обычно, круглую жилу из нормального числа проволок и придают ей фасонный профиль штамповкой на особом прессе (этот способ преимущественно распространен в Англии и С. Ш. А.). Чтобы избежать перебивания проволок, 2 наружных слоя в этом случае крутят в одну сторону. Способ этот дает очень экономные размеры жилы (3—5% уменьшения), но невыгоден в том отношении, что жестянит медь. 3) Пропускают без скрутки через крутильную машину ряд центральных, б. ч. разного диаметра, проволок или скрученных стренг и поверх этих проволок или стренг дают один или несколько повивов круглой проволокой. Этот способ наиболее распространен; он имеет очень большое число видоизменений. Пример такого образования секторной жилы сечением 120 *мм*² для трехфазного кабеля дан на фиг. 5, где в центре расположена стренга, скрученная из 7 проволок, остальные же внутренние проволоки лежат без скрутки. Выбор конструкции секторных жил, а также направлений скруток жилы и К., вследствие особенностей скрутки секторных К. (они должны крутиться без открутки), требует особой осторожности. При конструировании такой жилы нужно соблюдать правило расположения внутренних проволок по нейтральному волокну и «правило качения» проволок вокруг сердечника [31].



Фиг. 4.

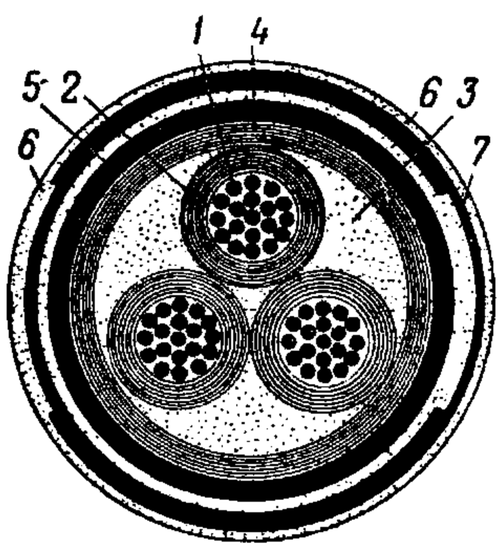


Фиг. 5.

Шаг крутки (длина хода винта) влияет на механич. устойчивость жилы и на расход материала. Он обычно берется: для голых неизолированных К. в пределах 10÷12,5 наружных диам. К., для К. с бумажной пропитанной изоляцией—16÷18 наружных диам. медной жилы, для К. с резиновой изоляцией—13÷16 диам. медной жилы и для скрутки 3 жил трехфазного К.—ок. 35 диам.

И з о л и р у ю щ и е и з а щ и т н ы е о б о л о ч к и. Толщины изоляции К. на рабочее напряжение до 20—30 kV почти во всех

странах нормированы. Для более высоких напряжений они определяются расчетом на электрич. прочность. Кроме толщины изоляции для К. с пропитанной бумажной изоляцией большинство стандартов нормируют т. н. нормальную конструкцию К., которая заключается в том, что две, три или четыре изолированные жилы скручиваются вместе, при чем пустые места заполняются волокнистым материалом, а поверх скрутки накладывается общая изоляция такой же толщины, как и на жилах. В этой конструкции толщина изоляции между жилами равна толщине изоляции между жилой и свинцовой оболочкой. Иногда, и особенно часто в Англии и С. Ш. А., толщина общей изоляции уменьшается по сравнению с изоляцией по жилам, особенно в случае заземленной нейтрали. На фиг. 6 изображен К. нормальной конструкции с круглыми жилами, снабженный защитными оболочками (здесь *1*—проводящая жила, *2*—изоляция по жиле, *3*—прокладка, *4*—общая изоляция, *5*—свинцовая оболочка, *6*—джут и *7*—ленточная броня).



Фиг. 6.

Диаметр D изолированного К. нормальной конструкции под свинцовой оболочкой при равенстве толщин изоляции на жиле и общей изоляции м. б. вычислен по следующим формулам:

$D = 4z + D'$ . . . . . одножильный К.
$D = 6z + 2D'$ . . . . . двухжильный К. с круглыми жилами
$D = 6{,}3z + 2{,}15\,D'$ . . . трехжильный К. с. круглыми жилами
$D = 6{,}86z + 2{,}43\,D'$ . . . четырехжильный К. с круглыми жилами
$D = 6{,}0z + 1{,}85\sqrt{Q}$ . . . двухжильный К. с сегментными жилами
$D = 6{,}3z + 2{,}4\sqrt{Q}$ . . . трехжильный К. с секторными жилами
$D = 6{,}86z + 2{,}65\sqrt{Q}$ . . четырехжильный К. с секторными жилами

где: D'—диам. проводящей жилы, Q—сечение каждой жилы и z—половина табличной толщины изоляции (радиальная изоляция), взятой из норм I Всесоюзного энергетич. съезда (ВЭС) или VDE. В виду большого разнообразия конструкций секторных и сегментных жил результаты вычислений по этим ф-лам для секторных кабелей могут давать отклонения в 1—2 *мм*; для вполне точного определения диам. нужно знать точную конструкцию сектора.

Толщины свинцовых оболочек также нормируются соответствующими стандартами. Они б. ч. ставятся в линейной зависимости от диам. изолированного К. и назначаются не ниже 1,1—1,2 *мм*, обусловливаемых пределом надежной работы свинцовых прессов. К. в голой свинцовой оболочке называется голым освинцованным К. (марка СГН или СГСН для случая изоляции из пропитанной бумаги). Такие К. особенно распространены в Америке, где они прокладываются в канализации (доктах). К., прокладываемые в станционных помещениях, получают поверх свинцовой оболочки слой специального состава, один или два слоя бумажной ленты и обмотку пропитанным джутом; такой К. называется асфальтированным (торг. марка САН или САСН). К., прокладываемые непосредственно в земле, отличаются от асфальтированного К. тем, что поверх пропитанного джута они имеют броню из 2 железных лент (торг. марка СБН или СБСН) или из плоских железных проволок (торг. марка СПН или СПСН), покрытую оболочкой из пропитанного джута и слоем мелового раствора (для предупреждения слипания на барабане). Подводные кабели имеют броню из круглых толстых железных проволок (от 4 до 8 *мм* в диаметре) или из профильных проволок, а иногда две проволочные брони; комбинация из ленточной и проволочной брони теперь оставлена. Оставлено также и опрессование подводных К. двойной свинцовой оболочкой, часто прежде употреблявшееся, так как простая свинцовая оболочка, даже несколько меньшая суммы двух оболочек, гораздо прочнее и надежнее.

Толщины защитных оболочек также б. ч. нормируются. При ленточной броне лента верхнего слоя должна перекрывать ленту нижнего слоя примерно на $^1/_3$ ширины. Ширина брони зависит от шага брони, выбираемого в зависимости от диам. К. и расстояния между краями ленты на К. (отрицательной перекрыши); обычно она приближается к величине покрываемого диаметра. Число круглых проволок брони вычисляется по формуле:

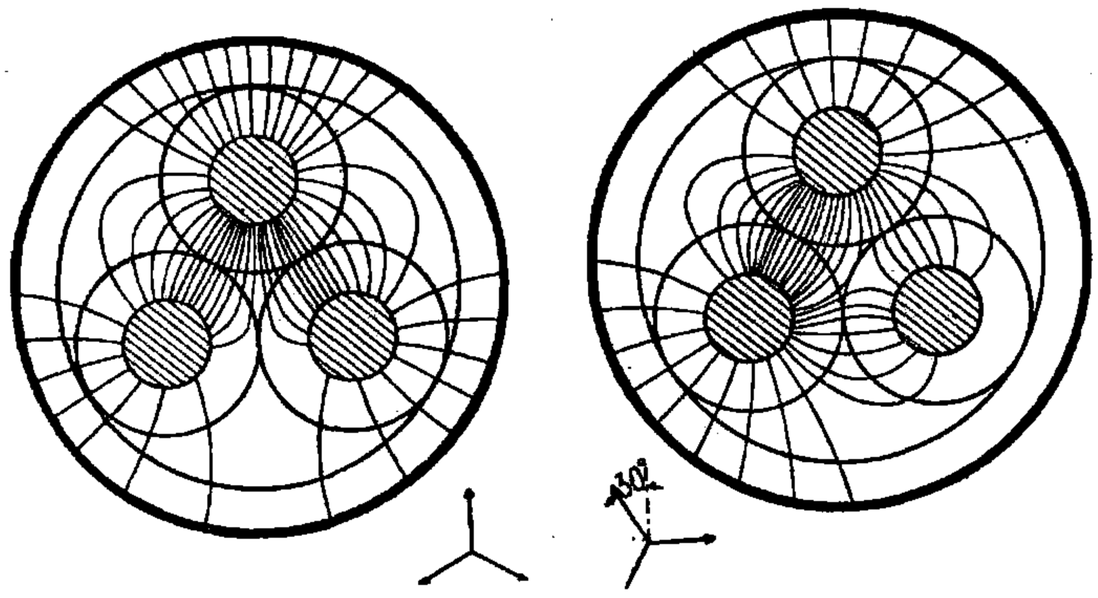
$$n = \frac{3{,}14\,(D + d)}{1{,}1\,d}, \qquad (1)$$

где D—диаметр К. под броней и d—диаметр проволоки.

Веса и строительные длины. Из за удобства обращения при прокладке и транспорте предпочитают не превосходить 3 000—3 500 *кг* нетто К. на строительную длину. Практика установила наружный диам. К. в 100—110 *мм* и вес в 30 *кг* на *п. м* как пределы, выше к-рых прокладка становится очень неудобной. Обусловливаемая вышеуказанным предельным весом строительная длина К. в случае надобности м. б. значительно превзойдена; так, в 1922 году фирмой Сименс-Шуккерт для норвежских фиордов были изготовлены подводные К. на 22 kV, вес отдельной строительной длины у к-рых достигал 65 *т*. Можно считать, что кабельные з-ды без особых затруднений могут давать кабели весом в 7 000—8 000 *кг* в одном конце.

Современные специальные К. Нормальная конструкция К. обладает рядом недостатков, делающих ее непригодной для напряжений выше 25—30 kV. Наиболее существенные недостатки этого К.—тангенциальная электрич. напряженность диэлектрика и остаточные деформации после расширения свинцовой оболочки, вызываемого циклами нагрева или механич. усилиями. На фиг. 7 изображено электрич. поле этого К.; из фиг. видно, что частично слои бумажной изоляции получаются тангенциально напряженными, а диэлектрич. проч-

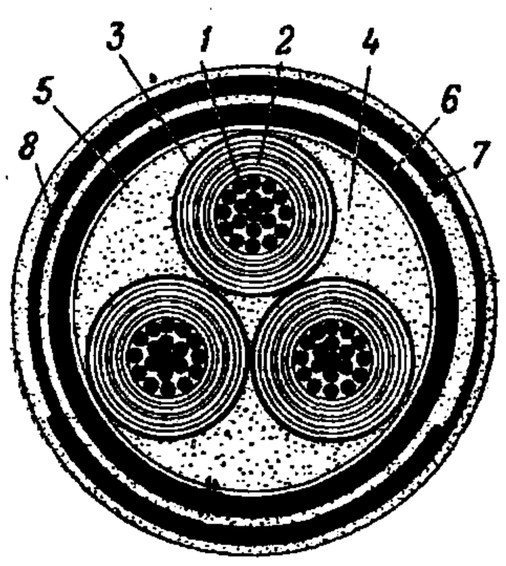
ность бумаги в тангенциальном направлении значительно ниже, чем в радиальном. В прокладке между жилами К. нормальной конструкции легко образуются пустоты, в



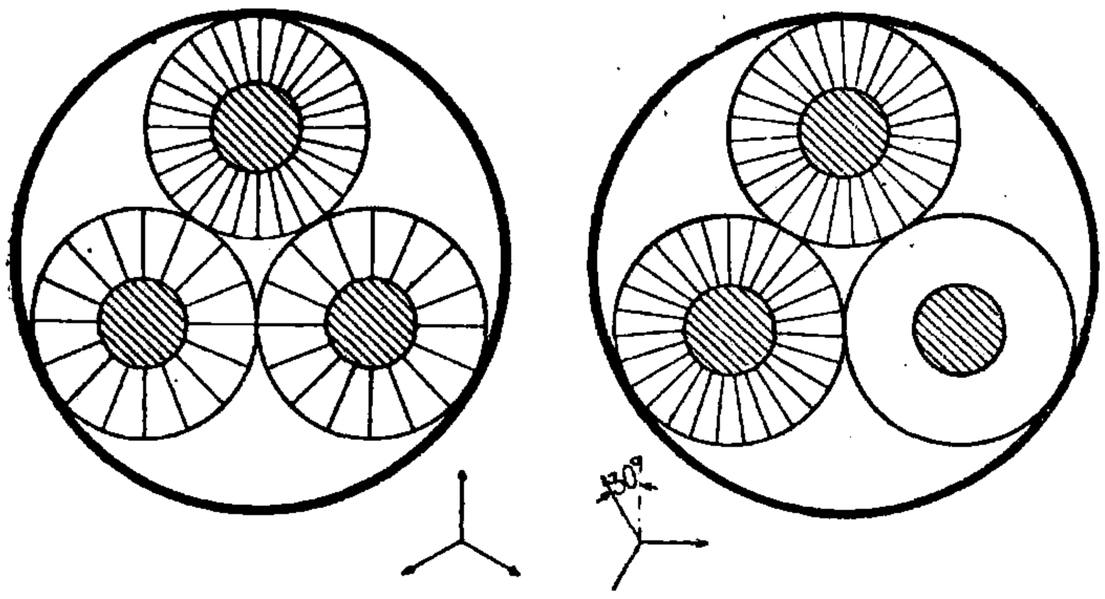
Фиг. 7.

к-рых возникает ионизация, чему менее подвержены К. описанных ниже специальных конструкций. К такому же результату ведет и остаточное расширение свинцовой оболочки, получающееся после ряда циклов нагрева К. током из-за ее малой эластичности.

Наиболее распространенным из специальных высоковольтных К. является К. с металлизированными жилами, так наз. Н-кабель (Г. П.—Гехштетера). Идея этого К. заключается в том, что каждая изолированная жила обматывается сверху металлизированной (преимущественно алюминием) и перфорированной (для возможности пропитки) бумагой. Три такие жилы скручиваются вместе с джутовой или бумажной прокладкой, а затем обматываются полотном, протканным медными тонкими проволоками (для контакта между свинцовой оболочкой и металлизирован. бумагой), затем после сушки и пропитки К. опрессовывается общей свинцовой оболочкой [41]. На фиг. 8 показано сечение этого К., где *1*—проводящая жила, *2*—кабельная бумага, *3*—металлизированная бумага, *4*—прокладка, *5*—полотно, протканное медными проволоками, *6*—свинец, *7*—ленточная броня и *8*—джут.



Фиг. 8.

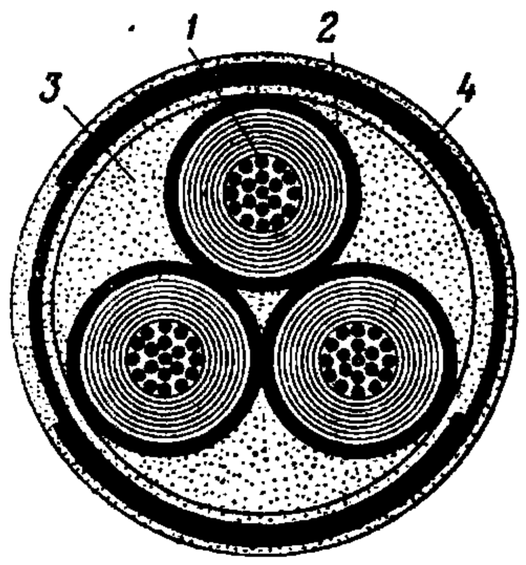


Фиг. 9.

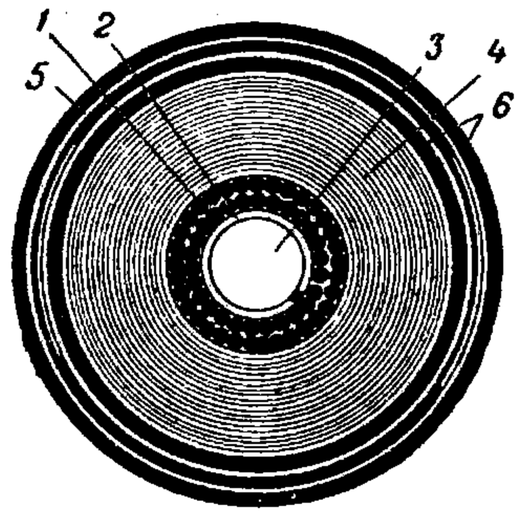
На фиг. 9 показано электрич. поле этого К.; оно сводится к полю одножильного К. Такие К. делаются трехжильными для напряжений от 10 до 60 kV, а опытные К. даже до 100 kV. Принцип металлизации жил часто прилагается также и к одножильным К.

Ту же задачу стремится решить так наз. S-L-кабель. На фиг. 10 дано сечение этого К. В нем каждая изолированная жила *1* отдельно опрессовывается свинцовой оболочкой *2*, после чего жилы скручиваются вместе с прокладками *3* из джута и покрываются общей броней *4*. Имеются установки: кабельное кольцо вокруг Ленинграда на 35 kV, кабельная сеть для электрификации пригородного сообщения в Берлине на 30 kV (изготовление завода Фогеля, длина около 20 *км*) и опытные участки в Англии на 44 kV [16,40].

Проблема К. на напряжение выше 60 kV в настоящее время практически решается системой трех одножильных К. Наиболее известным из таких К. является кабель Пирелли (Ит. патент—Л. Эмануелли), изображенный на фиг. 11 (*2*—опорная спираль, *4*—изоляция, *5*—броня из медных лент, назначение к-рой—укрепление свинцовой оболочки). Этот К. резко отличается от всех



Фиг. 10.

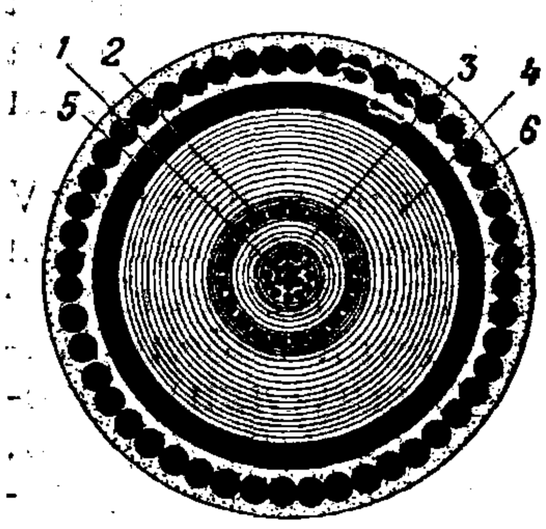


Фиг. 11.

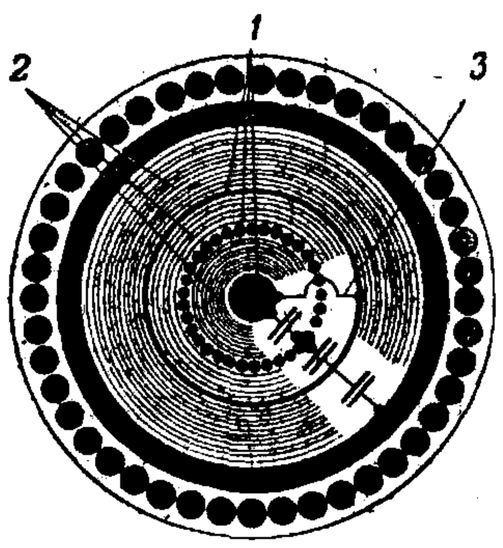
прежних К. как способом его установки, так и производством. Внутри проводящей жилы *1* К. имеет полое пространство *3*, где циркулирует масло, находящееся под давлением, создаваемым при помощи резервуаров, устанавливаемых рядом с муфтами. Пропитка, в отличие от остальных К., производится жидким минеральным маслом, типа трансформаторного. Наличием канала внутри жилы и малой вязкостью пропиточной массы достигается полное устранение влияния термич. расширения и сокращения как масла, так и свинцовой оболочки *6*. Кабельная бумага применяется разной плотности, а именно: вблизи проводящей жилы идет особо уплотненная, затем—менее уплотненная и последние слои—нормальная кабельная бумага; т. о., соблюден т. н. принцип градации, заключающийся в расположении изоляции с наибольшей диэлектрич. постоянной (и обладающей большей электрич. прочностью) в наиболее напряженных частях К., чем достигается выравнивание электрич. напряженности изоляции. Как сушка, так и пропитка этого К. производятся, в отличие от прочих К., после опрессования К. свинцовой оболочкой. Помимо опытного участка в Италии, К. этот установлен в кольцевых сетях Нью Иорка и Чикаго на напряжение 132 kV—максимальное пока рабочее напряжение в установленных К. [43,83].

Немецкие К. для высших напряжений бывают двух конструкций—Маурера и Зильбермана; оба проложены на опытной линии в Нейнаре, с рабочим напряжением 110 kV. Сечение К. сист. Маурера дано на фиг. 12.

Его проводящая жила разбита на две части: внутреннюю скрутку *1* и наружный слой *2* из плоских проволок, разделенных слоем пропитанной бумажной изоляции *3* и соединяющихся вместе в муфтах К. Разделение это мотивируется необходимостью искусственного увеличения диаметра проводящей жилы для получения наивыгоднейшего диаметра К. Изоляция *4* поверх верхнего слоя



Фиг. 12.

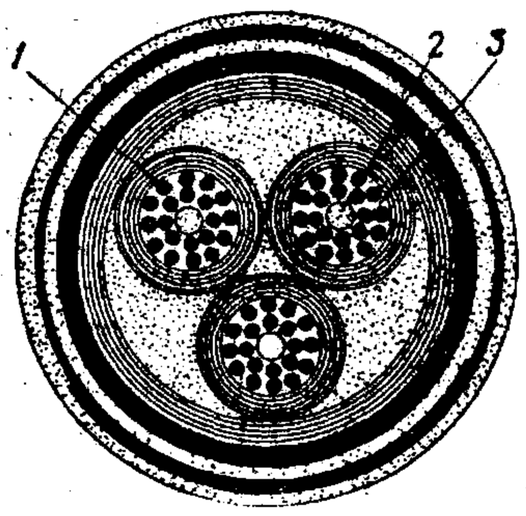


Фиг. 13.

проволок наложена по принципу градации, как и в К. сист. Пирелли. К. бронирован поверх свинцовой оболочки *5* проволоками из немагнитного материала *6* [91]. К. сист. Зильбермана (фиг. 13), являясь развитием старой идеи Цапфа, представляет собою другое очень интересное решение вопроса о выравнивании электрической напряженности диэлектрика одножильного К. Внутреннее пространство проводящей жилы *1*, рассчитанное по диам. на наивыгоднейший наружный диаметр, Зильберман использует для включения добавочного конденсатора в форме слоев проволоки, разделенных изоляцией *2*, чем он разгружает наиболее напряженные слои последней. В муфтах добавочные конденсаторы и жилы соответствующим образом (*3*) соединяются [35].

Идея подразделения изоляции на секции использована в английск. К. сист. Тейлора, предназначенном для 150 kV; этот К. требует, однако, специальных трансформаторов и практически не выполнен.

Для прокладки в почвах, подверженных сильным смещениям, оплывам и т. п., в последнее время создан тип так наз. расширительного К. (Dehnungskabel) [36]. Проводящая жила *1* кельнского К. скручена из проволок, наложенных на мягкий джутовый сердечник *2* (фиг. 14); кроме того, между проволоками имеется зазор *3*, а шаг крутки почти вдвое меньше обычного. Благодаря этому К. без вреда м. б. растянут на 1% своей длины, что совершенно не было достижимо при старом методе устройства сложных соединений в специальных расширительных муфтах. К. з-да в Дуисбурге устроен так, что в нем изолированные жилы скручиваются на мягком сердечнике. Эти новые К. строятся теперь до 35 kV как по нормальной конструкции, так и (для высоких напряжений) по конструкции Н-кабеля.



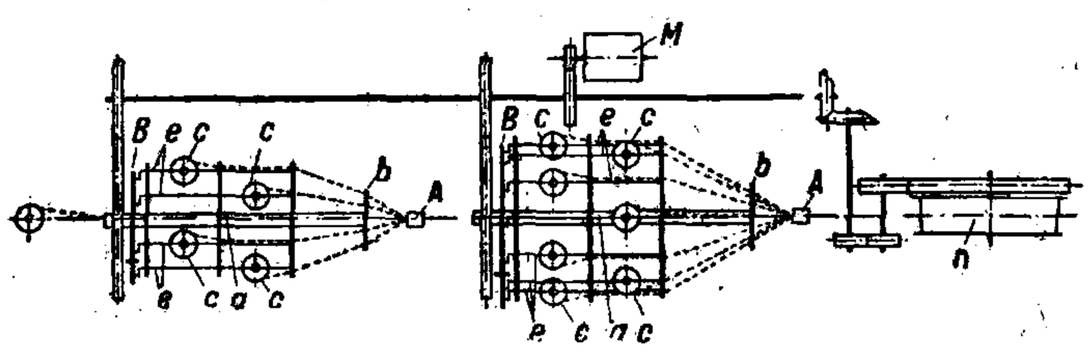
Фиг. 14.

К. сист. Липро и Пфанкуха строятся для специальных целей селективной защиты. Конструкция их приноровлена к схемам селективной защиты, и особенности заключаются в том, что у К. сист. Липро имеется в центре проводящей жилы изолированный сердечник, а в К. сист. Пфанкуха проволоки наружного слоя изолированы через одну [38].

Для воздушных линий при напряжениях от 220 kV и выше создан ряд конструкций т. н. полого К. Наиболее известные из них полые К. сист. Фельтен и Гильома, Сименс-Шуккерта, Анаконда и др. [42].

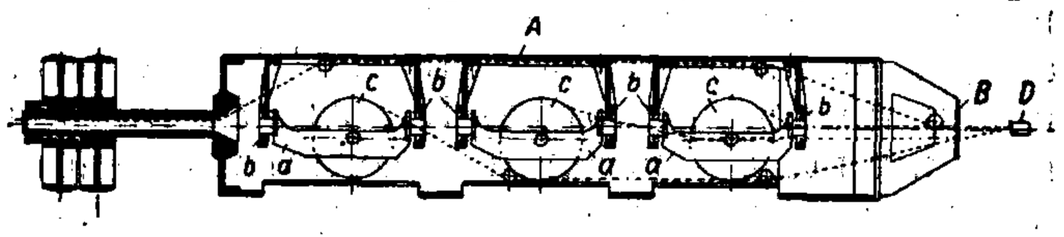
Производство К. Почти все европейские з-ды имеют свои волочильные отделы для волочения проволоки до требуемых размеров; большинство з-дов имеет также и прокатные станы для прокатки медных вайербарсов в катанку. Однако, производство проволоки не является характерным для кабельного производства и поэтому здесь не описывается. Чисто кабельное производство начинается с размотки проволоки и крутки проводящей жилы.

Крутка. На фиг. 15 дана схема крутильной машины для правильной крутки проволок. Машина имеет полые оси *a* для пропуска центровой проволоки или отдельн. повивов. Машины строятся на 1, 2, 3 и даже на 4 клети, могущие вращаться как в одну,



Фиг. 15.

так и в разные стороны, по желанию. Все движение машины идет от одного мотора *M*. Тяга скрученной жилы осуществляется тяговым колесом *D*, за к-рым на специальном приемнике стоит приемный барабан для жилы. Ролики *c* с намотанной на них проволокой имеют не показанные на схеме тормоза для натяжения проволоки, идущей через

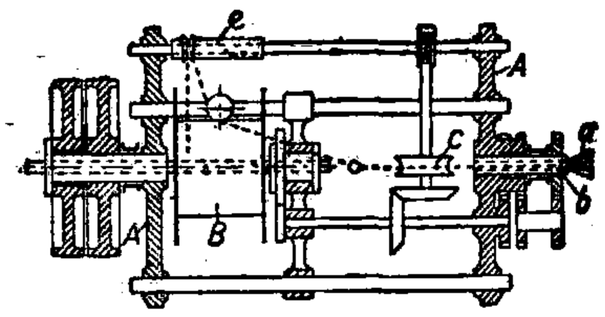


Фиг. 16.

розетку *b* в калибр *A* с отверстием по диам. скрученной жилы. Машины имеют эксцентрично насаженные колеса *B*, связанные кривошипами с иохами (ярмо) *e*, на к-рые ставятся ролики *c*. Благодаря эксцентрическому колесу *B* иохи *e*, а вместе с ними и ролики *c*, за каждый оборот машины поворачиваются на 360° в сторону, обратную направлению вращения клети (крутка «с откруткой»). Цель такого устройства заключается в предупреждении неизбежного закручивания каждой проволоки вокруг своей оси на 360° при каждом обороте клети, чем избегаются остаточные скручивающие напряжения в проволоке и самораскручивание жилы. Машины этого типа—тихоходные и дают около 1 000—1 500 *м* за 8 ч.

На фиг. 16 дана схема быстроходной крутильной машины, в русской практике называемой «сигарой». Ролики *c* с проволокой

посажены в иохи a, имеющие полые оси и опирающиеся на шариковые подшипники b; эти ролики во время вращения тела сигары A остаются параллельными своему исходному положению, чем осуществляется принцип открутки. Проволока с роликов идет через полые оси иохов по телу сигары и по направляющим роликам к розетке B и калибру D, а затем к тяговой шайбе и приемному барабану. Машины преимущественно строятся на 6 роликов для 7-проволочной крутки (от мелких сечений до 50 *мм*²). Для крутки в 19 проволок строятся сигары, имеющие два тела A, стоящие на одной оси и вращающиеся в разные стороны. Однако, 19-проволочная крутка на сигарах пока возможна только для мелких сечений, т. к. внутренняя 7-проволочная заготовка должна пройти по стенкам второго тела сигары, где она неизбежно подвергается острым изгибам, и потому крутка идет плохо. Недавно выпущен новый 13-роликовый тип сигары, где внутренняя 7-проволочная заготовка ставится на переднем ролике, имеющем увеличенные размеры, чем до нек-рой степени ослабляются недостатки 19-проволочной сигары. Производительность сигар в 5—8 раз выше тихоходной машины.

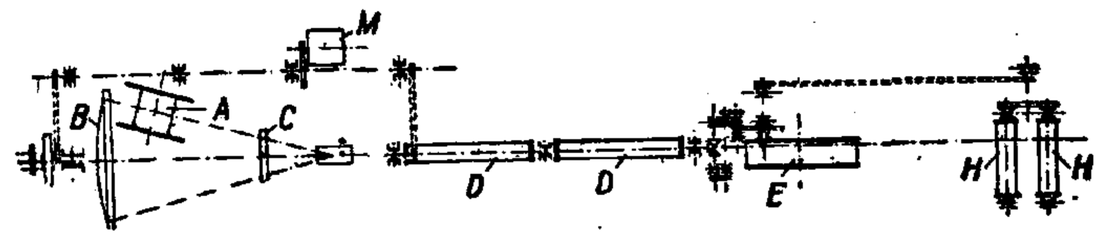


Фиг. 17.

Дикая (шнуровая) скрутка осуществляется простыми и лёгкими машинами, т. н. крыльчатками, имеющими много разновидностей. Одна из разновидностей изображена на фиг. 17. Пучок тонких проволок a, сматывающийся с катушек или роликов, расположенных вне машины, проходит через ось b, вращающуюся вместе с телом крыльчатки A. Скрученный пучок через тяговой ролик c и автоматич. водилку e наматывается на приемный барабан B, расположенный внутри крыльчатки.

Имеется также ряд типов вертикальных крутильных машин как с откруткой, так и без открутки, предназначенных для правильной крутки мелких сечений.

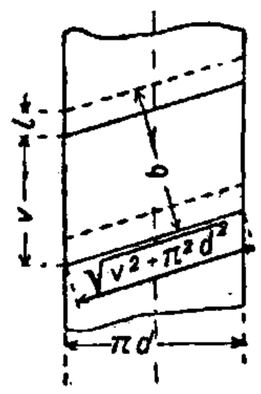
Изолированные жилы скручиваются в К. на т. н. трехфазных машинах; схема одного из больших типов таких машин дана на фиг. 18. Вся машина получает движение от



Фиг. 18.

мотора M. Ролики A с намотанной изолированной жилой ставятся на иохи, укрепленные между шайбой машины B и венцом C. Шайба B имеет набор переставляемых зубчатых колес, позволяющих удобно крутить как с откруткой, так и без открутки. К трехфазной машине почти всегда ставятся и изолировочные аппараты D, где К. получает кольцевую изоляцию или обматывается лентой для механич. прочности. Тяга К. осуществляется тяговой шайбой E, после к-рой К. идет на приемный барабан, устанавливаемый на приемнике H. Удобное переключение для крутки с откруткой и без открутки очень важно для этих машин, так как секторные К. можно крутить только без открутки.

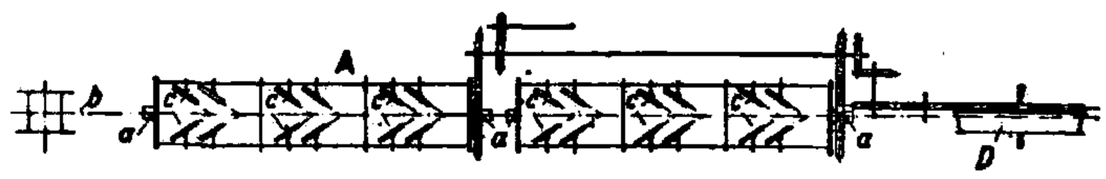
Изолировка К. Кабели с изоляцией из пропитанной бумаги изолируются почти всегда до пропитки. Исключение представляет способ Бивера, в к-ром К. изолируется уже пропитанной бумагой и под изолирующим маслом (применяется в Англии только на одном заводе). Ширина бумажной ленты (см. схему обмотки лентой на фиг. 19) выбирается по формуле:



Фиг. 19.

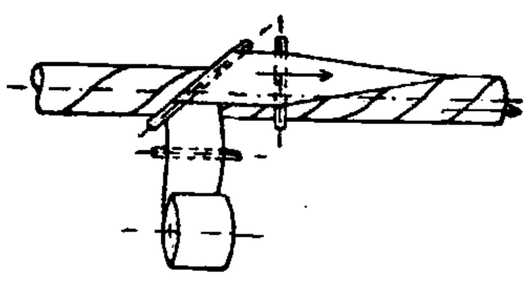
$$b = \frac{\pi d\,(v+l)}{\sqrt{v^2+\pi^2 d^2}}.$$

Величина перекрытия l выбирается различными з-дами по-разному. Теоретически правильно брать $l=0$, но тогда при изгибах К. могут страдать кромки бумаги, поэтому часто дают положительное перекрытие, а иногда—отрицательное [30]. Схема наиболее распространенной изолировочной машины дана на фиг. 20. Она имеет полые оси a,



Фиг. 20.

через к-рые проходит изолируемая жила b. Машина состоит из одного или нескольких обмоточных аппаратов A, могущих вращаться в одну и в разные стороны. Тарелки c с кружками нарезанной бумаги могут переставляться как под углом к движению жилы, так и вдоль ее движения. Число тарелок c в одной машине при нескольких аппаратах может доходить до 100. D—тяговая шайба. Другой часто встречающийся тип изолировочной машины—это тип венского завода Демут. Машина состоит из отдельных спинеров с тремя тарелками на каждом. Хотя машина получается очень длинной, зато через каждые 3 ленты бумаги можно менять направление обмотки, что прежде очень ценилось.

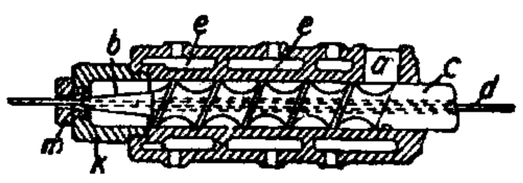


Фиг. 21.

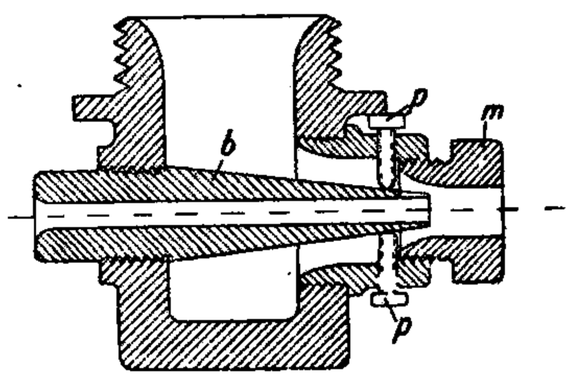
В описанных выше типах машин получается не совсем равномерное натяжение кромок бумаги, вследствие чего трудно получить т. н. «деревянную» обмотку, необходимую для К. на очень высокое напряжение. В последнее время развился новый тип т. н. тангенциальной изолировочной машины. На фиг. 21 показан принцип тангенциальной обмотки так, как он выполняется герм. фирмой Нигауз. Фирма Фр. Крупп строит такие же машины с роликами бумаги, расположенными не перпендикулярно, а параллельно обматываемой жиле. При обмотке, во избежание сморщивания бумаги и ослабления тем самым электрической прочности кабеля желательно брать насколько возможно более узкие ленты.

Резиновая изоляция накладывается одним из 3 способов: обмотка, горячая прессовка и

холодная прессовка. Первый способ, самый старый, теперь редко применяют. В этом способе на обмоточных машинах, аналогичных вышеописанным, медная луженая жила обматывается одной или несколькими прокаландрованными и разрезанными на кружки резиновыми лентами и сверху обматывается прорезиненной лентой. Схема горячего пресса (шприц-пресса) изображена на фиг. 22, а на фиг. 23 дана головка пресса (в к-ром, однако, опрессовываемая проволока проходит не через шнек, а перпендикулярно к нему). Резиновая смесь в форме колбасок или лент закладывается в отверстие *a* и затем

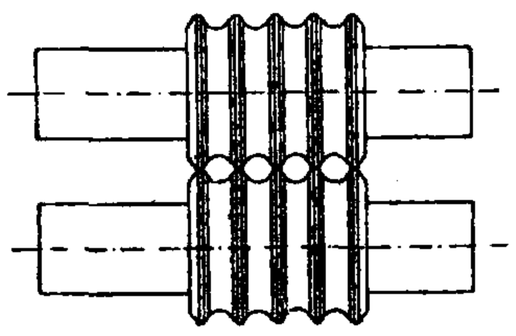


Фиг. 22.



Фиг. 23.

вращающимся шнеком *c* подается в кольцевое отверстие между дорном *b* и матрицей *m*. Опрессовываемая проволока *d* под действием тягового аппарата проходит через полый шнек в кольцевое отверстие, где покрывается резиновой оболочкой. Пространства *e* обтекаются или паром или водой для регулирования *t*° смеси. Головка *k* может вывинчиваться для смены дорна и матрицы. В головке на фиг. 23 дорн можно центрировать винтами *p*. На шприц-прессах можно накладывать изоляцию только в один слой, т. к. при вторичном опрессовании трудно получить изоляцию, к-рая не расслаивалась бы. Для изоляции в два и более слоев служат продольные (или холодные) прессы. На этих прессах проволоки проходят через одну, две или три пары вальцов, подобных изображенным на фиг. 24; к этим же вальцам с кружков подходят сверху и снизу две резиновые ленты, к-рые вальцами плотно прижимаются к проволокам и одновременно простым давлением склеиваются и режутся.

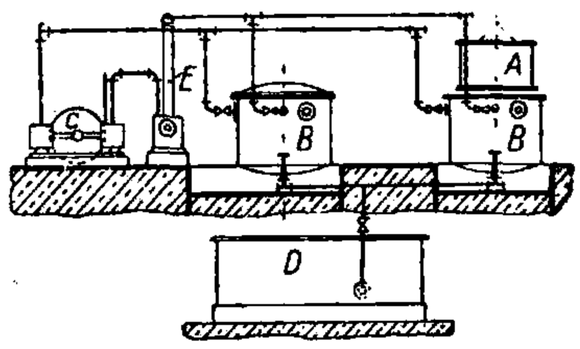


Фиг. 24.

Обмотку прорезиненной лентой провода получают б. ч. на особых лентообмоточных машинах, а иногда на обмоточных аппаратах, пристроенных к продольному прессу. Вулканизации провода подвергаются уже после обмотки прорезиненной лентой в особых котлах, т. н. в у л к а н и з а т о р а х. Вулканизатор представляет собою котел со змеевиком, в к-ром на железных барабанах, на больших железных тарелках или в бухтах закладывается подвергающийся вулканизации провод; через котел проходит пар при давлении 40—45 *фн/дм*². Время вулканизации зависит от состава резиновой смеси.

Необходимая для покрытия изоляцией резиновая смесь доставляется из резиноделательного отдела з-да, являющегося в виду особенности предъявляемых к изоляционной резине требований необходимой принадлежностью каждого кабельного з-да, выпускающего резиновые провода и К. В существенном оборудование этих отделов не отличается от оборудования резиновых з-дов.

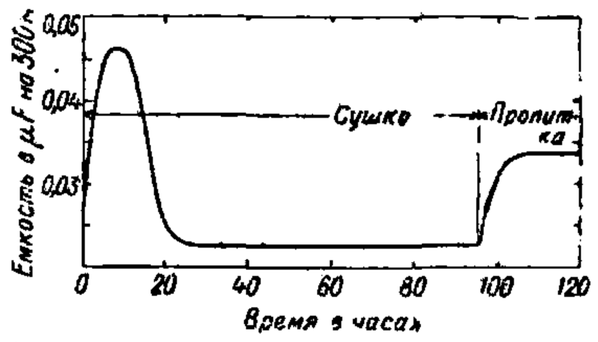
С у ш к а и п р о п и т к а. Процесс сушки и пропитки К. является одной из наиболее ответственных операций, определяющих качество диэлектрика К. Как сушка, так и пропитка ведется обычно в одной и той же аппаратуре. Схема одной из таких установок дана на фиг. 25. Изолированный К., намотанный на железные барабаны *A* или смотанный в специальные железные корзины, погружается в вакуум-аппарат *B*, где он в течение некоторого времени (обычно 1—2 час.) нагревается, благодаря паровому змеевику (или рубашке), имеющемуся в аппарате. После этого при помощи насоса *C* воздух эвакуируется, а К. продолжает нагреваться под вакуумом. Продолжительность процесса сушки в зависимости от вакуума, толщины изоляции, веса бумаги, степени сушки и от установившихся методов з-да колеблется в весьма широких пределах: от полного отсутствия сушки до 6 суток, обычная же продолжительность—от 24 часов до 3 суток [65,67]. Контроль сушки почти всегда производится при помощи конденсатора *E* путем наблюдений за выходом конденсата и наличием «росы» в смотровом стекле конденсатора. Для получения вполне удовлетворительного кабеля требуется очень высокий вакуум; лучшие з-ды в настоящее время достигают практически абсолютного вакуума (до 1—2 *мм* Hg и ниже), употребляя при конце процесса насосы почти лабораторного типа. После окончания сушки К. немедленно пропитывается путем открытия вентилей, дающих доступ пропиточной массе в вакуум-аппарат из сборного тенкса *D* (пропитка под вакуумом). Процесс пропитки б. ч. ведется так: несколько часов (2—4 ч.) после впуска пропиточной массы К. продолжает обогреваться, а затем пар закрывается, и К. или остывает в том же котле или же переносится в другой холодный котел с массой, где он и остывает. Темп-ры как сушки, так и начала пропитки колеблются в пределах 110÷130°. Хорошо сделанный К. должен опрессовываться свинцовой оболочкой, будучи охлажденным до 4—6° выше окружающей *t*° (некоторое превышение требуется для устранения отпотевания). Если это не сделано, то вследствие теплового сокращения объема массы, К. получит внутрь воздух. Описанный ход сушки и пропитки иногда значительно усложняется, а именно: применяется нагрев жил током или электризация постоянным током высокого напряжения, а также продувание углекислотой или другим нейтральным газом, для того чтобы газовые включения, почти неизбежные в К., не содержали кислорода и т. п.



Фиг. 25.

В последнее время для установления режимов сушки и пропитки К. применяется способ контроля путем электрич. измерений емкости или угла потерь во время самого процесса. Характер кривых, получающихся

при таких измерениях, дан на фиг. 26 [59]. Подобного же рода немецкие исследования описаны П. Юниусом [27, 28]. Освинцевание и бронирование К. делается так же, как телефонного К.



Фиг. 26.

Теория К. Самоиндукция К. играет для высоковольтных К. незначительную роль. Коэфф. самоиндукции при нормальных частотах м. б. для трехфазного скрученного К. вычислен из ф-лы:

$$L = l\left(0{,}05 + 0{,}46 \lg \frac{2D}{d}\right) 10^{-3} \text{ H/км}, \quad (3)$$

где D—расстояние между центрами проводящих жил К., d—диаметр проводящей жилы и l—длина каждой жилы на 1 *км*.

Емкость К. Емкость одножильного К. на 1 *км* длины высчитывается по ф-ле:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot 10^{-6}}{9 \cdot 4{,}6 \lg \frac{R}{r}} \text{ F/км}, \quad (4)$$

где R—внутренний радиус свинцовой оболочки, r — радиус проводящей жилы, ε — диэлектрич. постоянная. Рабочая емкость трехжильного К. при трехфазном токе м. б. вычислена по ф-ле:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot 10^{-6}}{9 \cdot 4{,}6 \lg \left[\frac{3\,d^2\,(R^2 - d^2)^3}{r^2 \quad R^6 - d^6}\right]} \text{ F/км}, \quad (5)$$

где R—радиус свинцовой оболочки, d—расстояние от центра К. до центра проводящей жилы, r—радиус проводящей жилы, ε—диэлектрич. постоянная (для пропитанной бумажной изоляции в пределах 3,0—4,2). Если все провода будут находиться при потенциале одного знака (напр. грозовой разряд), емкость будет:

$$C_w = \frac{\varepsilon \cdot 10^{-6}}{18 \cdot 4{,}6 \lg \frac{R^6 - d^6}{3d^5 r}} \text{ F/км}. \quad (6)$$

Ф-лы (5) и (6) могут давать ошибку до 10%.

Между частичными емкостями трехфазного К. и емкостью при трехфазном токе имеются следующие соотношения: емкость провода относительно двух других и свинцовой оболочки $= C_{10} + 2C_{12}$, емкость 3 проводов относительно свинцовой оболочки $= 3C_{10}$, емкость при трехфазном токе $= C_{10} + 3C_{12}$, где C_{10} — емкость одного провода относительно свинцовой оболочки, C_{12}—емкость одного провода относительно другого. Отсюда для вычисления емкости при трехфазном токе необходимо сделать 2 измерения, а именно: емкости одной жилы относительно двух других и свинцовой оболочки и емкости 3 жил относит. свинцовой оболочки, откуда вычисляется емкость при трехфазном токе.

Различают: а) статич. емкость, получаемую при помощи измерения методом сравнения при постоянном токе, б) эффективную емкость, получаемую вычислением из отсчетов по амперметру и вольтметру при переменном токе, в) действительную емкость, получаемую при переменном токе из отношения свободного заряда Q_{max} к E_{max} при обработке осциллограмм тока и напряжения [77]. Для $t°$ К., не превышающих $t°$ перехода пропиточной массы из густого в разжиженное состояние (ок. 40°), величины действительной и статич. емкости близко совпадают; при более высоких $t°$ величина статич. емкости быстро возрастает, действительная емкость при этом на 4—5% уменьшается, вследствие уменьшения диэлектрич. постоянной. Эффективная емкость, практически наиболее важная, в высокой степени зависит от формы кривой тока. При синусоидальной форме эта емкость хорошо согласуется с действительной емкостью, при сильно заостренных формах кривой тока эффективная емкость увеличивается (увеличение может достигать 50%), при тупых формах, наоборот, уменьшается.

Электрич. напряженность изоляции одножильного кабеля. Из фиг. 9 видно, что электрич. поле одножильного К. обусловливает неодинаковую напряженность разных слоев изоляции; наиболее напряженными получаются слои, непосредственно прилегающие к проводящей жиле. Классической ф-лой для расчета максимальной напряженности изоляции у поверхности провода является ф-ла О'Гормена:

$$\delta = \frac{v}{2{,}3\, r \lg \frac{R}{r}} \text{ V/мм}, \quad (7)$$

где δ—градиент потенциала у поверхности провода, v—разность потенциалов между жилой и свинцовой оболочкой, R—радиус К. под свинцом, r—радиус проводящей жилы. При заданных δ и v можно из этой ф-лы найти r, к-рому соответствует минимальный R, а именно: при $r = \frac{v}{\delta}$ этот R будет теоретически наивыгоднейшим. Градиент принято выражать в эффективных V. Формула О'Гормена выведена в предположении, что проводящая жила имеет поверхность гладкого цилиндра, в действительности же она большей частью скручена из нескольких проволок. Формула, учитывающая увеличение градиента от проволочности жилы, дана В. Дейтшем [46]:

$$\delta = \frac{0.4343\, v\, \lambda}{r\left(\lg \frac{\lambda}{\nu} + \nu \lg \frac{R}{r}\right)}, \quad (8)$$

где ν—число проволок в верхнем слое медной жилы, а $\lambda = \frac{1 + \nu \sin \frac{\pi}{\nu}}{\sin \frac{\pi}{\nu}}$. При К. с нормальным числом проволок поправка на проволочность жилы достигает 25—30%; поправка тем выше, чем тоньше проволоки. При обычных расчетах, однако, эта поправка включается очень редко, ибо практически важно получить лишь сравнимые результаты.

Опыты с пробоем К. не подтверждают полностью ф-лу О'Гормена; а именно: установлено, что при малых диам. проводящих жил пробивающий градиент получается более высоким, чем при больших. В связи с этим имеется ряд предложений изменений этой ф-лы. Прежде всего нужно упомянуть теорию минимальной напряженности Ферни [47], согласно которой пробой между концентрич. электродами зависит не от максимального градиента у поверхности провода, а от минимального—у слоев, непосредственно прилегающих к свинцовой оболочке,

при чем допускается, что часть диэлектрика около пробоя м. б. перенапряжена выше своего предела электрич. прочности. Формула О'Гормена в этом случае преобразовывается таким образом:

$$\delta = \frac{v}{2{,}3\,R \lg \frac{R}{r}}. \qquad (9)$$

Продифференцировав эти выражения по R и приравняв производную нулю, получим: $\frac{R}{r} = e = 2{,}72$, т. е. минимум минимальной напряженности для всяких напряжений получается при известном соотношении диаметров провода и изолированного К. Т. о., с точки зрения этой теории увеличивать толщину изоляции выше известного предела не только не выгодно, но даже вредно. Контрольные опыты не подтвердили и этой теории, и был сделан еще ряд попыток найти более правильную зависимость. Укажем на последнюю работу в этом направлении П. Л. Гувера [48], к-рый, исходя из теории и экспериментальных работ К. В. Вагнера об электрич. пробое, дал для градиента напряжения следующее выражение:

$$\delta = \frac{2\pi \cdot 175 \cdot r \cdot I}{4\pi^2 r^2 + 0{,}1\, I^2}, \qquad (10)$$

где r—радиус провода, а I—ток в mA через диэлектрик К. на 1 *см* длины. Согласно этой теории, распределение градиента вдоль радиуса К. зависит от материала диэлектрика и от приложенного напряжения, при чем максимальный градиент совпадает с поверхностью проводящей жилы только при нижних напряжениях, а при пробое максимальный градиент получается приблизительно в центре, посредине между жилой и свинцовой оболочкой.

Электрическая напряженность изоляции трехфазного К. Формулы для вычисления градиента напряжения трехфазного К. нормальной конструкции не м. б. выведены так же легко и просто, как для одножильного К., и их приходится выводить с некоторыми допущениями, обусловливающими часто большие ошибки. Существует ряд таких формул, дающих очень несходные результаты. Наиболее надежной и простой ф-лой является ф-ла В. Аткинсона [44], выведенная путем экспериментального исследования поля трехфазного К.:

$$\delta = \frac{0{,}434 v}{\sqrt{3}\, r \lg \frac{2r + d}{\sqrt{3} \cdot r}}, \qquad (11)$$

где v—междуфазное напряжение, d—толщина изоляции между жилами, r—радиус провода, δ—градиент напряжения у поверхности провода в точке, лежащей на линии, соединяющей центр провода с центром К., где градиент получается максимальным. Поправка на проволочность жилы в формулу Аткинсона не включена; величина этой поправки по его опытам близко согласуется с результатами вычислений из формулы Дейтша. В виду неоднородности строения диэлектрика трехфазного К. и возникающих тангенциальных напряжений изоляции, пробойные градиенты трехфазного К. нормальной конструкции б. ч. получаются меньше, чем у одножильного К.

Расчет градиента напряжения трехфазных К. специальных конструкций — H-кабеля, S-L-кабеля сводится к расчету одножильного К. Величина допускаемого градиента в К. на большое напряжение из-за ограниченности наружных размеров неизбежно берется более высокой, чем у К. на малое напряжение, в к-рых толщина изоляции обусловливается главн. обр. механич. прочностью самой изоляции. Толщины изоляции К. по нормам VDE подсчитаны так, что градиент напряжения нигде не превосходит 3 000 V_{eff}/*мм* (для 25 kV рабочего напряжения); для К. в 6 kV градиент не превосходит 1 850 V/*мм*. Для К. на высшее напряжение эти величины значительно больше; напр., одножильные К. для кольца вокруг Парижа, работающие при 60 kV между фазами, имеют градиент 4 350 V/*мм*. За границей фирмы часто гарантируют пробойный градиент: в Америке—15 kV/*мм*, в Германии—20 и даже 25 kV/*мм*. Повышение градиента в высоковольтных К. должно компенсироваться улучшением качества изоляции как путем выбора соответств. сырья, так и методом фабрикации и конструкцией К.

Нагревание К. Нагрев К. при работе обусловливается теплом Джоуля, потерями в диэлектрике, в свинцовой оболочке и броне. Для К. на напряжение до 25 kV потери в диэлектрике играют незначительную роль; потери в свинцовой оболочке и броне могут иметь значение только для одножильных К. при переменном токе, поэтому расчет допустимой нагрузки для К. нормальной конструкции ведут по ф-ле Тейхмюллера (или по ее видоизменениям), учитывающей только тепло Джоуля [50]. В общем виде эта ф-ла гласит:

$$I = \frac{16{,}52}{\sqrt{n \cdot \varrho_\tau}} \sqrt{\frac{Q \cdot \tau}{k \lg \frac{h D_a}{D_h} + H \lg \frac{4l}{D_a}}}, \qquad (12)$$

где I—допустимая нагрузка в A на каждую жилу; n—число проводящих жил в К.; ϱ_τ—удельное сопротивление в Ω материала проводящей жилы, отнесенное к 1 *м* и 1 *мм*² при $t°$, соответствующей повышению на $\tau°$ над окружающей $t°$; Q—площадь поперечного сечения в *мм*²; k—удельн. тепловое сопротивление К. в электрических единицах (разница в °C между противоположными сторонами *см*³, вызывающая переход 1 W тепла); H—то же для почвы; l—глубина прокладки в *мм*;

$$h = \frac{D_1 D_3}{D_2 D_4} \sqrt{\frac{D_h + (n-1)\, D_e}{n D_e}};$$

D_h—диам. круга, описанного из центра К. касательно к наружным поверхностям проводящих жил, в *мм*; D_a—внешний диам. К. в *мм*; D_1 и D_2—внутренний и наружный диам. свинцовой оболочки в *мм*; D_3 и D_4—внутренний и наружн. диам. железн. брони в *мм*; D_e—диам. проводящей жилы в *мм*.

В практике нормирования нагрузки входящие в ф-лу величины принимаются в следующих пределах. а) Рабочая $t°$ принимается от $t = 85° - E$, где E—kV рабочего напряжения (в америк. нормах A. I. E. E.), или до $15° + 25° = 40°$ (в герман. нормах VDE). Англ. нормы B. E. A. M. A.. принимают $t° = 60°$ и 50°, русские ВЭС—50°. б) Тепло-

вое удельное сопротивление К. в нормах VDE принимается $k=550$ (в W, °C, $см^3$); в англ. нормах В. Е. А. М. А. $k=550$ для К. среднего и высокого напряжения и $k=750$ для К. малого напряжения. Американцы не дают нормированной таблицы нагрузок и пользуются для вычислений величинами $k=1\,000 \div 1\,200$. Экспериментальные работы [76] показывают, что k для свежеизготовленных К. колеблется в пределах от 300 до 1 300. Величина k тем меньше, чем лучше пропитка К.; присутствие влаги его понижает; чем выше $t°$, тем меньше k. в) Тепловое сопротивление почвы в нормах VDE принято $H=40$; англ. нормы принимают $H=180$, давая в то же время поправочные коэфф-ты для % содержания в почве влаги и для характера почвы. Величина H варьирует по разным нормам от 40 до 380.

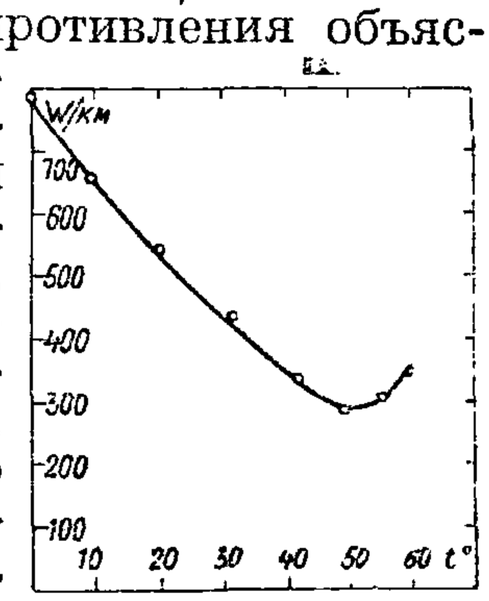
Ф-ла Тейхмюллера приложима к К. нормальной конструкции с круглыми жилами. К. с секторными жилами позволяют увеличить нагрузку на 4—10%. Специальные H-кабели и S-L-кабели допускают увеличение нагрузки на 15—20%. Исследование теплового поля этих К. было сделано К. Фельдманом [52], Ф. Фокком [53] и др. Прокладка нескольких К. в одной траншее или в одном канале, а также при других неблагоприятных условиях, уменьшает допустимую нагрузку; поэтому современные нормы вводят таблицы понижения допустимой нагрузки для различных родов прокладки. Интересные исследования влияния нагрева от соседних К. произведены Р. Делакуром и Л. Русселем [51].

Свойства диэлектрика К. Сопротивление изоляции прежде считалось единственной характеристикой, определяющей качество диэлектрика К. В настоящее время эта характеристика считается второстепенной, в особенности для К. с пропитанной бумажной изоляцией. Эта характеристика сильно меняется от $t°$, влажности, времени приложения напряжения и его величины, состава пропиточной массы (в частности содержания гарпиуса), геометрич. размеров К., а также от наличия заряда в диэлектрике. Величина сопротивления изоляции ни в каком отношении к основному свойству К.—прочности на пробой—не стоит.

Потери в диэлектрике. С измерением потерь в диэлектрике К. связана вся новая история развития высоковольтного К. Из исследований ряда экспериментаторов, в особенности М. Гехштедтера [77,78], выяснилось, что активные потери в диэлектрике можно выразить ф-лой:

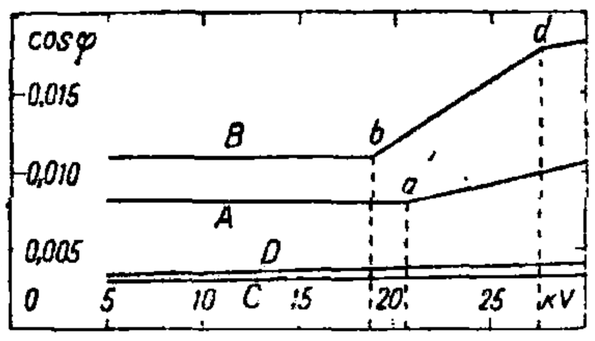
$$A = a N E^2 \cos\varphi = E^2 g, \qquad (13)$$

где a—коэфф., зависящий от $t°$ и материала, N—число пер/ск., E—амплитуда напряжения и φ—угол между током и напряжением при холостом ходе. Величина потерь сильно зависит от $t°$; характер этой зависимости показан на фиг. 27, где минимум потерь соответствует точке перехода пропиточной массы из густожидкого в жидкое состояние. Абсолютная величина потерь имеет очень скромное значение для К. на напряжение до 20 kV включительно; свыше этого напряжения она может оказывать большое влияние на нагрев К. и входит заметной частью в общие потери в линии [21]. До введения точных методов измерения потерь величина $\cos\varphi$, а следовательно, и угла потерь δ, считалась постоянной величиной; к такому заключению пришел, напр., в 1910 г. М. Гехштедтер [77]. После работ Гехштедтера в литературе встречались указания на изменяемость $\cos\varphi$ в зависимости от напряжения, но особое значение эти указания получили после работ Кларка и Шенклина [88] и Шенклина и Матсена, опубликованных в 1917—19 гг. Эти исследователи показали, что величина эффективного сопротивления изоляции К. постоянно уменьшается после достижения определенного градиента напряжения, который они определили в 1 950 V/*мм*. Это понижение эффективн. сопротивления объяснялось ими тем, что после достижения известного градиента пузырьки воздуха или газа, заключенного в изоляции К., ионизируются, становятся проводящими и пробиваются один за другим. Понижение эффективного сопротивления продолжается до тех пор, пока все пузырьки воздуха не будут пробиты, после чего сопротивление становится опять почти постоянной величиной. Ионизация заключенного в К. воздуха должна вызвать образование озона, азотистых соединений и т. п., а следовательно, и более или менее медленное разрушение изоляции, влекущее за собой гибель К. Теперь по этому вопросу существует обширная литература, и первоначальные взгляды до некоторой степени подверглись пересмотру; в частности величина градиента в 1 950 V/*мм* совсем не имеет того значения, какое ей приписывалось Кларком и Шенклином. Однако, по современным воззрениям характер зависимости $\cos\varphi$ (коэфф. мощности) или тесно связанной с ним величины $tg\,\delta$ от напряжения является одним из важнейших критериев для суждения о качестве К., при чем выдвигают требование, чтобы точка ионизации была выше рабочего напряжения К. Здесь следует упомянуть о предложенном голландцами методе исследования К. на ионизацию, как о попытке создать рациональные нормы испытания [79]. В настоящее время выяснено, что К. нормальной конструкции обладают неустойчивой характеристикой ионизации, вследствие остаточных деформаций свинцовой оболочки после повторных циклов нагрева током и вследствие присутствия прокладки между жилами, где легко образуются воздушные мешки. Этим определяется для таких К. верхняя граница рабочего напряжения в 25—30 kV. Значительно более устойчивыми характеристиками обладают одножильные К., S-L-кабели и особенно H-кабели, благодаря экранирующему влиянию металлизированной бумаги [81]. Схематич. картина поведения разных К. при снятии характеристик ионизации показана на фиг. 28. Здесь кривая A представляет типичную характеристику зависимости коэфф.



Фиг. 27.

мощности от напряжения для трехфазного К. нормальной конструкции; в точке a начинается ионизация. Кривая B представляет характеристику ионизации того же К. после нагрева и последующего охлаждения до первоначальной $t°$; видно, что ионизация начинается (b) при меньшем напряжении и проходит более энергично; в точке d ионизация закончена, кривая повышается с меньшим уклоном, характеризующим ионизацию мелких пустот. Кривая C представляет типичную форму характеристики ионизации Н-кабеля, в котором обычно нет начала ионизации до очень высоких напряжений. Кривая D—характеристика того же Н-кабеля после нагрева и охлаждения. Кривые A и B представляют примеры неустойчивых характеристик, кривые C и D—устойчивых.

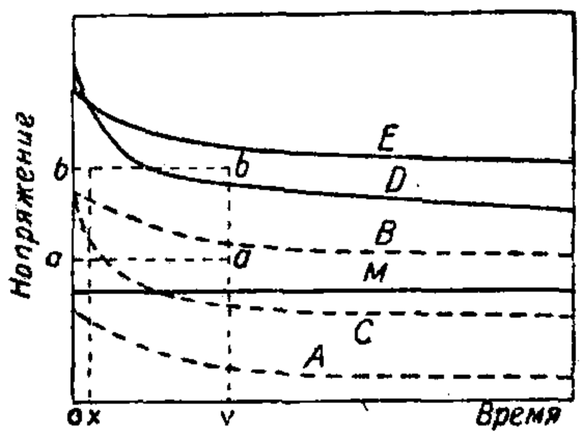


Фиг. 28.

Электрическая прочность на пробой. Испытания К. напряжением наиболее важны при определении пригодности данного куска К. Однако, до сих пор в нормировании испытательных напряжений и условий испытания имеются глубокие разногласия, вызываемые поведением К. под напряжением и трудностью нахождения критерия для суждения о качестве и надежности К. в эксплоатации по результатам его испытания напряжением. Совершенно обычное явление, что К., выдержавший очень серьезные испытания на з-де, пробивается при относительно низких рабочих напряжениях в эксплоатации. На величину пробивающего напряжения оказывает влияние род тока, частота, форма кривой напряжения, время выдержки под напряжением. Ф. В. Пик для отношения E пробивающего напряжения (при длительно приложенном напряжении) к моментальному дает ф-лу:

$$E = \alpha + \frac{1-\alpha}{\sqrt[4]{T}}, \qquad (14)$$

где T—время в ск., α—постоянная для данного типа К. Под моментальным пробивающим напряжением понимается такой пробой, когда К. пробивается в 30 ск. или менее. По В. Дельмару и К. Ф. Гансену [59], для америк. К. $\alpha=0{,}42$. Если в ф-ле Пика принять $T=\infty$, то $E=0{,}42$, т. е. величина, при к-рой К. никогда не пробивается, выражается 42% от величины моментального пробоя. В действительности практика этого вывода вполне не оправдывает, т. к. с течением времени при высоком напряжении начинают действовать другие факторы, разрушающие изоляцию (ионизация, влияние внутреннего вакуума, деформация свинцовой оболочки и т. д.). В настоящее время в Америке усиленно разрабатывается типовой метод испытания К. на ускоренный срок службы путем испытания К. приложением различных напряжений, при чем определяется характеристика «напряжение—время». На фиг. 29 приведена схема характеристик, получаемых при такого рода испытаниях, заимствованная у Ф. М. Фармера [69]. Прямая M представляет рабочее напряжение, на к-рое предназначен К., линии a и b—испытательное напряжение. Если в К. имеется слабое место, к-рое в зависимости от времени приложения напряжения давало бы кривую A, то К. при приложении умеренного испытательного напряжения a был бы пробит. Если дефект менее интенсивен, так что он дает характеристику «напряжение—время» в виде кривой B, то испытательное напряжение a не обнаружит его в y времени, испытательное же напряжение b исключило бы его моментально. На кривой C показана характеристика другого возможного повреждения. Кабель без дефектов может иметь характеристику E или D; первая, конечно, предпочтительнее, поэтому лучшие кабели должны иметь возможно более плоскую характеристику «напряжение—время». Понятно, что испытания эти требуют значительного расхода испытуемого К. и могут производиться только как типовые.



Фиг. 29.

За последнее время обращено внимание на появление внутреннего вакуума в К. как на причину пробоев, в особенности в длинных линиях. В. Дельмар [72] указывает, что вследствие примерно в 10 раз большего коэфф. теплового расширения у пропиточной массы по сравнению с металлами К. при изменениях $t°$ с 20 до 0° объем пропиточной массы сократится на ~2,5%, т. е. при 400 фт. длины К. ок. 10 фт. д. б. полностью освобождены от массы. Это обстоятельство влечет за собой образование в К. внутреннего вакуума; отсюда—возникновение ионизации и сокращение срока службы. В этом направлении имеется в настоящее время ряд интересных работ, напр.: В. Н. Эдди [75], Т. Ф. Петерсена [74], А. Смурова и Л. Машкиллейсона [19, 73] и др. На основе понятия о внутреннем вакууме получили распространение муфты с консерваторами, принимающие в себя масло при нагреве К. и отдающие его обратно во время охлаждения. Имеются даже примеры повышения рабочего напряжения проложенных линий путем введения консерваторов. Успех К. сист. Пирелли в значительной степени основан на устранении возможности появления внутреннего вакуума. Это же явление объясняет причину появления большинства пробоев в зимнее время и в ранние утренние часы, когда нагрузка бывает очень небольшой.

Америк. стремления получить К. с наименьшими потерями и устранить наиболее подверженную разложению при $t°$ 80—120° составную часть пропиточной массы—гарпиус—повели к выяснению еще одной, ранее неизвестной причины пробоев, а именно образования т. н. воска X [69, 72]. Оказалось, что при отсутствии гарпиуса пропиточная масса довольно легко образует более плотное вещество—воск X, которое, будучи хорошим диэлектриком, дает, однако, повод к образованию пустот и ведет к пробою К. Воск X образуется гл. обр. в присутствии

сильного электрич. поля; массы с примесью канифоли менее склонны к его образованию. См. *Муфты* кабельные, *Электрические измерения*.

Лит.: [1]) Войнаровский П. Д., Теория электрич. кабеля, СПБ, 1912 (устарело); [2])Брик Г., Провода и кабели, Берлин, 1923; [3]) Алексеенко-Сербин Т. М., Технология электропроводов и кабелей, М., 1928; [4]) Baur C., Das elektrische Kabel, 2 Aufl., B., 1910; [5]) Beaver C. J., Insulated Electric Cables, part 1—Materials a. Designs, L., 1926; [6]) Del Mar W. A., Electric Cables. Their Design, Manufacture a. Use, N. Y., 1924; [7]) Ruhling T. C., Underground Systems for Electric Light a. Power, N. Y., 1927; [8]) Meyer E. B., Underground Transmission a. Distribution for Electric Light a. Power, N. Y., 1916; [9]) Stobbings G. W., Underground Cable Systems, L., 1929; [10]) Wachter M., Die Fabrikation d. Gummidrähte u. Kabel, B., 1911; [11]) Matthis A. B., Des essais des fils et cables isolés au caoutchouc, P., 1923; [12]) Apt R., Isolierte Leitungen u. Kabel, 3 Aufl., B., 1928; [13]) Ludewig P., Auskunftsbuch f. Kabeltechnik, T. 1, Lpz., 1925; [14]) Klein M., Kabeltechnik. Die Theorie, Berechnung und Herstellung d. elektrischen Kabels, Berlin, 1929; [15]) Яковлев С. А., Современное развитие подземных кабельных сетей, «Электричество», М.—Л., 1924, *1*, стр. 14; [16]) Брагин С. М., 35-киловольтный трехфазный кабель для Ленинграда, там же, 1925, *1*, стр. 13; [17]) его же, К расчету трехфазного электрич. кабеля, там же, *6*, стр. 288; [18]) его же, Тепловой расчёт кабелей сильного тока, там же, 1927, *4*, стр. 120; [19]) Смуров А. А. и Машкиллейсон Л. Е., Исследование влияния внутреннего вакуума и ионизации на срок службы изолированных бумагой высоковольтных кабелей, там же, 1928, *4*; [20]) Лебедев В. Д., К расчету трехфазного кабеля, там же, 1926, *2*, стр. 90; [21]) его же, О величине допустимых потерь в диэлектрике кабеля, там же, 1926, *11*, стр. 465—478; [22]) Горшков П. Н., К вопросу о надежности высоковольтных кабелей в эксплоатации, там же, 1928, *17—18*, стр. 378; [23]) его же, Современное состояние техники кабелей высокого напряжения, там же, 1929, *11—12*; [24]) Лиандер Р. Р., Кабельное производство за десятилетие после революции, там же, 1927, *11*, стр. 401; [25]) Чернышев А. А., Явления, наблюдающиеся в 35-киловольтном кабельном кольце г. Ленинграда, там же, 1928, *4*; [26]) Сокольский Н. М., К вопросу о стандартизации трехфазных кабелей, там же, *4*, стр. 210; [27]) Junius P., «ETZ», 1928, H. 2, p. 59; [28]) Junius P., ibid., H. 16, p. 604; [29]) Fischer H. W., «Electrical World», N. Y., 1926, v. 87, p. 195; [30]) Müller H., «ETZ», 1926, H. 6—9, p. 145; [31]) Müller H., ibid., H. 51, p. 1508; [32]) Müller H., ibid., 1927, H. 12, p. 388; [33]) Dunsheath P. a. Tunstall H. A., «JAIEE», 1928, v. 66, p. 280; [34]) Ludin A., «ETZ», 1926, H. 39, p. 1143; [35]) Silbermann S., ibid., H. 45, p. 1339; [36]) Hzm, ibid., 1927, H. 8, p. 243; [37]) Kirch E., «AEG Mitteilungen», 1926, H. 3; [38]) Walter-Erstorff, «ETZ», 1922, H. 32; [39]) Mercier E., «JAIEE», 1927, v. 65, p. 199; [40]) Dunsheath P., ibid., v. 65, p. 469; [41]) Konstantinowsky, «EuM», 1927, H. 52, p. 661; [42]) Fuchs A., «Z. d. VDI», 1927, B. 71, *29*, p. 1014; [43]) Iorchio P., Emanueli L., Clark W. S., Kehoe A. H., Schaw C. H., Noe J. B. a. Roper D. W., «JAIEE», 1928, p. 118; [44]) Atkinson R. W., «Proc. A. I. E. E.», 1919, v. 38, p. 815; [45]) Middleton W. I., Dawes C. L. and Davis E. W., «JAIEE», 1922, p. 572; [46]) Deutsch W., «ETZ», 1911, p. 1175; [47]) Fernie F., Insulating Materials, «BEAMA», L., 1920, p. 224; [48]) Hoover P. L., «JAIEE», 1926, p. 824, 1927, p. 70; [49]) Donald M. Simons, ibid., 1923, p. 525; [50]) Teichmüller J., «ETZ», 1904, p. 933, 1907, p. 500; [51]) Delacour R. et Russel L., «RGE», 1927, t. 21, p. 943; [52]) Feldmann C., «ETZ», 1922, H. 51; [53]) Fock V., «Archiv f. Elektrotechnik», 1926, B. 16, p. 332; [54]) Dieterle R. u. Eggeling G., «ETZ», 1924, H. 50, p. 1366; [55]) Droste H. W., ibid., 1927, H. 24, p. 841; [56]) Wiseman R. S., «JAIEE», 1923, v. 42, p. 165; [57]) Hirshfield C. F., Meyer A. A. a. Connell L. H., «Electr. World», N. Y., 1927, v. 90, p. 987; [58]) Del Mar W. A., Davidsen W. F. a. Marvin R. H., «JAIEE», 1927, p. 1002; [59]) Del Mar W. A. a. Hansen C. F., ibidem, 1924, p. 950; [60]) Hentschel L., «Archiv f. Elektrotechnik», B., 1925, B. 15, p. 138; [61]) Whitehead J. B., Electrical World», 1926, v. 87, *1*; [62]) Steinmetz Ch. P., «JAIEE», 1924, p. 524; [63]) Gilson E. G., «Electrical World», 1926, v. 87, p. 297; [64]) Emanueli L., ibid., 1927, B. 90, p. 601; [65]) Whitehead J. B. a. Hamburger F., «JAIEE», 1927, p. 939; [66]) Whitehead J. B., ibid., 1926, p. 1225; [67]) Whitehead J. B., Konwenhoven W. B. and Hamburger F., ibid., 1928, p. 565; [68]) Davis E. W. a. Eddy W. N., ibid., 1929, p. 52; [69]) Farmer F. M., ibid., 1926, p. 454; [70]) Roper D. W. a. Halperin H., ibid, p. 505, 1157; [71]) Riley T. N., «Electrical World», N. Y., 1928, v. 91, p. 137; [72]) Del Mar W. A., «JAIEE», 1926, p. 627, 1009; [73]) Smouroff A. a. Mashkilleison L., ibid., 1928, p. 29; [74]) Petersen T. F., «Electrical World», N. Y., 1927, v. 90, *21*; [75]) Eddy W. N., ibid., 1928, B. 91, p. 701; [76]) Riley T. N. a. Scott T. R., «JAIEE», 1928, v. 66, p. 805; [77]) Höchstädter M., «ETZ», 1910, H. 19—22; [78]) Höchstädter M., ibid., 1922, H. 17; [79]) Staveren J. C., ibid., 1924, H. 8—9; [80]) Birnbaum H. W., ibid., H. 12, p. 229; [81]) Planer V., «EuM», 1928, H. 38, p. 936; [82]) Dawes Ch. a. Hoover Pl., «JAIEE», 1926, p. 336; [83]) Long R. J. a. Hooke R. G., «Electrical World», 1927, v. 90, p. 57; [84]) Reploge D. E. a. Burkholder T. M., ibid., 1926, v. 88, p. 845; [85]) Kasson C. L., «JAIEE», 1927, p. 963, 1065; [86]) Bormann E. u. Seiler J., «ETZ», 1925, H. 4, p. 114; [87]) Bormann E. u. Seiler J., ibid., 1928, H. 7, p. 239; [88]) Clark W. S. a. Shanklin G. B., «Transactions of the Amer. Institute of Electr. Eng.», N. Y., 1917, v. 36, p. 465; [89]) Semm A., «Archiv f. Elektrotechnik», B., 1920, B. 9, p. 30; [90]) Meurer H., Проспект фирмы Felten u. Guillaume; [91]) Meurer H., Höchstspannungstagung Essen, 6 Vorträge, hrsg. v. Elektr. Verein d. Rheinisch-Westfälischen Industriebezirks, 1926, p. 47; [92]) Vogel W., «Ztschr. f. techn. Physik», Lpz., 1927, *11*; [93]) «Karlswerk-Rundschau», Köln—Mühlhausen, 1927, *2*; [94]) Dawes C. L., Reichard H. H. and Humphries P. H., «JAIEE», 1929, *1*, p. 3; [95]) V. H., «EuM», 1925, H. 25, p. 491; [96]) Ftt, «ETZ», 1925, H. 45, p. 1700.

В. Лебедев

Кабель связи.

Классификация и конструкция К. связи. К. связи, служащие для передачи телеграфных знаков или человеческой речи при помощи электрич. энергии из одного пункта в другой, делятся на две основные группы: а) телефонные и б) телеграфные. Электрич. энергия телефонного разговора передается по двум проводам (по паре жил); поэтому конструкция телефонных К.—парная. Электрич. энергия телеграфной работы передается по одному проводу, другим проводом служит земля; поэтому конструкция сетей телеграфных—одножильная. В табл. 4 указаны главнейшие виды К. связи.

Телефонные кабели городских сетей. Применяющиеся в СССР городские телефонные К. имеют следующую конструкцию. Каждая жила К. состоит из медной проволоки, изолированной бумажной полоской так, чтобы между проволокой и бумагой образовался воздушный промежуток. Поверх бумажной изоляции накладывается редкой обмоткой хл.-бум. пряжа для предупреждения раскрывания изоляции. Две изолированные жилы скручиваются вместе, в пару с шагом крутки не более 250 *мм*. Обе жилы одной и той же пары должны отличаться одна от другой цветом изолирующей бумаги, при чем одна жила должна иметь цвет натуральной бумаги, а другая—красный. Для возможности отделения пар одна от другой, каждая скрученная пара имеет сверху наложенную редкой обмоткой хлопчатобум. нитку. Все пары д. б. скручены в К. так, чтобы в каждом повиве была одна счетная пара, в к-рой изоляция одной жилы имеет синий цвет, вместо красного. Направления скрутки отдельных повивов К. должны итти в противоположные стороны. Поверх каждого повива накладывается редкой обмоткой хл.-бум. нитка, чтобы можно было разделить отдельные повивы при разделке концов кабеля. К. на 50 пар должны

Табл. 4.—Классификация кабелей связи.

Группа	Наименование	Диам. жилы в *мм*	Способ изоляции	Система скрутки	Колич. связей	Внешние оболочки	Род прокладки
Телефонные	Городские	0,5 * 0,7 *	Воздушно-бумажная	Парная	5—1 200	Освинцованная или освинцованная и бронированная	Воздушная, подземная, подводная
	Междугородные	0,9 1,3 1,4 1,5	Кордельно-бумажн. или воздушно-бумажная	D.M.; звезда; двойн. звезда	2—700	Освинцованные, бронированные	То же
	Станционные	0,5—0,7	Волокнистая	Пучки в 2, 3, 4 жилы	5—100	Освинцованные или покрытые станиолевой лентой	В помещении
	Распределительные	0,5—0,7	»	Парная	5—20	Освинцованные	»
Телеграфные	Трансатлант.	—	Гуттаперчевая	—	—	Двойная броня	Подводная
	Междугородные	—	Бумажн. непропитанная, бумажная пропитанная, воздушно-бумажная, кордельно-бумажная	Концентрич.	—	Броня	Подземная
	Городские	—		»	—	»	»
Телефонно-телеграфные	Междугородные	0,9 1,3 1,4 1,5	Воздушно-бумажная, кордельно-бумажная	D. M.; звезда	2—700	Освинцованные / Бронированная	Воздушная; подземная / Подводная; подземная

* Размеры, употребительные в СССР; в большинстве других стран приняты бо́льшие диам. (0,7; 0,8; 0,9 *мм*)

иметь одну запасную пару, а на 100 пар и выше—1% запасных пар. Скрученный К. обматывают миткалевой лентой (в заграничной практике употребляют ленту из кабельной бумаги) с перекрышей не менее 5 *мм*. Подушка у бронированных К. между свинцом и броней делается из джута толщиной 1,5, 2 и 2,5 *мм*. Точно такой же слой навивается поверх брони. Оба слоя джута пропитаны компаундом. У телефонных воздушных К. свинцовая оболочка д. б. покрыта обмоткой из 2 миткалевых лент, толщиной каждая 0,25—0,30 *мм*, с перекрышей 5—10 *мм* на сторону. Миткалевые ленты д. б. пропитаны массой, не влияющей на свинец и предохраняющей его от воздействия вредных газов, могущих быть в воздухе.

Телефонные К. для дальней телефонной связи применяются трех конструкций в отношении скруток проводящих жил: 1) скрутка в четверку по системе Дизельгрост-Мартина (D. M.); 2) скрутка в четверку звездочкой и 3) скрутка двойной звездой. Простой расчет показывает, что К. звездочкой выгоден для городских и уездных сетей и невыгоден для дальних связей, а К. сист. D. M., наоборот, выгоден для дальних связей. Обозначим через f площадь сечения четверки, Q_1—площадь сечения К. сист. D. M., Q_2—площадь сечения К. звездочкой, n—число четверок в К. Из практики известно, что площадь сечения четверки звездочкой $=0{,}75\ f_{\text{D.M.}}$. Кроме того известно, что для осуществления $3n$ разговоров по К. сист. D. M. требуется n четверок, а по К. звездочкой—$1{,}5\,n$ четверок; тогда

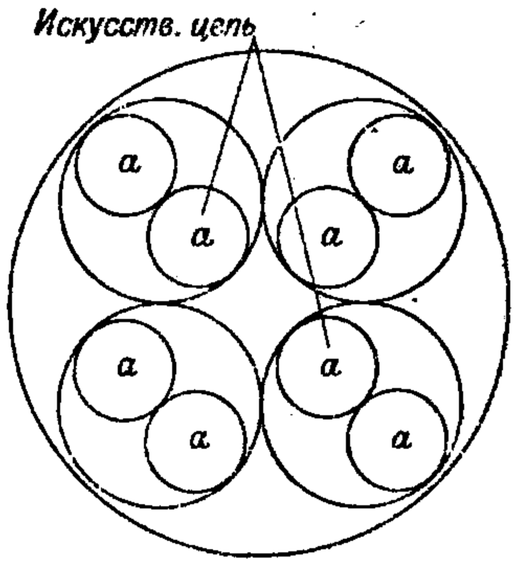
$$Q_2 = 0{,}75 \cdot f_{\text{D.M.}} \cdot n \cdot 1{,}5\,. \qquad (15)$$

Но

$$f_{\text{D.M.}} \cdot n = Q_1\,;$$

подставляя в ф-лу (15), получим $Q_2=1{,}12\,Q_1$. Отсюда видно, что при использовании в четверке искусственной цепи в длинных связях выгоднее кабель системы D. M. Если работать на короткие расстояния, где искусственные цепи не используются, то выгоден кабель звездочкой, ибо тогда $Q_2=0{,}75Q_1$. В последнее время в Германии появился новый тип К. для междугородной связи—К. с круткой двойной звездой или, кратко, D. St.-кабель. Расположение жил восьмеркой и расположение жил искусственной цепи этого К. показано на фиг. 30. В табл. 5 приведено сравнение между кабелями систем D. M. и D. St.

Из табл. 5 видно, что кабель системы D. St. экономичнее сист. D. M. Недостатком этого К. является слишком большое число проводов в группе, а потому в малопарн. К. крутка D. St. неприменима.



Фиг. 30.

В К. дальней телефонной связи необходимо обратить особое внимание на изолировку жил бумагой, ибо это обусловливает равномерность емкости различных жил. Существуют три способа изолировки: 1) общий слой бумаги наложен продольно, как у К. для городских сетей; поверх продольного слоя жила покрывается еще спиральным слоем бумаги, 2) два спирально слабо навитых слоя; 3) по медной жиле навивается к о р д е л ь (бумажный жгут), с шагом 5—7 *мм*; поверх корделя навивается спиральный слой бумажной ленты (кордельно-бумажная изоляция). За последнее время все больше завоевывает место третий способ изолировки телефонных жил междугородного кабеля. Кордель представляет собою бумажную крученую нитку, изготовляется из кабельной бумаги и бывает нескольких сор-

Табл. 5.—Сравнение между кабелями систем D. St. и D. M.

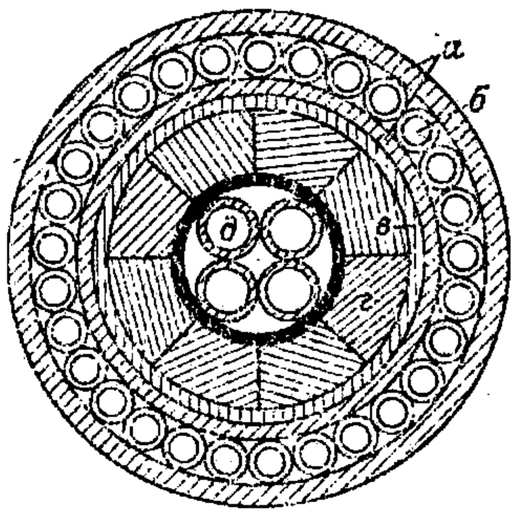
Название кабеля	В свинцовых сердечниках		В слоях		Ø кабеля под свинцом в мм	Толщина свинцовой оболочки в мм	Вес меди в кг/км	Вес свинца в кг/км	Вес брони в кг/км	Экономия в сист. D. St. в %, отнесенная к соответств. норм. К. сист. D. M.			
	Ø жил в мм	число пар	Ø жил в мм	число пар						Ø кабеля	медь	свинец	броня
D. M. нормальный кабель A	0,9	2	1,4; 0,9	40; 56	47,6	3,0	1 755	5 437	$\frac{60\times0,8}{2\,083}$				
D. St. кабель A	0,9	2	0,9	96	42	2,8	1 111	4 493	$\frac{60\times0,8}{1\,872}$	11,6	36,7	17,36	10,12
D. M. нормальный кабель B	0,9	2	1,4; 0,9	40; 124	58,5	3,2	2 525	7 071	$\frac{60\times0,1}{3\,119}$				
D. St. кабель B	0,9	2	0,9	168	55	3,1	1 928	6 450	$\frac{60\times0,1}{2\,956}$	6,0	23,7	8,8	5,2

тов: скрученный из одной, двух и более ниток. Предпочтение отдается многониточному, так как он очень упруг и при изолировке жил бумагой не изменяет своей формы. Преимущества кордельно-бумажной изоляции следующие: 1) жила, изолированная таким способом, имеет по всей длине цилиндрическ. форму, 2) при скрутке пар она не теряет своей формы, 3) скрученные пары с кордельно-бумажной изоляцией имеют очень равномерные емкости, поэтому асимметрия в таких кабелях мала, 4) К. с такого рода изоляцией поддаются точному математич. расчету, по заданным электрич. величинам.

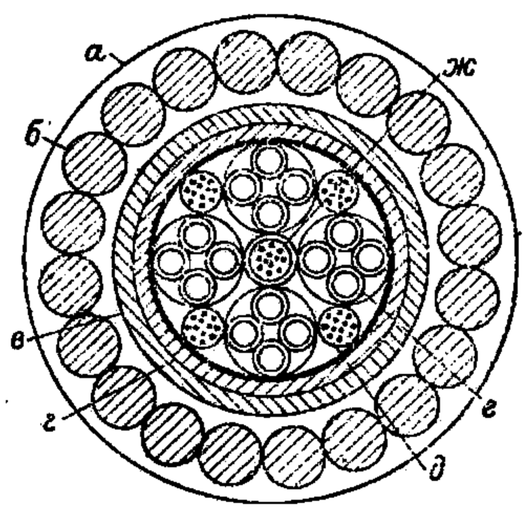
За редкими исключениями междугородные кабельные линии выполняются в форме т. н. пупинизированных К. Пупинизация, получившая свое название по имени американ. проф. Пупина, состоит в том, что через известные промежутки в К. включают катушки самоиндукции, имеющие назначением повысить самоиндукцию линии и тем компенсировать вредное влияние емкости. Введение усилительных станций за последнее время позволило значительно уменьшить диаметр проводящей жилы и тем самым снизить стоимость междугородных линий. Другим употребительным способом увеличения самоиндукции линии является способ датского инж. Крарупа, заключающийся в обмотке медной жилы тонкими проволоками из магнитных материалов. Крарупповские кабели почти исключительно применяются для подводных линий; изоляция обычно гуттаперчевая, но часто применяется воздушно-бумажная.

В настоящее время техника производства телефонных К. дальнего действия настолько продвинулась вперед, что можно уже говорить о связи Европы и Америки. Предполагаемая конструкция такого подводного К. показана на фиг. 31. Здесь *а*—джут, *б*—33 стальных проволоки Ø 2,5 *мм*, *в*—свинцовая оболочка, *г*—8 фасонных проволок, *д*—медная жила Ø 3,3 *мм* с кордельно-бумажной изоляцией. Четыре жилы скручены в четверку звездой, Ø четверки—14,7 *мм*, Ø четверки поверх фасонных проволок—25 *мм*, вес 1 *м* К.—4,35 *кг*. На фиг. 32 показан крарупповский подводный К., проложенный между Англией и Голландией. Здесь *а*—джут, *б*—стальная проволока, *в*—джут, *г*—свинцовая оболочка, *д*—холостые жилы из бумажных жгутов, *е*—телефонная четверка, *ж*—внутренняя жила для телеграфной работы тональной частотой.

Телефонные станционные и распределительные К. делаются в 15—200 жил, из луженой медной проволоки. Ø жилы $d=0,5$ *мм*. Жила обматывается двумя слоями шелка, при чем толщина обмотки не меньше 0,08 *мм*. Верхняя обмотка делается цветная. Жилы, изолированные т. о., свивают в пару,



Фиг. 31.



Фиг. 32.

пары свивают в пучки (расцветка жил в пучках—по требованию заказчика), пучки—в К. с шагом повива не больше 20 диаметров К. Затем К. обматывают провощенной миткалевой лентой и освинцовывают. Толщина свинцовой оболочки—1 *мм*, примесь олова—3%. Иногда такие К. не освинцовывают, а покрывают станиолевой лентой. Конструкция таких К. следующая. Скрученные в К. пучки обматываются миткалевой лентой, по миткалю идет слой кабельной бумаги по винтовой линии, по бумаге К. обматывается станиолевой лентой с перекрытием 5—7 *мм*. Ширина ленты колеблется от 15 до 30 *мм* и толщина от 0,1 до 0,15 *мм*. На станиоль накладывают слой кабельной бумаги и затем оплетают хл.-бум. пряжей, пропитанной негигроскопич. составом. Телефонные распределительные К. изготовляются с 1, 5, 10, 15, 20 парами. Жилы—из медной нелуженой проволоки диам. 0,5 или 0,7 *мм*. Изоляция жилы—из двух обмоток хл.-бум. пряжи, навитых в противоположном направлении и пропитанных изолирующим составом. Весь пучок кабельных жил обматывается лентой из бумажной пряжи, пропитанной изолирующим составом, затем освинцовывается.

Телеграфные К. с бумажной изоляцией строят с следующим количеством жил: 1, 2, 3, 7, 12, 19 и 27. Жила состоит из одной проволоки диам. 2 *мм* или крутится из 7 проволок диам. $d_n=0{,}51$ *мм*, диам. жилы $d_n=1{,}5$ *мм* (допуск для d_n равен $\pm 2\%$). Жила изолируется несколькими слоями кабельной бумаги. Толщина изолированной жилы—3,5 *мм* ($\pm 2\%$). Бумага, по желанию заказчика, м. б. пропитана изолирующими составами. Телеграфные жилы, скрученные в К., покрываются миткалем, затем свинцовой оболочкой и броней. Броня в зависимости от диаметра К. бывает из круглой или из сегментной проволоки. Подводные телеграфные К. покрываются обыкновенно двумя бронями в следующем порядке: свинцовая оболочка, джутовая подушка, первая броня, джутовая подушка, вторая броня. Последняя броня—из железных оцинкованных проволок диам. примерно 6 *мм*.

Материалы для производства К. связи. 1) Проводящая жила изготовляется из медной луженой и нелуженой проволоки; проводимость меди $\geqslant 98\%$; удлинение при разрыве $\geqslant 20\%$.

2) Телефонная кабельная бумага, служащая для изоляции жил, д. б. однородной, одинаковой плотности, состоять из длинных волокон и не содержать металлическ. частиц и других вредных веществ. Лента такой бумаги длиной 150 *мм* и шириной 5 *мм* при подвешенном грузе 0,7 *кг* должна выдерживать 10 скручиваний на 180° в одном и том же направлении. Если ширина полоски больше 5 *мм*, то бумага должна выдерживать те же 10 скручиваний с пропорциональным увеличением длины и веса подвешенного груза.

3) Свинцовая оболочка для голых освинцованных К. делается из технически чистого свинца с присадкой 3% олова. Испытание на прочность свинцовой оболочки производится посредством осторожной насадки куска оболочки длиной 150 *мм* на деревянный конус с отношением основания к высоте около 5; вколачивая конус в оболочку, растягивают ее до увеличения диам. в 1,3 раза, при чем оболочка не должна давать трещин и разрывов.

4) Смолы и пропиточные массы, к-рыми пропитывают верхние защитные оболочки К., нанесенные поверх свинца, должны иметь нейтральную реакцию и не действовать химически на свинец и на железную броню кабеля.

5) Броня. Железная лента для брони д. б. из мягкого черного железа, без наружных изъянов, раковин, ржавчины и т. п.; разрывное усилие—около 38 *кг/мм*^{2}; железная проволока для проволочной брони как круглая, так и плоская должна иметь временное сопротивление на разрыв от 37 *кг/мм*^{2} и выше и должна быть покрыта сплошным слоем Zn, выдерживающим два погружения в 20%-ный по весу водный раствор $CuSO_4$.

6) Волокнистая изоляция. а) Шелковая пряжа. В кабельном производстве употребляется естественный шелк, т. н. трам, следующих «денье»: 11/13; 17/19; 28/30 (денье—весовая единица); шелк обозначается всегда двумя цифрами, в виду неравномерности по длине шелковой нити: если указано, напр., 8/10, то это значит, что в мотке шелка длиной 500 *м* м. б. и 8 и 10 денье. б) Хлопчатобумажная пряжа употребляется в кабельном производстве следующих номеров: от № 1 до № 24—т. н. ровных номеров, от № 26 до № 50—средних, и выше—тонких номеров. На кабельные заводы пряжа поступает однонитная в початках, а крученая в мотках и в бобинах. Прежде чем поступить на обмоточные машины, пряжа «тростится». Тросткой называют операцию, когда две или более нитки надеваются на одну катушку в виде ленты. Делается это для того, чтобы ускорить процесс изолировки проводов. в) Кордель—крученая из кабельной бумаги нитка. Кордель крутится из 1, 2, 3 и 4 ниток; предпочтение дается многониточному корделю, т. к. он очень упруг и при изоляции жилы не деформируется. Кордель бывает диам. от 0,4 до 0,5 *мм*.

Расчет К. связи и главнейшие технические условия на них. При изготовлении телефонных городских и телеграфных К. наблюдают гл. обр. за тем, чтобы их емкость не превысила нек-рых определенных значений и сопротивление изоляции имело соответствующую величину. Табл. 6 дает представление об этих величинах. Для междугородных К., кроме вышеприведенных величин, требуется еще соблюдение двух важнейших условий: 1) симметричность расположения элементов К.—пар в четверке и четверок в К. и 2) равномерность изоляции жил. При невыполнении этих условий появляются емкостные влияния (связи), т. е. разговор по одной телефонной сети будет слышен на соседних сетях (подслушивание). Кроме емкостных влияний, в подслушивании играют большую роль магнитные влияния. В производстве борьба с этими явлениями ведется двумя путями. Магнитные

Табл. 6.—Электрические величины для некоторых кабелей (на 1 *км* длины).

Наименование	∅ жилы в *мм*	Сопротивление жилы в Ω	Сопротивление изоляции в MΩ	Электроемкость в μF		
				1 жилы	пары	четырех
Телефонный городской	0,5	89,5	1 000	0,05—0,06	—	—
Междугородный D. M.	0,9	57,8	5 000	—	0,034	0,054
То же	1,5	20,8	5 000	—	0,036	0,058
То же звездой	0,8	73,2	5 000	—	0,037	—
Станционный освинцованный	0,5	89,5	100	—	—	—
Станционный станиолевый	0,5	89,5	15	—	—	—
Телеграфный гуттаперчевый	7×0,73	5	520	0,23	—	—
То же	7×0,66	7	500	0,24	—	—
То же, бумага непропитанная	2	5,6	1 000	0,2	—	—
То же, бумага пропитанная	2	5,6	220	0,22	—	—

Табл. 7.—Зависимость между числом пар в кабеле и числом пар по повивам.

Число пар в К.	Коэфф. диаметра	Число пар в центре	Номера повива по порядку															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
2	1,60	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	3,60	2	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
50	8,155	3	9	16	22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100	11,60	2	7	13	19	26	33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
150	14,155	3	9	15	21	27	34	41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
200	16,414	4	10	16	22	28	34	40	46	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
300	20,155	3	9	14	20	26	32	38	46	52	60	—	—	—	—	—	—	—	—
400	23,00	1	6	12	18	24	30	36	42	48	54	61	68	—	—	—	—	—	—
500	25,6	2	8	14	20	26	32	38	44	50	56	63	70	77	—	—	—	—	—
600	28,155	3	9	16	22	29	34	40	46	52	58	64	70	76	81	—	—	—	—
800	32,7	5	11	17	23	29	35	41	47	53	59	65	71	77	83	89	95	—	—
1000	36,414	4	10	16	22	28	34	40	46	52	58	64	70	77	83	89	96	103	110

влияния сводят до минимума подбором шагов крутки, от к-рого зависит также длина пары, а следовательно, и омическое сопротивление. Емкостные влияния стараются уменьшить до нек-рой минимальной величины путем подбора идущих на фабрикацию жилы материалов в смысле их равномерности. При расчете геометрич. размеров междугородного кабеля по электрич. заданиям пользуются ф-лой Люшена:

$$C = \frac{\varepsilon}{36 \ln a \frac{D}{d}} \ \mu F/км.$$

Здесь C—емкость пары или четверки; ε—диэлектрическ. постоянная, для К. данного типа равная 1,5; D—средний диам. группы проводов (пары или четверки); d—диам. провода (жилы); a—коэфф. скрутки, равный для пары—0,94, для четверки звездочкой—0,75, для четверки сист. D. M.—0,65.

Расчет геометрич. размеров телефонного К. для городских сетей ведется по заданной техническими условиями емкости пары. Обозначим через $D_{n/c.}$ диаметр кабеля под свинцом, p—диаметр изолированной пары, l—число слоев в кабеле, xp—диаметр пар, расположенных в центре. Так как каждый слой увеличивает диаметр кабеля на p, то:

$$D_{n/c.} = l \cdot 2p + xp = p\,(2l + x)\,; \qquad (16)$$

при разных числах пар в центре x имеет следующие значения:

Число пар в центре .	1	2	3	4	5	6
Значение для x . . .	1,0	2,0	2,155	2,414	2,7	3

На основании этих цифр и практич. данных составлена табл. 7; она показывает зависимость между числом пар в К. и числом пар по повивам—т. н. коэфф. диаметра или иначе $(2l+x)$. Таблица 7 позволяет вычислить $D_{n/c.}$ в зависимости от p. Обозначим через d—диам. голой проволоки, $b = \frac{p}{\sqrt{2}}$—диам., эквивалентный диаметру изолированной жилы, n—число пар в К., x—коэфф. диаметра; обыкновенно дано d, n и C. Пара изолированных жил представляет собою два параллельно лежащие цилиндра радиусов r_1 и r_2, лежащих на расстоянии a друг от друга; емкость двух таких цилиндров длиной 1 *км* определяется так:

$$C = \frac{\varepsilon}{4{,}6 \lg \frac{a^2}{r_1 \cdot r_2}} \cdot \frac{10^5}{9 \cdot 10^5} \ \mu F/км\,;$$

обычно $r_1 = r_2$, следовательно,

$$C = \frac{0{,}02416 \cdot \varepsilon'}{\lg \frac{a^2}{r^2}} \ \mu F/км\,.$$

Здесь ε' — диэлектрич. постоянная для воздушно-бумажной изоляции, равная 1,7÷1,9. Величина a фактически меняется по длине, и в расчет принимается величина b, равная эквивалентному диаметру жилы; тогда последняя формула выразится так:

$$C = \frac{0{,}02416 \cdot \varepsilon'}{\lg \frac{b^2}{r^2}} \ \mu F/км\,.$$

В действительности здесь величина ε' меняется в небольших пределах: 1) с величиной диам. жил и 2) с количеством пар в К.; обозначим ее $\varepsilon' = \varepsilon x$. Тогда ф-ла для емкости примет вид:

$$C = \frac{0{,}01208 \cdot \varepsilon' x}{\lg \frac{b}{r}} \ \mu F/км\,. \qquad (17)$$

Величина εx определяется из существующих конструкций и дается таблицей 8.

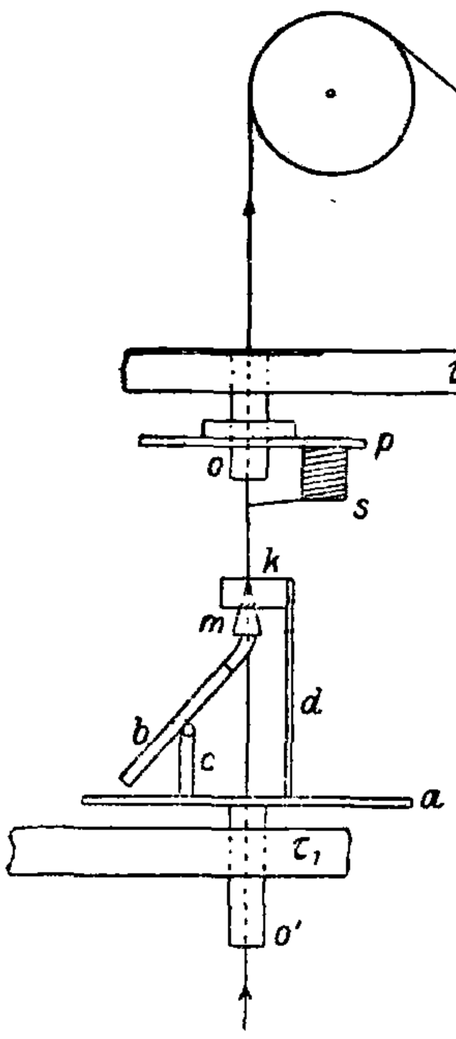
Таким образом, мы имеем все элементы для расчета.

Табл. 8.—Значение коэффициента εx.

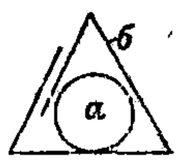
Ø жилы в *мм*	Число пар в кабеле										
	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
0,4	2,30	2,30	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,5	—	—	2,40	2,40	2,40	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,45
0,6	—	—	2,15	2,20	2,30	2,40	2,50	2,50			
0,7	2,06	2,06	2,06	2,06	2,15	2,20					
0,8	2,09	2,09	2,15	2,20							
1,0	2,06	2,00	2,08								
1,27	2,03	2,00	2,10								
1,676	2,00	2,00									
2,0	2,20	2,17									
2,46	2,20										
2,34	2,17										

Производство К. связи. Машины и аппараты для производства телефонного городского К. На фиг. 33 представлена машина для наложения продольной воздушно-бумажной изоляции. Две

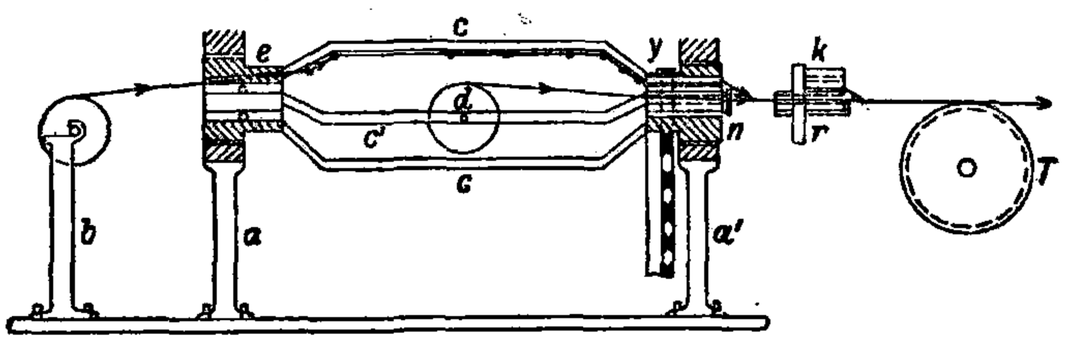
траверсы τ и τ_1 укреплены на станине машины. Через них проходят две трубки o и o', на к-рых надеты диски a и p. Диск a неподвижен, а диск p вращается на трубке o, получая движение от главного вала машины; на диск p надевается катушка, или бобина, s с пряжей. На диске a имеется стойка c, на к-рой укреплен ролик b с бумажной лентой. На том же диске имеется стойка d; к ней укреплен зажим k, в котором укреплен формирующий бумагу калибр m. Устройство этого калибра таково, что он свертывает бумагу трубкой, охватывая ею медную жилу. В сечении получается примерно треугольник, к-рый показан на фиг. 34, где a—медная жила и $б$—бумажная изоляция. Над трубками o и o' имеется тяговая шайба, получающая движение от главного вала машины. Строятся такие машины на 6—10 концов в одной станине. Принцип работы следующий. Проволока тянется тяговой шайбой и проходит через трубки o и o'; по выходе из трубки o' проволока входит в калибр m; в то же время входит в него и бумажная лента с ролика b. Чтобы закрепить продольно наложенную изоляцию, ее обматывают хл.-бум. ниткой, пропуская через трубку o, на к-рую надет диск ниткообмотчика, и пряжа с бобины s с шагом 15—20 *мм* обвивает жилу. Изолированные жилы скручивают в разговорную пару на машинах, показанных на фиг. 35. Две стойки a и a' имеют наверху по подшипнику, в к-рых вращается клетка, состоящая из дуг c, c и двух полых цапф. На эти цапфы свободно подвешена люлька c', имеющая в середине ось d, на к-рую надевается барабан с изолированной жилой.



Фиг. 33.



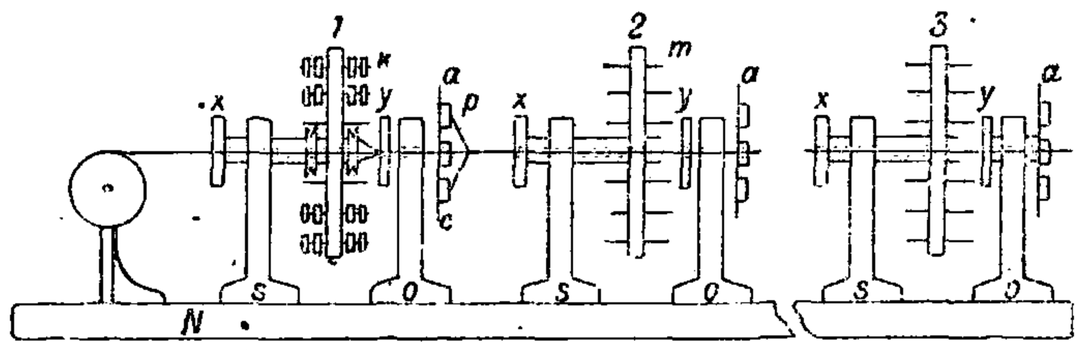
Фиг. 34.



Фиг. 35.

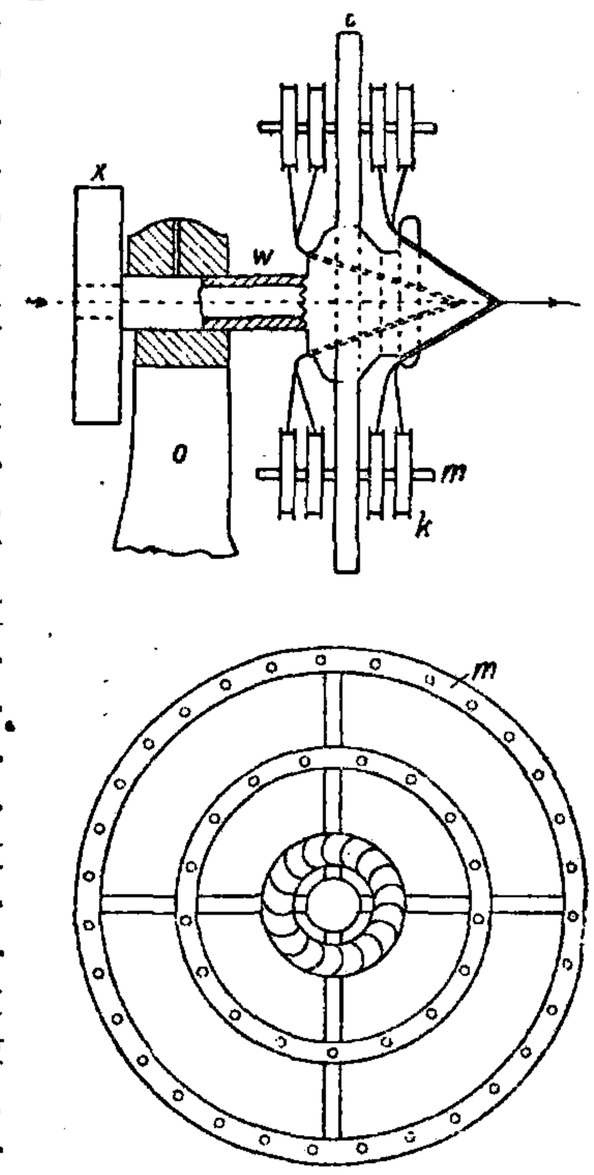
Другой барабан с изолированной жилой помещается на стойку b, где он может свободно вращаться на оси. Жила с этого барабана протягивается через трубку e. Далее жила направляется по одной из дуг c, c к правому полому шипу и выходит через него к крутильной головке n. Жила с барабана, висящего на оси d, направляется через правый шип тоже к головке n. Т. к. головка вращается, а жилы имеют поступательное движение благодаря тяговой шайбе, то они скручиваются с известным шагом в пару. Шаг скрутки можно менять посредством скорости хода тяговой шайбы T. По выходе из крутильной головки n скрученная пара проходит розетку k, и пары скрепляются ниткой. Движение машина получает через шкив y, крутильная головка получает вращение от валика r. Такие машины фирмы Hasse и Co. (Германия) при барабанах 250 *мм* в диам. и 120 *мм* ширины за 8 ч. производят ок. 20 000 *м*.

Машины для крутки пар в К. строятся двух систем: с откруткой и без откруткой.



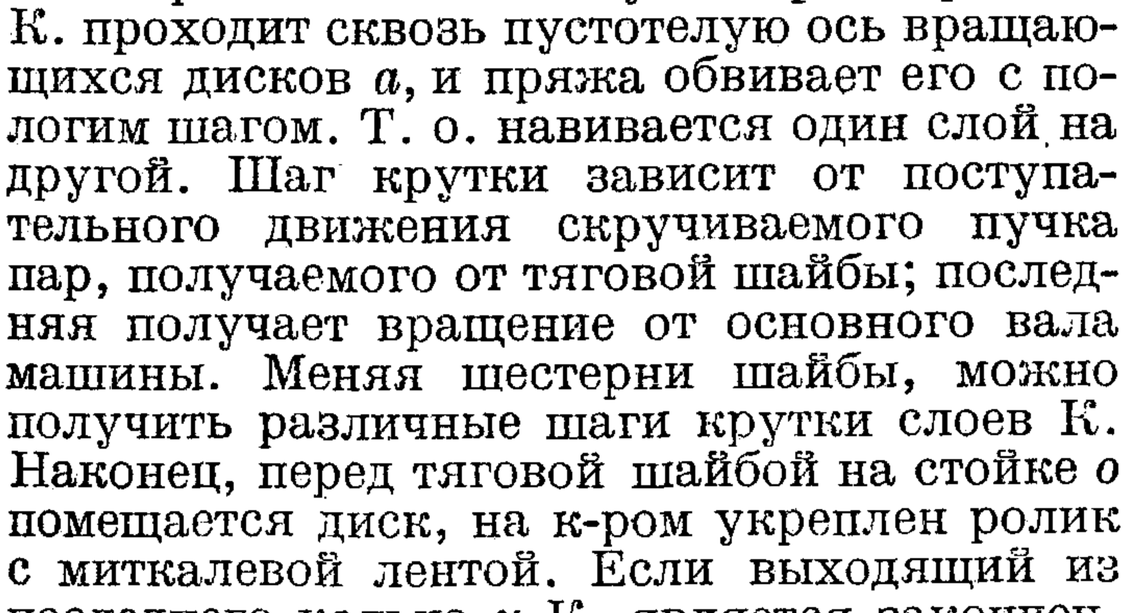
Фиг. 36.

Машины с откруткой употребляются в большинстве случаев для крутки телефонных К. с большим сечением жил, типа междугородных К., при чем самые машины делаются более тяжелого типа. Машины без открутки, более легкого типа, употребляются для крутки телефонных К. для городских сетей. Схема такой машины показана на фиг. 36. Здесь N фундаментальная рама, на которой устанавливается любое число стоек o, o, o и s, s, s. Первые стойки служат опорой для вращающихся дисков a, a, a, а вторые—для колец *1*, *2*, *3*. Как кольца, так и диски получают вращение от шкивов x, x, x и y, y, y, приводимых в движение при помощи ремней приводом, идущим вдоль фундаментальной рамы. Кольца *1*, *2*, *3* имеют устройство, показанное на фиг. 37. Через стойку o проходит трубчатая ось w, на к-рую с одной стороны надет шкив x, а с другой кольцо i. Кольцо i состоит из двух концентрич. железных колец из полосового железа, соединенных как показано на чертеже, и насажено наглухо на ось w. У оси w с обеих сторон кольца имеются желобчатые распределители пар. По окружности железных колец имеются шпильки m, проходящие по обе стороны кольца. На эти шпильки надеваются ролики k с парами. Пары жил с роликов проходят через желобчатые распределители к геометрической оси колец. Здесь при вращении кольца все пары скручиваются в К. Сквозь полую ось w идет одна или несколько пар, которые служат сердечни-



Фиг. 37.

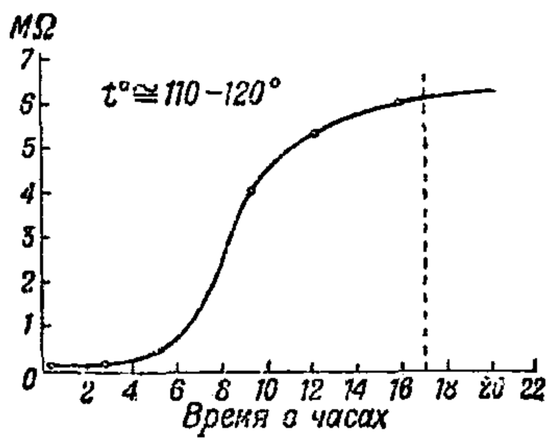
ком кабеля. После каждого кольца установлены стойки *о* (фиг. 36) с дисками *а*, на дисках *а* расположены катушки *р* с пряжей. К. проходит сквозь пустотелую ось вращающихся дисков *а*, и пряжа обвивает его с пологим шагом. Т. о. навивается один слой на другой. Шаг крутки зависит от поступательного движения скручиваемого пучка пар, получаемого от тяговой шайбы; последняя получает вращение от основного вала машины. Меняя шестерни шайбы, можно получить различные шаги крутки слоев К. Наконец, перед тяговой шайбой на стойке *о* помещается диск, на к-ром укреплен ролик с миткалевой лентой. Если выходящий из последнего кольца *у* К. является законченным по скрутке, то его обвивают миткалем, а если выходящий К.—только сердечник для дальнейшего навивания на него пар, то обвивают обычно пряжей; готовый К. с тяговой шайбы поступает на приемный железный барабан. Если крутка состоит из не-



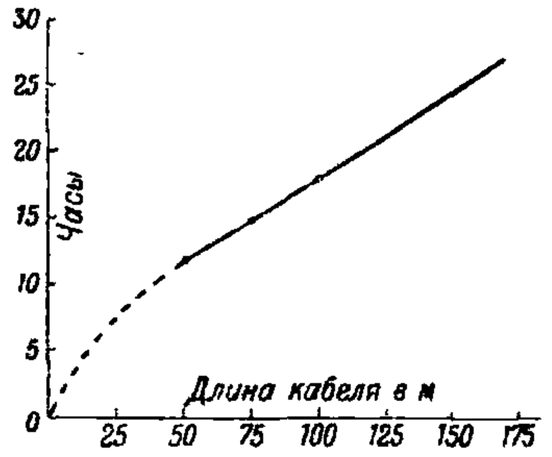
Фиг. 38.

скольких слоев, то каждый слой, для уменьшения индукционных взаимодействий, навивается в разные стороны. В многослойном К. внутренние слои имеют шаг крутки более короткий, чем внешние; этим достигается выравнивание длины пар, а следовательно, и их электрических сопротивлений. При крутке пар в К. они укорачиваются, поэтому длину пар нужно брать с запасом. На з-дах принято прибавлять на каждые 100 *м* разную длину пар в зависимости от числа скручиваемых пар. Припуск длин колеблется от 0,8 до 1%.

Сушка телефонных кабелей производится в сушильных вакуум-аппаратах. Устройство аппарата показано на фиг. 38. Здесь мы имеем ряд полок *n*, к-рые укреплены на шарнирах *p* и могут поворачиваться, т. е. или входить в шкаф или выходить из него. Корзины с навитым К. помещаются на одну из таких полок, предварительно выдвинутую наружу; после этого полка с барабаном задвигается в шкаф. Под полками находятся змеевики *з*; пар, давлением 2—3 *atm* входит в змеевик в *а* и выходит в *в*; т. о., К. находится между двумя змеевиками и сушится как сверху, так и снизу. Вакуумная линия присоединяется к вакуум-аппарату посредством патрубка *ш* и идет через конденсатор *К* к воздушному насосу. Процесс сушки телефонных кабелей идет следующим образом. Когда все полки вакуум-аппарата заполнены, крышку затягивают болтами *б*. После этого пускают пар; *t*° внутри вакуум-аппарата поднимается примерно до 110—120°. Когда пар дан, пускают вакуум-насос, который отсасывает горячий воздух, насыщенный парами воды, и создает разрежение. В хороших вакуум-аппаратах вакуум доводится до 95% в 15—20 мин. Процесс сушки телефонных кабелей идет довольно быстро. Повышение изоляции во время сушки показано на кривой (фиг. 39), из к-рой видно,

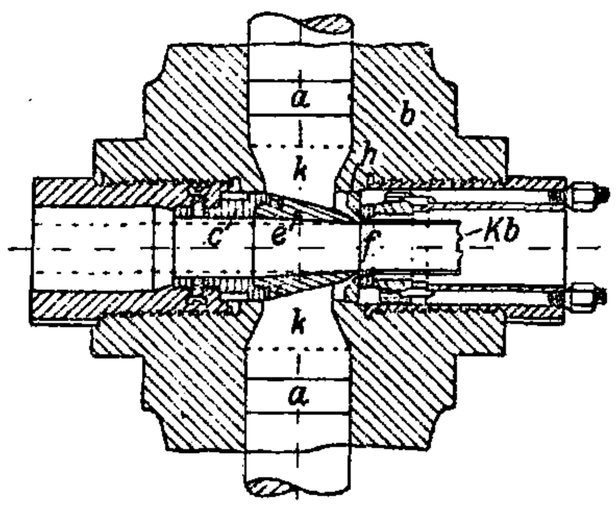


Фиг. 39.



Фиг. 40.

что повышение изоляции до 14 час. идет довольно быстро и затем кривая становится весьма пологой. К концу сушки кабель имеет сопротивление изоляции примерно 7—8 MΩ/*км* при *t*° вакуум-аппарата равной 110°. По охлаждении до 20° К. будет иметь сопротивление изоляции $5 \cdot 10^3 \div 6 \cdot 10^3$ MΩ/*км*. Количество часов сушки К. в зависимости от количества материала или, что то же, от длины К., для К. (900/2+11/2)0,50 показано на фиг. 40. Высушенный К. из вакуум-аппарата поступает на свинцовый пресс для опрессовки свинцовой оболочкой. Свинцовая оболочка защищает бумажную изоляцию телефонных К. от проникновения влаги, поэтому она д. б. без швов и каких-либо отверстий. На фиг. 41 показана внутренняя часть свинцового пресса. Здесь *b* — корпус центральной части пресса, *e* — дорн, *f*—матрица, *h*—регулирующее кольцо, *a* — штемпеля, *k*—камера, наполненная свинцом, *c*—держатель дорна, *Kb*—освинцовываемый К. Как видно из чертежа, дорн плотно привернут к своему держателю. Дорн—внутри полый, через него должен проходить опрессовываемый К., при чем размер дорна выбирается таким, чтобы К. проходил, не нарушая своей целости. Матрица в своем гнезде держится свободно и при посредстве болтов м. б. центрирована по оси пресса. Кольцо *h* имеет овальную форму, его назначение — равномерно распределять поступающий из *k* свинец. Штемпеля *a* являются конечными насадками поршней гидравлич. пресса, к-рые создают давление в камере *k*.

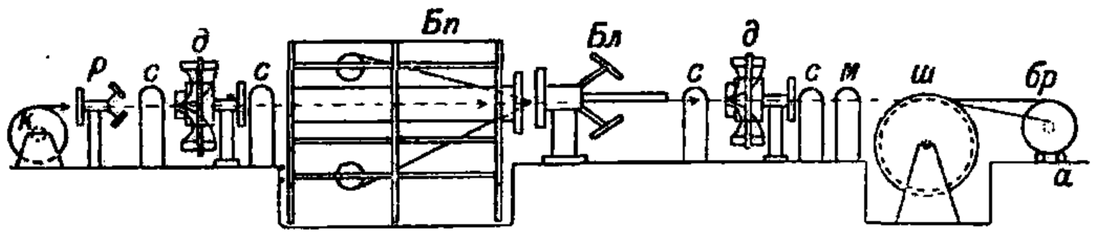


Фиг. 41.

Освинцование происходит следующим образом. В специальной ванне, к-рая находится над прессом, расплавляется свинец и посредством особых патрубков наливается в камеру *k*; затем одновременно с двух сторон, начинают давить штемпеля *a*, *a*; протянутый предварительно до дорна *e* кабель *Kb* подхватывается выходящей через кру-

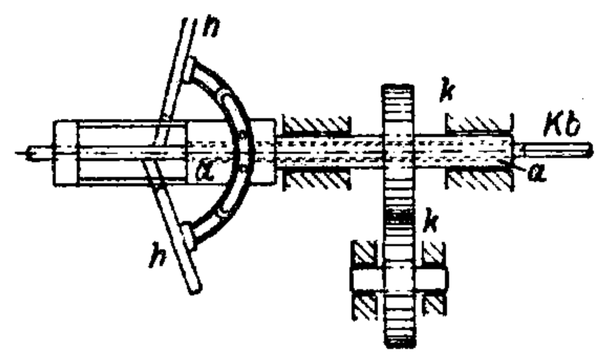
говой зазор между дорном и матрицей свинцовой трубой и получает поступательное движение; $t°$ свинца в *к*—от 150 до 200°, а потому К. по выходе из пресса искусственно охлаждается водой и дальше в холодном виде поступает на приемный барабан. Для телефонных К. предусмотрено технич. условиями добавление к свинцу 3 весовых единиц олова. Добавление 3% олова повышает сопротивление свинца на разрыв на 50%.

Освинцованный К., если он предназначен для прокладки в земле, покрывается броней на бронировочных машинах. Схема бронирования показана на фиг. 42. Здесь *к*—барабан с небронированным К., *р*—ролики с бумагой для обмотки свинца, *с*—аппараты с смоляным составом, *д*—аппараты для обмотки джутом, *Бп*—клеть для бронирования проволокой, *Бл*—аппарат для бронирования лентой, *м*—аппарат для мелового молока (густая взвесь мела в воде), *ш*—тяговая шайба, *бр*—приемный барабан бронированного К., поставленный на вращающиеся ролики *а*. Телефонные К., в зависимости от диаметра, покрываются броней из железных лент или из круглых проволок.



Фиг. 42.

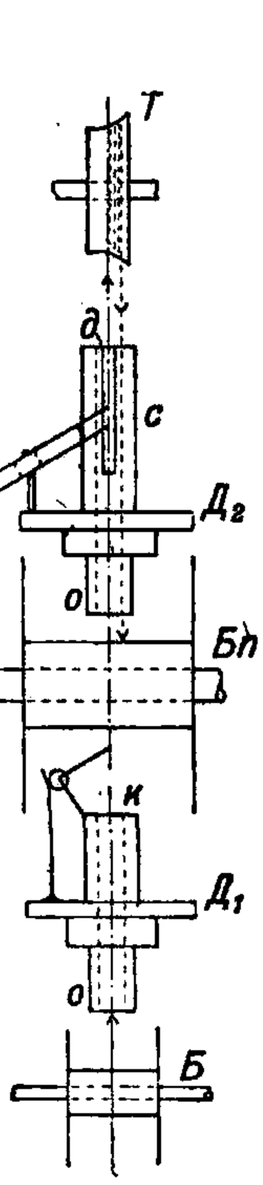
Бронирование лентой производится следующ. образом. К., получая поступательное движение от тяговой шайбы *ш*, проходит сквозь полые оси всех аппаратов. Диск с бумажными роликами *р* получает вращательное движение от главного вала вокруг своей геометрич. оси; бумага с роликов обматывает свинцовую оболочку К. по винтовой линии. Затем К., обмотанный бумажной лентой, попадает в аппарат с смоляным составом, покрывается смолой и проходит джутовый аппарат, где осмоленный К. обматывается подушкой из джута. Толщина подушки—примерно 2 *мм*. Аппарат для обмотки джутом состоит из розетки, сидящей на полой оси; по периферии розетки насажены катушки с джутом; при вращении розетки джут, сматываясь с катушек, обматывает К. Обмотанный джутом К. проходит смоляной аппарат, где джут пропитывается смолой. Подготовленный т. о. К. идет на бронировочную машину, показанную на фиг. 43. Здесь *a*, *a*—полая ось, *h*, *h*—два ролика с железной лентой, *k*, *k*—зубчатки, передающие вращение от главного вала. Вокруг проходящего сквозь полую ось кабеля *Kb*, как вокруг сердечника, вращаются ролики с железной лентой и обматывают К. по винтовой линии с перекрытием ок. 30%. Бронированный К. покрывается вторым слоем джута, проходит еще один смоляной аппарат и затем попадает в аппарат с меловым молоком. К. покрывают таким раствором для того, чтобы при высыхании не слипались отдельные витки его. Из аппарата с меловым молоком К. попадает на тяговую шайбу *ш* и дальше на приемный барабан *бр*. При бронировке проволокой К. проходит те же этапы, что и описанные при бронировании железной лентой, только после первой обмотки джутом и пропитки смоляным составом он попадает в клеть, бронирующую железными проволоками.



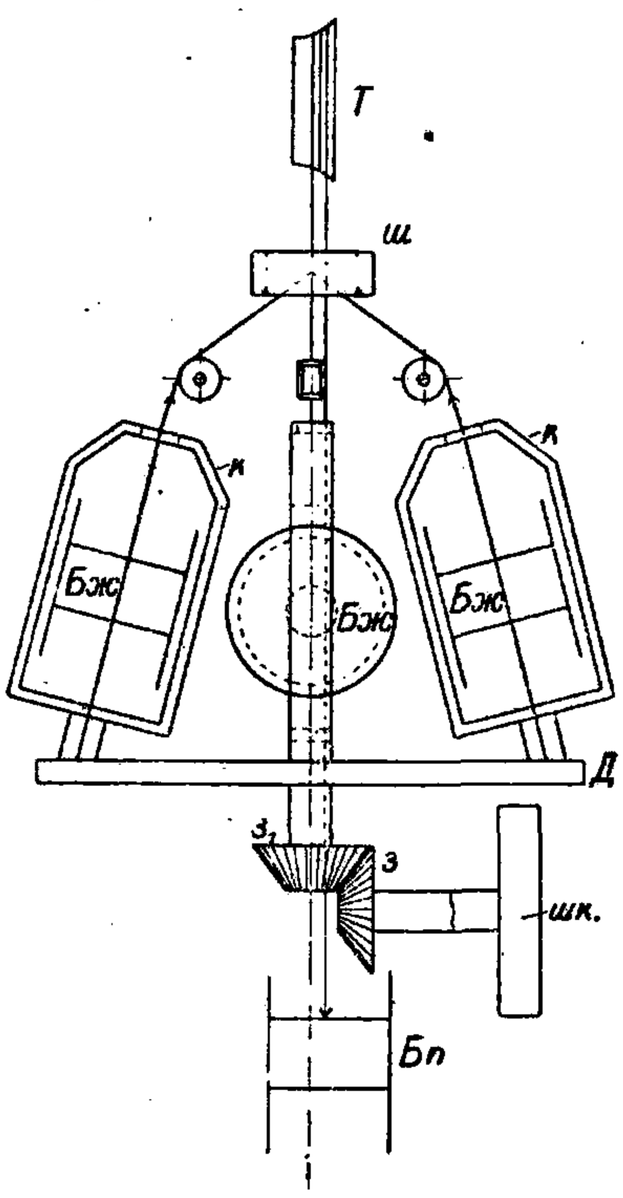
Фиг. 43.

Обыкновенно обе машины *Бл* и *Бп* с целью экономии подсобных аппаратов и места ставят одну за другой: если одна работает, то другая стоит; производству это совершенно не мешает, так как приходится только выключить соответствующую машину от главного вала.

Машины для производства телефонного междугородного К. На фиг. 44 показана машина для изолировки К. корделем и бумагой. Она несколько напоминает машину для изолировки телефонных К. для городских сетей. Здесь *о*, *о*—патрубки с отверстиями, *Б*—барабан с медной голой жилой, *к*—катушка с корделем, укрепленная на диске $Д_1$, *р*—ролик с бумажной лентой, укрепленный на диске $Д_2$, *Т*—тяговая шайба, *с*—трубка с прорезью *д*, служащая для направления полоски бумаги. Действие машины заключается в следующем. Медная голая жила проходит через отверстие *о*, затем обматывается корделем с катушки *к*, проходит через отверстия *о* и *д* трубки *с* и обматывается бумагой. Жила тянется тяговой шайбой и с нее поступает на приемный барабан *Бп*. Машина для крутки пар и четверок показана на фиг. 45. Здесь *Бж*—барабаны с изолированной жилой, *к*—фонарь, *ш*—штуцер, *Т*—тяговая шайба, *Д*—основной диск, *з*—главная зубчатка, *шк*—шкив, *Бп*—приемный барабан, $з_1$—зубчатка диска *Д*. Машина действует следующим образом. Барабаны с изолированными жилами помещаются в фонари *к* (всего машина имеет четыре фонаря), укрепленные на основном диске *Д*; последний приводится во вращение шкивом *шк* через

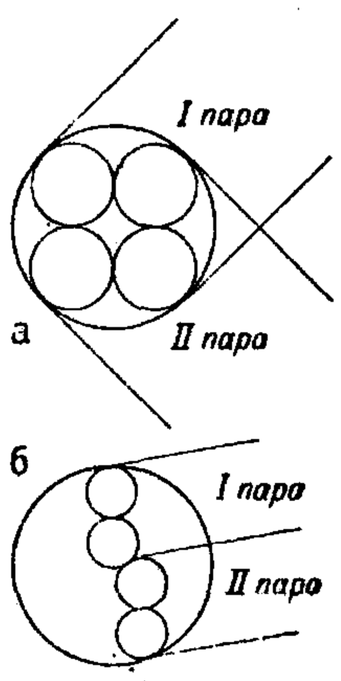


Фиг. 44.



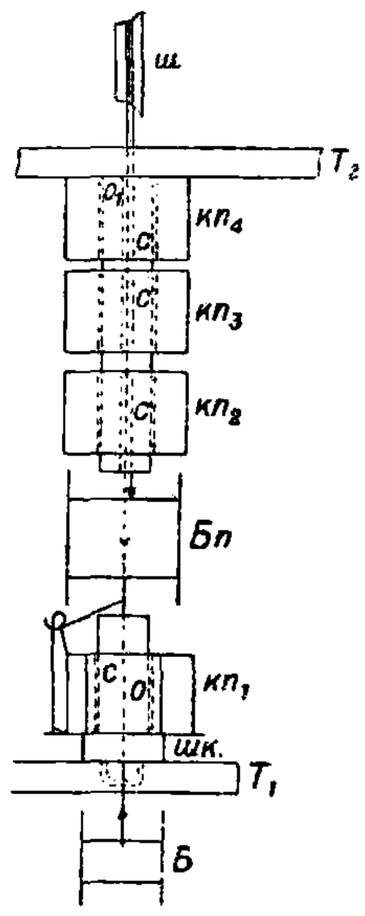
Фиг. 45.

зубчатую передачу $з$-$з_1$. Четыре фонаря $к$ вращаются вместе с диском, и т. к. тяговая шайба $Т$ имеет вращательное движение только около своей оси, перпендикулярной к оси вращения диска, то четыре изолированные жилы скручиваются в четверку звездой. Эта же машина служит и для крутки пар и четверок по сист. D. M. При крутке пар работают только два фонаря. При крутке четверок сист. D. M. работают тоже два фонаря, только на барабанах намотаны не жилы, а скрученные пары. Перед тяговой шайбой обыкновенно ставятся два ролика с бумагой, на фигуре не показанные; они служат для обмотки четверок двумя слоями кабельной бумаги. Кроме описанных, употребляются еще машины с качающимися дисками. У этих машин основной диск имеет особое устройство, позволяющее ему во время крутки пар или четверок, если одна жила или пара сходит с опережением, менять наклон к оси; т. о., диск наклоняется в сторону опережающей жилы и выравнивает движение. За границей раньше были в большом ходу т. н. комбинированные машины; эти машины одновременно изолировали жилы и крутили их в четверку. В последнее время от таких машин отказываются. Это объясняется большими простоями комбинированных машин, а также и плохим качеством работы. После операции крутки готовые четверки поступают на телефонную машину для крутки в кабель. Крутка в К. и все последующие операции ведутся на тех же машинах и аппаратах, какие были описаны в производстве кабеля для городских сетей. Схематическое расположение жил в четверках звездочкой (а) и сист. D. M. (б) показано на фиг. 46.



Фиг. 46.

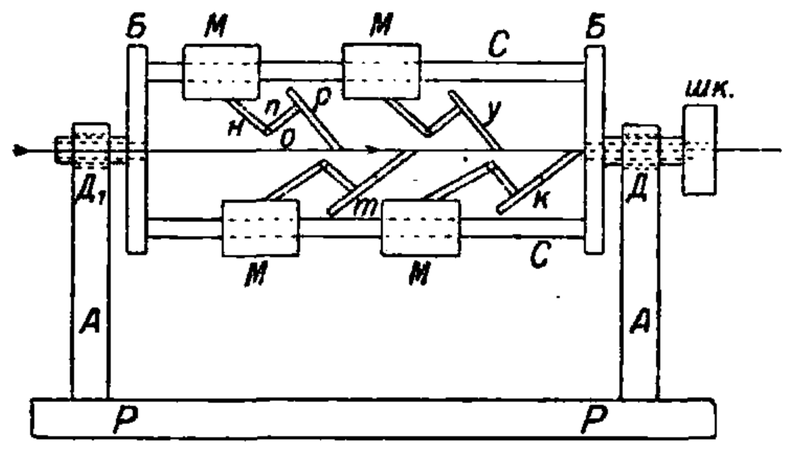
Машины и аппараты для производства станционных и распределительных кабелей. Машины для изоляции жилы показаны на фиг. 47. Здесь $о$ и $о_1$—полые оси, $Т_1$ и $Т_2$—траверсы, $Б$—барабан с голой жилой, $ш$—тяговая шайба, $Бп$—приемный барабан, куда поступает изолированная жила, $кп$—катушки с пряжей, $шк$—шкив для вращения катушки вокруг провода, $с$—сердечники катушек. Действует машина следующим образом. Голая медная жила получает движение, указанное стрелкой, от тяговой шайбы $ш$; ролик с катушкой получает движение от главного вала машины; ось вращения катушки совпадает с осью имеющего поступательное движение провода. Т. о., провод будет обматываться шелковой или хл.-бум. пряжей. Чтобы увеличить выпуск готового провода с такой машины, на катушки $кп$ наматывается пряжа не в одну нитку, а трощенная в несколько нитей; тогда на провод при обмотке ложится целая ленточка из ниток, и потому можно увеличить скорость поступательного движения провода. Т. к. провод может иметь длину очень большую и одной катушки пряжи для изоляции не хватит, то на полую ось $о_1$ надевают еще запасные катушки с пряжей $кп_2$, $кп_3$, $кп_4$. Когда катушка $кп_1$ израсходовалась, ее заменяют следующей, не разрывая провода; сердечники катушек $с$ имеют по образующей прорезь, ширина к-рой соответствует толщине провода, а потому сердечник легко снимается с провода. Такие же машины строят и для обмотки сразу в два слоя; конструкция их такая же, только строят еще третью траверсу и на ней укрепляют еще ряд катушек с пряжей, к-рые и обматывают провод вторым слоем.



Фиг. 47.

Крутка изолированных жил в пару ведется на машинах, показанных на фиг. 35. Крутка в пучки и пучков в К. ведется на телефонной крутильной машине (фиг. 36). Обмотка бумажными и станиолевыми лентами ведется на машинах, показанных на фиг. 48. Такая машина состоит из стоек $А$, $А$, укрепленных на раме машины $Р$, $Р$. В стойках имеются подшипники, в к-рые укладываются цапфы $Д$, $Д_1$ дисков $Б$, $Б$; на конце одной из цапф имеется шкив $шк$, к-рый получает движение от ременной передачи. Диски $Б$, $Б$ соединены между собой тягами $С$, $С$; на тягах укреплены зажимы $М$ с шарнирами $н$, $о$, $п$; на держатель $п$ надевается круг $р$ с миткалевой лентой, правильный спуск которой обеспечивается двумя дощечками, удерживающими круг. Такое же устройство имеют держатели $т$, $у$, $к$. На держателе $шк$ закрепляется бумажная лента, на держателе $у$—станиолевая, на держателе $к$—снова бумажная лента. К. проходит сквозь пустотелые цапфы $Д$, $Д_1$ по направлению, показанному стрелкой; вся машина вращается вокруг оси, совпадающей с осью К., при чем К. последовательно обвивается миткалевой, бумажной, станиолевой и бумажной лентами.

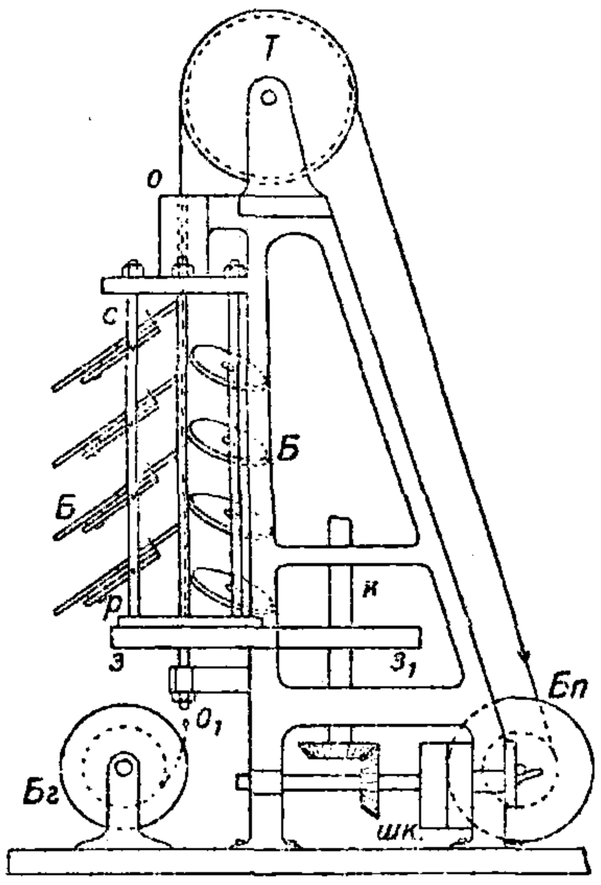
Следует также упомянуть о производстве К. по сист. Крарупа. Медная жила, диам. 1—2 $мм$, обвивается железной проволокой,



Фиг. 48.

диам. к-рой берется от 0,3 до 0,5 $мм$. Делается это для увеличения самоиндукции К. Обработанная т. о. жила изолируется или бумажной или гуттаперчевой изоляцией; если изоляция бумажная, то К. опрессовывается свинцовой оболочкой. Обвивка жилы железной лентой производится на машинах, аналогичных машинам, изображенным на фиг. 47, с той разницей, что конструкция их тяжелее и на место катушек с пряжей ставят катушки с железной проволокой.

Машины для производства телеграфного К. с бумажной изоляцией. Все машины, кроме изолировочных, были уже описаны выше; машина для изолировки бумагой показана на фиг. 49.



Фиг. 49.

Здесь *Бг*—барабан с голой жилой, $з, з_1$—зубчатки, *Б*—ролики с бумажной изолировочной лентой, *Т*—тяговая шайба, *Бп*—приемный барабан, *шк*—шкив, получающий движение или от отдельного мотора или от трансмиссии, *к*—коренной вал, *с*—стойки для дисков, и $о, о_1$—патрубки. Действие машины следующее. Голая жила, получая поступательное движение от тяговой шайбы (сама тяговая шайба получает движение от коренного вала, на фигуре не показанного), движется по направлению, указанному стрелками; три стойки *с* укреплены неподвижно на плите *р*; на каждой стойке укреплено по 4 ролика *Б* с бумагой; плита *р* связана в одно целое с зубчаткой *з* и вращается вокруг своей геометрич. оси $о, о_1$; т. о., стойки *с* с роликами *Б* также вращаются вокруг оси $о, о_1$ или, иначе говоря, вокруг поступающей жилы; бумага сматывается с роликов и изолирует жилу столькими слоями, сколько поставлено роликов. Изолированная жила идет в сушильный аппарат и после сушки на свинцовый пресс для опрессовки свинцовой оболочкой. Иногда такие К. по требованию заказчика пропитываются изолирующими составами. Пропитка делается для того, чтобы предохранить жилу К. от влаги, если, напр., свинцовая оболочка имеет где-либо дефект. Если бронированный К. предназначается для прокладки в земле, то он бронируется круглыми или сегментными проволоками.

К. с изоляцией из джутовой пряжи в настоящее время выходит из употребления и замещается К. с бумажной изоляцией. Жила такого К. обвивалась двумя слоями джутовой пряжи, при чем один слой имел правую крутку, другой—левую. Изолированная т. о. жила поступала в пропиточные аппараты, откуда шла на свинцовый пресс и дальше—уже по знакомым нам ступеням обработки.

Лит.: Юрьев М. Ю., Телефонирование по кабелю на далекое расстояние, М., 1927; Лапин Н. П., Кабельные линии связи, М., 1927; его же, Воздушные линии связи. Расчет, устройство, ремонт, содержание, М., 1927; см. также лит. к главе «Кабель высоковольтный». **Г. Бацинин.**

КАБОТАЖ, каботажное плавание, морское плавание между портами одного и того же государства с целями перевозки береговых грузов и пассажиров. Технич. средства и вообще практика плавания больших судов К. ничем не отличаются от технич. средств и практики обыкновенных морских сообщений. Вследствие этого установить точные признаки типа специально каботажного судна довольно трудно. Чаще всего под таким названием понимают те небольшие суда, к-рые плавают по линиям местных сообщений. Плавание это отличается некоторыми особенностями. Так, в громадном большинстве случаев основной целью этого плавания является перевозка грузов между такими пунктами побережья, куда по судовым условиям (отсутствие причалов, малая глубина гавани и пр.) или просто по коммерч. соображениям не заходят большие суда. Кроме того, и основная масса перевозимых при таком плавании грузов слагается из дешевых и не выдерживающих высоких фрахтов товаров: соли, строительного камня, кирпича, черепицы, дров, сена, соломы, овощей, арбузов, дынь и т. п. В большинстве случаев эти суда деревянные, самой дешевой и грубой конструкции, небольшой грузоподъемности, от 20 до 150—200 *m*, с парусным (обыкновенно двух-, реже трехмачтовым) вооружением, изредка со слабым вспомогательным мотором, позволяющим им двигаться с небольшой скоростью в штилевую погоду (тип лайб, дубов и кочерм Балтийского и Черного морей). Этот тип европ. каботажника заметно отличается от типа каботажника наших дальневосточных окраин. Суровые условия плавания по Охотскому и Берингову морям и перевозка более ценных товаров (пушнины, мануфактуры и колониальных товаров и пр.) между Владивостоком и Камчаткой выработали более совершенный тип каботажника, со стальным корпусом, грузоподъемностью до 600 *m*, с сильным мотором, который и является главным двигателем судна, несмотря на наличие у него парусного вооружения.

Развитие у нас каботажного плавания в значительной мере тормозится естественными условиями плавания на прилегающих к побережью СССР морях (продолжительная их замерзаемость, малая изрезанность берегов, частые бури и туманы Ледовитого океана, Охотского и Берингова морей). Несмотря на это каботажные перевозки и в настоящее время играют весьма крупную роль в нашем морском транспорте и имеют все шансы для дальнейшего развития. Так, по данным одного Совторгфлота, размеры грузооборота каботажного и заграничного плавания за шесть месяцев определяются следующими цифрами (в тыс. *m*):

Малый К. (по главным конторам Совторгфлота)	1927 г.	1928 г.	1928 г. в % к 1927 г.
Черноморская контора . . .	223,0	284,5	127,1
Азовская » . . .	21,0	38,0	180,9
Северная » . . .	13,7	26,4	192,7
Дальне-Восточ. » . . .	31,2	40,2	128,9
Балтийская » . . .	—	2,6	—
Всего	288,9	391,7	135,5
Дальнее плавание (по главным конторам)			
Черноморская контора . . .	68,7	117,0	170,3
Азовская » . . .	0,8	0,9	112,5
Северная » . . .	86,0	112,7	131,0
Дальне-Восточ. » . . .	52,0	37,8	72,7
Балтийская » . . .	187,6	231,7	123,5
Всего	395,1	500,1	126,6

Эти данные д. б. увеличены на грузооборот частновладельческих судов, к-рые особенно

часто встречаются как раз в составе мелких судов каботажного флота.

Лит.: Сборник законов и распоряжений по торговому мореплаванию и портам, М., 1928; Энцикл. словарь Брокгауза и Ефрона,. т. 26, СПБ, 1894; Звонков В. В., Эксплоатация водных путей, М., 1927. **В. Цеханович.**

КАВИТАЦИЯ, см. *Движители судовые.*

КАВКАЗСКАЯ ПАЛЬМА, см. *Самшит.*

КАДАСТР ВОДНЫЙ общий, систематический свод основных сведений о реках и о произведенных речных исследованиях, могущий служить основой для научных работ и для использования рек в хозяйственном отношении, а также основой для установления программы дальнейших исследований. Общий К. в. состоит из трех частей: 1) списка рек, 2) каталога рек и 3) подробного формуляра для характеристики рек: а) безливных и б) с приливами и отливами. Кроме того, составляются специальные кадастры: по судоходным рекам, по рекам как источникам водоснабжения и по водным силам [форма одного из наиболее важных кадастров—водных сил СССР—выработана Госуд. гидрологическим ин-том и комиссией по изучению естественных производительных сил Союза (КЕПС) при Академии наук СССР]. Вследствие чрезвычайной сложности и многообразия явлений, происходящих в реках, и постоянной смены их в пространстве и во времени в зависимости от того или иного сочетания метеорологических, гидрологических и многочисленных других факторов, необходимо для возможности сравнения и получения нужных данных установить однообразную форму водного кадастра во всех его частях.

Список рек включает все живые реки данного бассейна. Он содержит название главной реки, сведения об ее истоках, ее длине, а также перечисление всех притоков.

Каталог рек, выработанный и принятый Государственным гидрологич. ин-том, должен включать все живые реки (не сухие лога). Реки должны располагаться в каталоге по бассейнам: сначала главная река, а затем ее притоки в порядке впадения от верховьев к устью, подобно тому как это сделано в «Перечне внутренних водных путей». В каталог включаются также источные и проточные озера. Непроточные озера и болота в каталог не включаются, и для них могут составляться особые специальные каталоги. При составлении каталога и кадастра вообще используется весь имеющийся литературный, картографический и архивный рукописный материал, а также производится собирание данных на местах. Каталог рек включает следующие сведения: 1) шифр схемы бассейнов (по схемам Гос. гидролог. ин-та); 2) правый («п») или левый («л») приток, а для рек, впадающ. в озера или моря, д. б. отмечена главная «гл»; 3) название реки; 4) широта и долгота устья и истока (для больших рек); 5) длина реки; 6) площадь бассейна; 7) абсолютная отметка истока и устья; 8) сведения о расходах реки; 9) сведения об использовании реки (судоходство, сплав, утилизация водной энергии, водные мелиорации); 10) сведения об исследованности реки; 11) источники и способы получения данных о реке сверх известных.

Формуляр для характеристики реки, не подверженной приливам и отливам, принятый Госуд. гидрологич. институтом и Народным комиссариатом путей сообщения в 1923 г., должен включать: 1) общие сведения о реке в целом; 2) режим реки; 3) исполненные работы и их последствия; 4) транспорт (судоходность).

Формуляр для характеристики реки, подверженной действию приливов и отливов (ливной реки), утвержденный на VII Международном судоходном конгрессе в Брюсселе в 1898 г., включает: название реки; краткое географическое описание (указание важных притоков, впадающих в приливную часть реки; определение устья).

Режим моря. 1) Гидрографич. карта. Котидальные кривые. 2) Морские течения. 3) Кривые приливов и отливов, равноденственная высоких вод, средние высоких вод, средние низких вод. 4) Господствующие ветры и бури; их влияние на приливы и отливы; количество ветров; высота волн во время бурь. 5) Свойства морского дна против устья реки и свойства ближайших берегов; движение наносов, бары, их изменения.

Режим реки выше ливной части. 1) Расход верхних (пресных) вод реки и ее притоков в межень, в обыкновенные и в исключительные половодья; средний расход. Время и повторяемость подъемов воды. Месячные диаграммы средних, наибольших и наименьших расходов. Кривые расходов в зависимости от высоты и горизонта воды. 2) Наносы, влекомые рекой, их количество и природа.

Режим реки в части, подверженной действию ливов. 1) План с кривыми промеров. 2) Продольный профиль по линии, обозначенной на плане, с показанием: а) геометрич. мест приливов и отливов; б) мгновенных кривых, снятых через промежутки в один час; в) пределов распространения прилива. Такие же данные для меженнего периода реки и периода ее обыкновенных высоких вод. Указание изменений рельефа дна, естественных или вызванных работами. Высота берегов. Горизонты самых высоких вод. 3) Поперечные профили по линиям, обозначенным на плане. 4) Местные кривые приливов и отливов, отвечающие указанным выше состояниям моря и среднему расходу пресных вод. Кривые скорости распространения низкой и высокой воды. 5) Кривые подводных сечений ниже горизонта среднего отлива и между этим горизонтом и средним горизонтом прилива; кривые объема вод, входящих в реку в разных местах ее течения. 6) Диаграммы, для принятых в п. 5 станций, расходов и средних скоростей течения в ск., выведенных расчетом из элементов п. 5 и из соответствующих подводных сечений. Диаграммы средних скоростей в зависимости от высоты уровня воды. 7) Скорости течения, наблюденные в нижней части реки на разных станциях, в разных местах поперечного сечения и на разных высотах. 8) Природа и количество наносов. 9) Указания изменений в *банках* (см.) и *фарватерах* (см.). 10) Соленость. 11) Исполненные работы и их результаты.

Лит.: Маштаков П. Л., Список рек Днепровского бассейна, СПБ, 1913; Копылов Н. А., Инструкция для составления каталога рек, Л., 1927; Перечень внутренних водных путей Европ. России с распределением их по морским и речным бассейнам, Л., 1926; Тимонов В. Е., Формуляр для характеристики реки, не подверженной приливам и отливам, «Известия Госуд. гидрологич. ин-та», Л., 1926, *16*; его же, Об установлении формуляра для однообразной и исчерпывающей характеристики рек, «Известия Российского гидрологического института», Петроград, 1921, *1—3*; Симонов Н., Инструкция для составления кадастра водных сил СССР, Ленинград, 1929. **М. Марцелли.**

КАДМИЕВЫЕ РУДЫ, минералы, содержащие кадмий; из них гринокит, CdS (кадмиевая обманка), содержит 77,8% и отавит, $CdCO_3$, — 61,5% Cd. Эти руды встречаются очень редко и применяются гл. образом для изготовления минеральных красок. Кадмий добывается как побочный продукт при производстве цинка из цинковых и цинково-свинцовых сульфидных и окисленных руд, содержащих кадмий. Содержание кадмия в рудах СССР видно из табл. 1.

Табл. 1.—Содержание кадмия в цинково-свинцовых рудах.

Месторождения	Содержание в %		В пересчете на 100 ч. Zn
	Cd	Zn	
Садонский рудник, С. Кавказ	0,01—0,02	55,36—59,74	0,02—0,04
Змеиногорский рудник, Сибирь	0,01	2,48	0,40
Лазурский рудник, Сибирь	0,02	23,02	0,09
Барадавусын, Казакская ССР	0,02	Следы (Pb 45,37)	—
Алтын-Топкан, Узбекская ССР:			
Сульф. и окисл. руды	0,26	10,28	2,53
Сульфидные руды	0,14	10,30	1,35
Окисленные руды	0,09	18,14	0,50
Кан-сай, Узбекская ССР:			
Сульфидные руды	0,12	13,94	0,86
Сульф. и окисл. руды	0,16	11,30	1,42
	0,24	12,91	1,86

Более детальное опробование руд Садонского рудника на содержание кадмия дало следующие результаты (табл. 2).

Табл. 2.—Содержание кадмия в рудах Садонского рудника.

Место взятия проб	Число анализов	Содержание в %			
		Cd		Zn	
		от	до	от	до
Шахта Артем	4	0,045	0,250	14,05	32,75
Центральн. участок	11	0,037	0,473	14,75	38,00
Ходский участок	5	0,102	0,475	22,75	36,75

Содержание Cd (на 100 ч. Zn) в рудах Верхней Силезии—0,33, Брокен-Хилл (Австралия) — 0,40, Джоплин (С. Ш. А.) — 0,62. Т. о., руды некоторых месторождений СССР богаче кадмием, чем руды месторождений других стран.

Впервые Cd начали добывать из руд Верхней Силезии, где с 1850 по 1900 г. было добыто 160 *m* Cd. С 1911 г. добыча Cd началась в С. Ш. А. и с 1923 г.—на Тасмании. В последнее время мировая продукция Cd достигла ~700 *m* в год; из этого количества на долю С. Ш. А. приходится 60%, Тасмании 22%, Канады 12% и Верхней Силезии 6%.

Лит.: см. *Кадмий.* **П. Топольницкий.**

КАДМИЙ, Cd, химич. элемент II группы периодич. системы, ат. в. 112,41, порядковый номер 48; металл серебристо-белого цвета; кристаллизуется в гексагональной системе; ковок, тверже олова, режется ножом, легко вальцуется и вытягивается; при этом, в противоположность цинку, не теряет полностью своей кристаллич. структуры; рекристаллизация протекает медленно при комнатной $t°$ и быстро при 200—250°; $t°_{пл.}$ 320,9°, $t°_{кип.}$ 763—786°. Удельная теплоемкость 0,054 cal на *г* (при 28°). Теплота плавления 13,66 cal на *г* (1,54 Cal на *г*-атом); теплота испарения ~240 cal на *г* (~27 Cal на *г*-атом). Плотность металлич. К. зависит от способов его обработки: так, плотность плавленого К.—8,64819, кованого—8,6944, прессованного при 20 000 *atm*—8,642007. Твердость К. по шкале Моса 2,0, склерометрическая твердость (на штрих) при нагрузке 10 *г*—от 0,022 до 0,027; твердость по Бринелю при нагрузке 200 *кг* и диам. шарика 9,52 *мм*—22,0 *кг/мм²*, а при нагрузке 100 *кг*—15,1÷15,4 *кг/мм²*. Эти значения изменяются в зависимости от условий отливки К.; так, например, плавленый и медленно охлажденный К. показывает твердость по Бринелю (при нагрузке 100 *кг*) 16,5, а быстро охлажденный—17,5. Теплопроводность для плавленого К. при 18° равна 0,2216, а при 100°—0,2149 в единицах *CGS*; температурный коэфф. в этом случае равен 0,0038. Для кадмиевой проволоки теплопроводность при 18° равна 0,2236, при 100°—0,2209; в этом случае температурный коэфф. равен 0,001. Электропроводность К. при 18° равна 12,9—13,2 мо-*см*.

К. — двувалентный элемент; на воздухе он легко окисляется, образуя окись; сильно нагретый, горит, окрашивая пламя в красный цвет; при окислении образует не только окись, CdO, но и субокиси. Пары К. окрашены в желто-коричневый цвет, ядовиты. Химически чистый К. плохо растворяется в к-тах; из растворов солей он вытесняется металлич. цинком. К. разлагает пары воды только при высокой $t°$. В природе К. встречается в виде сернистого К., CdS, и в виде карбоната, $CdCO_3$.

Применение К. в технике. Сплавы К. со свинцом, цинком и висмутом применяются для изготовления легкоплавких пробок для автоматич. огнетушителей. Наибольшим распространением пользуются следующие сплавы: Вуда (12,5% Cd, 25% Pb, 12,5% Sn и 50% Bi, $t°_{пл.}$ 70°), Ньютона (10% Cd, 28% Pb, 17% Sn, 45% Bi, $t°_{пл.}$ 70°), Липовича (10% Cd, 27% Pb, 13% Sn и 50% Bi, $t°_{пл.}$ 55—60°); легкоплавкие припои: шнеллот, Schnellot (25% Cd, 50% Sn, 25% Pb, $t°_{пл.}$ 149°), сикерлот, Sickerlot (63% Sn, 37% Pb; прибавление 8% Cd понижает $t°_{пл.}$ до 136°) применяются как добавка к нейзильберу и к сплавам магния для повышения их механических свойств. Кадмий служит для замены олова в припое и в подшипниковых сплавах. Далее К. находит применение в ювелирной технике для придания своеобразных оттенков изделиям из серебра, золота и платины; в типографском деле для изготовления клише; как припой для алюминия и свинца; как добавка к меди для по-

лучения телефонных и телеграфных кабелей с высокими механич. качествами; прибавкой 1% К. к меди достигается значительно бо́льшая прочность проволоки на разрыв и истирание (втрое больший срок службы) без понижения электропроводности. Амальгамой К. пользуются в зубной технике. К. применяется и в никелировании: отчасти как грунт для последующего покрытия никелем, отчасти в качестве составляющей электролита ($CdCl_2$ до 0,1% делает осадок никеля более плотным и светлым).

В последнее время К. нашел большое применение в гальванотехнике. Покрытие К. (кадмирование) является лучшей защитой железа и стали от коррозии на воздухе и в морской воде. Наиболее распространено кадмирование электролитич. путем. К. можно осаждать как из щелочных, так и из кислых растворов; кислые ванны применяются редко; они содержат обычно смеси сернокислых солей Cd, NH_4 и Mg (или соответствующих двойных солей) и свободной серной к-ты. Из такого электролита К. отлагается в виде игол, непрочно сидящих на поверхности покрываемого предмета. Для улучшения качества покрытия было предложено вводить в электролит различные органич. вещества (пептон, декстрин и т. п.); однако, распад их, происходящий в процессе работы, часто влечет за собой не улучшение, но в нек-рых случаях значительное понижение качества получаемого слоя.

Лучшие результаты дают перхлоратные, фтороборатные и кремнефтористоводородные ванны. Покрытия из этих ванн, особенно в присутствии коллоидов, получаются равномерные, плотные и крепко держатся на покрываемом предмете. Однако, эти ванны вследствие дороговизны и сложности ухода за ними применяются только в исключительных случаях. Самое широкое распространение имеют щелочные, особенно цианистые, ванны; они лишены недостатков сернокислых ванн и отличаются большой продолжительностью работы. Примерные составы электролита: а) 8,5 *г* двойной цианистой соли К. и калия, $KCN \cdot Cd(CN)_2$, 3,5—7 *г* едкого кали, KOH, 2 *г* декстрина, 1000 *г* воды или б) свежеосажденный $CdCO_3$, приготовленный из 14 *г* сернокислого К., $CdSO_4$, 35 *г* цианистого калия, KCN, 1 000 *г* воды. Первая ванна работает при комнатной $t°$, при плотности тока 15 А на $м^2$ и напряжении на клеммах 2 V; анодом служит сырой К. Для правильного растворения анода необходимо время от времени прибавлять цианистого калия, а для сохранения постоянной электропроводности добавлять едкого кали. К. отлагается равномерно; покрытие прочно держится на железе и стали. Вторая ванна работает при плотности тока 0,4—0,8 А на $дм^2$ и напряжении 3 V; анодом служит сырой К. Для получения блестящих отложений в раствор рекомендуется вводить пептон в количестве до 2 *г/л*. Нагревание предметов, покрытых слоем металлич. К., до 170—250° улучшает качество покрытия как в отношении прочности, так и в смысле предохранения от коррозии. Электролитич. кадмирование нашло широкое применение в технике и служит для замены цинкования и никелирования.

В настоящее время главными поставщиками металлического К. являются С.Ш.А. и Германия. Производство К. в С.Ш.А. в 1927 г. равнялось 486 525 *кг* металлич. К., при цене 60 центов за англ. ф. **Д. Степанов.**

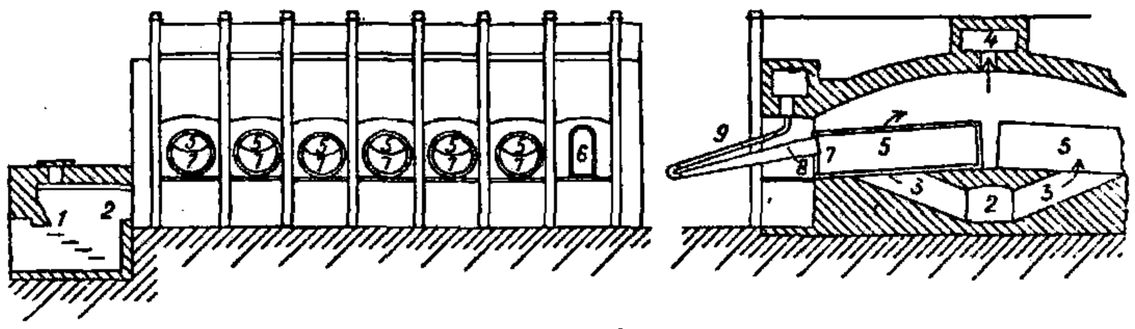
К. в металлургии.

Незначительное содержание К. в рудах (см. *Кадмиевые руды*) делает совершенно нецелесообразным непосредственное применение их в качестве исходного материала для получения К. В этом отношении более пригодными оказываются нек-рые побочные продукты цинкового и свинцового производств. Таковыми являются: 1) цинковая пыль, к-рая собирается в аллонжах и конденсерах при дистилляции цинка из обожженной руды, 2) пыль мешочных камер свинцово-плавильных заводов, 3) остатки от очистки растворов цинковых электролитных з-дов и 4) остатки литопонного производства. Содержание К. в этих продуктах следующее. 1) Цинковая пыль силезских заводов, полученная в течение первых двух часов дистилляции, содержит в среднем около 6% кадмия; собранная же после этого срока содержит 1,2—2,0% К. В конденсерах системы Darger цинковая пыль получается с содержанием 3—4% К. Содержание К. в цинковой пыли бельгийских з-дов варьирует от 0,52 до 1,3% и иногда до 1,8%, а з-дов С. Ш. А. в среднем ок. 2%. 2) Пыль мешочных камер свинцовоплавильных з-дов в первое время своего осаждения содержит лишь следы К.; но эта пыль после многократного возвращения в плавильную печь в течение нескольких лет значительно обогащается К. Полученная т. о. пыль на з-дах С.Ш.А. содержит до 5% К. и иногда даже выше. 3) Остатки от очистки растворов на цинковых электролитных заводах содержат около 12% К., а 4) остатки литопонного производства ~ 8% К. Получение металлич. К. из указанных продуктов производится двумя способами—сухим и мокрым; по последнему способу его можно вести как чисто химическим путем, так и электрохимическим.

Сухой способ применяется для переработки цинковой пыли и состоит в фракционированной дистилляции ее. Такая переработка основана на более легкой восстановимости CdO по сравнению с ZnO и на большей летучести металлического Cd, чем цинка. Заметное восстановление CdO в условиях практики происходит в $t°$-ном интервале от 772 до 813°, а ZnO—при 1 022—1 088°. $t°_{кип.}$ 778°, а Zn—935°. С понижением $t°$ упругость паров Cd и Zn понижается, при чем кривая упругости пара Cd на всем своем протяжении лежит выше кривой для Zn, благодаря чему скорость испарения К. при всех $t°$ будет выше, чем для цинка. Вследствие этого отношение Cd : Zn в дистиллате будет выше, чем в дистиллируемом веществе; подвергая дистиллаты повторной перегонке, мы можем дойти до отгона, содержащего почти чистый К.

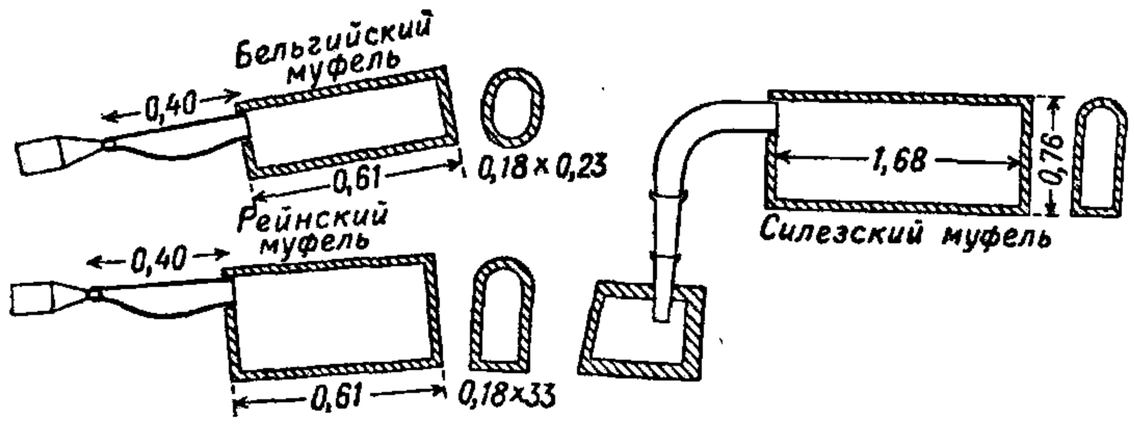
Бо́льшая часть металлич. К. получается в первые $1^1/_2$—2 часа дистилляции. Полученный продукт содержит от 3,8 до 4,2% или 6,0—8,0% К., в зависимости от состава руды. Его смешивают с 50% угля и снова

подвергают дистилляции. Эту операцию повторяют несколько раз. В результате получают так называемый сырой К., который расплавляют в отдельной печи и разливают в формы. Обычно дистилляцию производят в муфельных печах; конструкция их в общем однотипна, изменяются лишь количество муфелей, их распределение и размеры. На фиг. 1 изображен тип такой печи. Газ, получаемый в генераторе со ступенчатой колосниковой решеткой *1*, через каналы *2* и *3* проходит в печное пространство, где он



Фиг. 1.

сгорает, и продукты горения уходят через отверстие в своде печи по борову *4*; в печь вмазан ряд цилиндрич. реторт *5* длиною 1,2 *м* и 30 *см* в поперечнике, загруженных смесью цинковой пыли, содержащей К., с углем; *6*—силезский муфель с размерами 1,3×0,5×0,2 *м*. Реторты закрываются круглыми крышками *7*, к отверстиям к-рых присоединены собирательные металлич. конусы *8*, сообщающиеся далее через S-образные трубки *9* с дымоходом. Различные конструкции муфелей представлены на фиг. 2. Чтобы уменьшить число дистилляций, Гишес и Эрбен смешивают цинковую пыль, содержащую К., с коксом (115 *кг* продукта с 17 *кг* кокса) и в специальной печи дистиллируют в течение 20—22 час. Продукт собирается в металлич. конусах частью в виде сплавленного металла, частью же в форме порошка. Металл непосредственно переплавляют и отливают в штанги. Порошок перегружают в меньший дистилляционный муфель, находящийся в той же печи, и вновь дистиллируют при более высокой $t°$. В этом случае вся операция



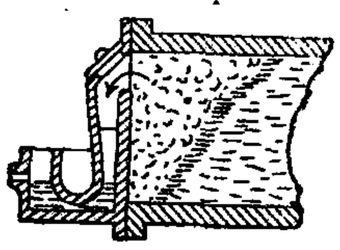
Фиг. 2.

отделения К. проводится при помощи только двух дистилляций. Метод дает продукт с содержанием 99,5% К., в то время как указанные выше способы в лучшем случае дают продукты с 57—80% К. Для получения чистого К., свободного от цинка, Р. Бивенд предложил при перегонке применять как восстановители металлич. железо или закисные его соединения. Реакция протекает по схемам:

$$4\,Fe + 6\,CdO = 2\,Fe_2O_3 + 6\,Cd;$$

$$6\,FeCO_3 + 2\,CdO = 2\,Fe_3O_4 + 6\,CO_2 + 2\,Cd.$$

Неудобство сухого способа заключается в большой потере металла при переработке. По Шухарду, выход К. при первой перегонке достигает 52,7%, а при второй—96,86%. В среднем нужно считать, что потеря металла достигает 40%. Главная часть потерь зависит от трудности конденсации паров К.; с целью уменьшения последней Армстронг предложил приспособление для улавливания и конденсации паров металла (фиг. 3). Принцип этого приспособления заключается в том, что пары К. пропускают через ванны с расплавленным хлористым кальцием или поташом.



Фиг. 3.

Мокрый способ м. б. применен ко всем вышеуказанным побочным продуктам, содержащим К. Он состоит в переводе К., а также и других металлов, заключающихся в перерабатываемом материале, в растворимые сернокислые соли и в удалении из полученных растворов вредных примесей и осаждения из очищенного раствора металлич. К. Перевод в сульфаты производится следующим образом. Перерабатываемая пыль смешивается с 10—15 % (по весу) H_2SO_4 в 60° Bé для образования сульфатов и разложения мышьяковистых и мышьяковокислых соединений; прибавляется некоторое количество воды для получения легко перемешиваемого теста. При перемешивании массы начинается химическое взаимодействие между H_2SO_4 и составными частями пыли, сопровождающееся значительным выделением тепла. После того как закончится первый бурный реакционный период, $t°$ поднимают до 230° и выдерживают массу при этой $t°$ дня 4. Затем $t°$ снова повышают, доводя ее до 325°; по истечении 48—60 ч. реакции сульфатирования заканчиваются полностью. Полученные сульфаты выщелачивают полученным от предыдущих обработок раствором, содержащим ~ 10 % $CdSO_4$; при этом получается крепкий раствор, содержащий ~ 34 % $CdSO_4$ и подвергающийся затем очистке от вредных примесей. Полученный после первого выщелачивания раствор промывается дважды (раствором с 5 % $CdSO_4$ и затем чистой водой), при чем получаются растворы, содержащие 10 и 5 % $CdSO_4$.

Очистка растворов, богатых $CdSO_4$, производится двояким образом в зависимости от способа осаждения К. В случае выделения К. металлич. цинком из растворов от выщелачивания достаточно удалить As и Cu. Это производится прибавлением к ним $CuSO_4$ и железной ломи. Осадок отфильтровывают и в чистый раствор погружают полосы Zn; собранный, осевший губчатый Cd не м. б. переплавлен из-за его быстрого окисления, поэтому спрессованный осадок, сохраняемый в керосине, подвергают дистилляции в графитовых тиглях.

Наилучшим способом получения К. является электролитический способ. В этом случае исходный раствор подвергается более тщательной очистке; для этого его обрабатывают сначала $CaCO_3$ или CaO, пока не осядут полностью Fe, As, $Zn(OH)_2$ и $PbSO_4$, а затем сернистым натрием для удаления следов Cu. В других случаях после обработки CaO к раствору прибавляют цинковую пыль; собранный при этом осадок, содержащий Cu, Cd и Zn, подвергают переработке на Cd обработкой без

доступа воздуха слабым раствором H_2SO_4 (растворяются Cd и Zn) и осаждением из полученного раствора цинка окисью кальция. Электролитический способ в большом масштабе применяется на заводах Elektrolytic Zink Co. в Австралии. Подготовка электролита обычно сводится к обработке цинковой руды обжигом, последующему растворению обожженного продукта в серной кислоте и выделению К. из раствора цинковой пылью. Отход сернокислого цинка служит для получения электролитического цинка, а остаток, содержащий кадмий, медь и цинк, в случае отсутствия кобальта, подвергают окислению при нагревании и вновь растворяют в серной кислоте. Растворение ведется с таким расчетом, чтобы в раствор перешла главная часть цинка и К. Этой операцией продукт освобождается от меди. Если же остаток содержит кобальт, то после окисления его растворяют в слабой серной к-те, количество которой варьирует в зависимости от содержания К. и кобальта. Из полученного раствора К. вытесняется цинковой пылью в виде губки, к-рую тщательно отмывают, подвергают нагреванию на воздухе для окисления и вновь растворяют в разбавленной серной к-те или в растворах электролитов, применяемых при электролизе К. Для успешной электролитич. рафинировки К. существенное значение имеет отсутствие в полученном электролите солей Zn, Co, Ni, Fe, As, Cu и Tl, сильно понижающих выходы по току и качество отложенного металла. Так, в присутствии солей Tl выход по току падает до 50%, и получающийся осадок К. губчат и окрашен в темный цвет. Применяемые для электролиза катоды обычно изготовляют из алюминия, а аноды—из свинца, покрытого двуокисью марганца. Плотность тока колеблется в пределах от 100 до 165 A на $м^2$; напряжение на клеммах достигает 3—4 V; выход по току 85%; чистота металла 99,95%. Для получения на катоде толстого и плотного слоя К. необходимо вести электролиз в слабо кислых растворах. Колебания концентрации к-ты допускаются в пределах от 10 до 90 *г* на *л* электролита. Однако, и в этих условиях осадок К. склонен к образованию крупных кристаллов, шишек и даже губки. Для устранения этих нежелательных явлений применяют циркуляцию электролита и вращающиеся электроды; эти приемы обеспечивают достаточно ровное и плотное наслоение металла. Полученные кадмиевые катоды переплавляют под слоем тяжелого масла.

Г. Уразов.

Соединения К.

О к и с ь К., CdO, получается нагреванием при доступе воздуха металлического К., его солей (нитрата, карбоната) или гидрата окиси. Окись кадмия, полученная из металла, аморфна и почти бесцветна. При сжигании К. в атмосфере чистого кислорода образуется кристаллич. окись, окрашенная в темнокоричневый цвет; CdO, полученная разложением солей, имеет различную окраску в зависимости от характера соли и $t°$ прокаливания; уд. вес 8,15. CdO сублимируется, не плавясь, при $t°$ 700—1 000°; легко восстанавливается до металла углем при 700°, а водородом при 270°. В атмосфере CO восстановление протекает через стадию субокисей Cd_4O и Cd_2O; легко растворяется в кислотах с образованием соответствующих солей. Г и д р а т о к и с и К., $Cd(OH)_2$, белый аморфный порошок, уд. в. 4,8, легко растворимый в к-тах и аммиаке; получается обработкой CdO разбавленными растворами едкого кали или осаждением щелочами растворов солей К. Гидрат окиси и окись К. применяются для изготовления растворов при электролитическ. покрытии железных изделий. У г л е к и с л ы й К., $CdCO_3$,—белый осадок, получаемый при осаждении растворов солей К. растворами поташа или соды; уд. в. 4,26; разлагается при $t°$ выше 300°. Применяется для изготовления красок и в гальванотехнике. А з о т н о к и с л ы й К., $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$,—кристаллич. бесцветная соль; уд. в. 2,46; легко растворим в воде, растворяется в спирте; плавится при 60°, теряя воду; безводная соль имеет $t°_{пл.}$ ок. 350°; получается растворением металла или окиси в азотной к-те; служит исходным материалом для приготовления других солей К. Б р о м и с т ы й К., $CdBr_2$,—бесцветная кристаллич. соль, сильно гигроскопичная; уд. в. 5,2; приготовляется растворением К. в броме или карбоната К. в бромистоводородной к-те; сублимируется при 585°, растворим в спирте и ацетоне; применяется в фотографии как замедлитель при проявлении. Х л о р и с т ы й К., $CdCl_2$, получается пропусканием хлора в расплавленном К., или обработкой CdO сухим хлором при нагревании, или растворением металла, его окиси, карбоната или сернистого К. в соляной к-те, после чего соль выпаривают досуха и сплавляют в токе сухого HCl; $t°_{пл.}$ 566—570°; уд. в. 4,05; на воздухе кристаллы выветриваются и рассыпаются в белый порошок; легко окисляется; из воды кристаллизуется, в зависимости от условий, с 1, 2, 4 и 5 молекулами воды. Щ а в е л е в о к и с л ы й К., $CdC_2O_4 \cdot 3H_2O$,—трудно растворим в воде, легко—в минеральных к-тах. Получается осаждением из растворов солей К. щавелевокислым калием или щавелевой к-той; применяется при изготовлении красок. С е р н о к и с л ы й К., $CdSO_4$,—бесцветная соль, получаемая растворением металла, его карбоната или окиси в серной кислоте. Кристаллизуется из водных растворов с 7 частицами воды. Безводная соль (уд. вес 4,7; $t°_{пл.}$ ок. 1 000°) получается при обработке растворов сульфата и нитрата К. конц. серной к-той или действием персульфата аммония или калия на расплавленный К. Применяется при изготовлении желтых красок, вестоновских нормальных элементов и в гальванотехнике. Ц и а н и с т ы й кадмий, $Cd(CN)_2$,—аморфный порошок, плохо растворимый в воде и легко—в синильной к-те или в растворах цианистого калия или натрия. Получается растворением свежеосажденного $Cd(OH)_2$ в синильной к-те или осаждением из раствора солей К. цианистым калием. Применяется главн. образом в гальванотехнике. С е р н и с т ы й К., CdS, желтого цвета; уд. в. 4,5—4,8; $t°_{пл.}$ около 1 750°; приготовляется сплавлением К. или его окиси с серой или нагреванием солей К. с безводным

гипосульфитом, или осаждением из водных растворов солей К. сероводородом. В зависимости от условий получения бывает окрашен в различные оттенки желтого цвета. Применяется в качестве краски (см. ниже).

Лит.: Gmelin-Kraut's Handbuch d. anorg. Chemie, 8 Aufl., *33*—Kadmium, Lpz., 1925; Ullm. Enz., 2 Aufl., B. 2, 1928; Mellor J. W., A Comprehensive Treatise on Inorganic a. Theoretical Chemistry, v. 3, L., 1923; Burgen N., Cadmium, its Metallurgy, Properties a. Uses, L., 1924; Hofman H., Metallurgy of Zink a. Cadmium, N. Y., 1922; Liebig M., Zink und Cadmium, Lpz., 1913; Senn, «Ztschr. f. Elektrochemie», Halle a/S., 1905, B. 11; Siemens, «Ztschr. für anorg. Chemie», Hamburg—Leipzig, 1904, B. 41, p. 257; Mylius F., ibidem, 1897, B. 13, p. 157; Smith E. F., ibid., 1892, B. 1; Rieger, «Ztschr. für Elektrochemie», Halle a/S., 1900, B. 7, p. 874; Fischer A., «Chem. Ztschr.», B., 1904, p. 1209; Juretzka G., «Metall und Erz», Halle, 1915, Jg. 12, p. 235; Hanley H. R., Chem. a. Metall. Eng., N. Y., 1920, v. 23, p. 1257. **Д. Степанов.**

Кадмиевые краски.

Сернокислые соли К. при обработке их хромовокалиевой солью или сернистым водородом образуют ряд желтых красок различн. тонов—от светложелтого до темного. Хромокадмиевая желть приготовляется осаждением из растворов желтого хромовокислого калия, K_2CrO_4, и сернокисл. кадмия, $CdSO_4$. Выпавший осадок, хромовокислый К., $CdCrO_4$, имеет красивый желтый тон, не уступающий свинцовой хромовой желти; его отфильтровывают, промывают и сушат. Краска эта имеет большое распространение в художественной живописи; в малярном деле она имеет малое применение, т. к. изменяется от атмосферных влияний. Кадмиевая желть (по химич. составу сернистый К., CdS, в природе встречается в виде минерала гринокита) вырабатывается двумя способами: мокрым и сухим. При мокром способе кадмиевая желть получается пропусканием сероводорода через подкисленный раствор сернокислого К. или же действием на последний раствора сернистого натрия, согласно уравнениям:

$$CdSO_4 + H_2S = CdS + H_2SO_4;$$
$$CdSO_4 + Na_2S = CdS + Na_2SO_4.$$

Светложелтые тона, начиная с лимонно-желтого, получаются при пропускании сероводорода в раствор $CdSO_4$, не содержащий примеси цинка; при осаждении сернистым натрием получаются более темные тона краски, а при выработке сухим путем тон краски можно получить любой густоты. Материалами при сухом способе служат углекислый К., $CdCO_3$, и порошкообразная сера. Засыпка тигля идет в последовательном порядке: сперва засыпают $CdCO_3$, а потом слой порошкообразной серы, при чем последней берут вдвое больше по весу, чем соли К. Темп-ру нагрева доводят до белокалильного жара. Если при остывании получается краска нежелательного желтого тона, то к ней добавляют серы и вновь прокаливают. Затем массу растворяют в горячей воде, осадок фильтруют, промывают и сушат. Этот способ дает шесть оттенков краски — от лимонно-желтого до темнооранжевого. Кадмиевая желть, как краска, стойка к слабым щелочам и к-там; в сухом виде она хорошо смешивается с ультрамарином, образуя красивого тона зеленую краску, известную под названием кадмиевая зелень.

Кадмиевые краски нельзя смешивать с медными красками, т. к. с последними они изменяют цвет и разрушаются; при смешивании с олифой они дают прочные масляные краски, обладающие хорошей укрывистостью. Кадмиевые краски применяются в художественной живописи и рисовании по фарфору, в печатном и в малярном деле. Для удешевления, в продаже их фальсифицируют примесью желтого хрома, гипса и мела. Смесь кадмиевой желти со свинцовыми белилами идет в торговле под названием Jaune brillant.

Лит.: см. *Краски минеральные.* **С. Михайлов.**

КАЗЕИН, *белковое вещество* (см.) группы нуклеоальбуминов, добываемое из молока млекопитающих. Ниже показано содержание К. в молоке женщины и различных животных (в %). В молоке:

Женском	0,5	Кобыльем	1,3
Коровьем	3,15	Ослицы	0,7
Козьем	3,8	Буйволицы егип.	3,96
Овечьем	4,6	» европ.	4,26

Чистый К., по Гаммарстену, содержит: 52,95—54,22% C, 7,05—7,07% H, 15,42—15,91% N, 21,57—23,14% O, 0,72—0,91% S и 0,847—0,89% P. В сухом виде К.—гидрофильный коллоид, белый аморфный порошок, к-рый набухает в воде, но практически нерастворим в ней. Он нерастворим также в спирте и эфире, но растворяется в водных растворах солей слабых к-т (буры, щавелевокислого калия, углещелочных солей и др.) и в едких щелочах, образуя металлич. производные солеобразного характера, распадающиеся при нагревании выше 50°. В слабых соляных растворах (напр. KCl или NaCl в воде, в пропорции 1:1 000) К. также растворим. Сильные минеральные к-ты определенных концентраций способны растворять К., при чем эта способность зависит от природы к-ты и от $t°$; напр., $^1/_2$ *N* HCl хорошо растворяет К. при 12—15°, тогда как $^1/_{10}$ *N* H_2SO_4—только при нагревании; при кипячении таких растворов К. не свертывается. Сухой препарат К., будучи нагрет до 94—100°, разлагается с образованием легко растворимого в щелочах изоказеина. При повышении $t°$ до 140—150° К. переходит (до 65%) в белковое вещество, растворимое в воде, но нерастворимое в щелочах. Реакция К. слабо кислая; уд. в. 1,259.

Нек-рые исследователи считают К. шестиосновной к-той с мол. весом 6 180, другие—четырехосновной к-той с мол. весом 4 540; эти величины мол. в. чрезвычайно спорны, т. к. определение их производилось разными исследователями по различным методам. По данным изысканий Кона Гендри и Прентиса Бергрена (1925 г.), мол. в. К. принят в 12 800. По данным Зайковского, мол. в. К. $\cong$ 20 000 (определено из вращательной способности растворов К.). Новейшие данные, основанные на рентгеноскопич. исследованиях, показали, что период решетки у К. значительно меньше, чем предполагаемые размеры молекулы, основанные на прежних методах испытаний. Растворы К. в присутствии нейтральных солей обнаруживают кислую реакцию, и для нейтрализации их необходимо затратить строго определенное количество щелочи, а именно, на 1 *г* К.—

8,1 *см*³ $^1/_{10}$ *N* раствора NaOH. Изоказеин обладает, в сравнении с К., большей кислотностью: для нейтрализации 1 *г* его требуется 10,4 *см*³ $^1/_{10}$ *N* NaOH. К. амфотерен: кислотный характер его обусловливается, повидимому, присутствием кислотных групп, основной же характер—присутствием аминогрупп. Кислотный характер выявлен в К. яснее, чем основной, что доказывается его способностью вытеснять CO_2 из углекислых щелочей.

К. обладает способностью образовывать как кислые, так и средние соли—к а з е и н а т ы, чем пользуются при получении чистого К. путем диализа. При этом установлено, что, чем слабее щелочь, связанная с казеином, тем сильнее диссоциация соли. Казеинаты, в зависимости от числа атомов металла, вошедших в молекулу К., носят название моноказеинатов, диказеинатов и триказеинатов. Диказеинаты при пробе на лакмус дают реакцию нейтральную, триказеинаты—на лакмус щелочную, а на фенолфталеин—нейтральную. Растворы К. в присутствии солей щелочных (наприм. 1 *г* KCl в 1 *л* H_2O) и щелочноземельных металлов представляют собой коллоидальные псевдорастворы, которые при фильтровании на ультрафильтре не проходят через него. К. в молоке находится в виде кальциевой соли в коллоидально растворенном состоянии. Аналогом может служить раствор К. в известковом молоке, нейтрализованный фосфорной к-той; он является псевдораствором, в к-ром К. и фосфорнокислый кальций остаются во взвешенном состоянии. В нейтральных растворах К. показывает $[\alpha]_D = 80°$, в слабо щелочных $[\alpha]_D = 76°$. Концентрация водородных ионов в щелочном растворе К. приближается к $P_н = 8{,}5$, хотя обычно $P_н$ принимают не выше 7,5.

Для промышленного получения К. служит коровье молоко (см. *Молоко*). Для выделения К. из молока могут служить: а) кислоты—молочная, соляная, уксусная, серная, азотная и б) сычужная закваска. При обработке молока к-тами получают чистый К., при сычужной закваске—т. н. п а р а к а з е и н (калье). Из сопоставления данных химическ. анализа (табл. 1) видна разница между химич. составом К. и параказеина.

Т а б л. 1. — Х и м и ч е с к и й а н а л и з К. и п а р а к а з е и н а.

Наименование	C	H	N
Казеин	52,96	7,05	15,65
Параказеин	52,88	7,00	15,84

Молоко, употребляемое для выработки К., д. б. снятое или из-под сепаратора (тощее молоко). с содержанием в нем жира не выше 0,1—0,5%. Свойством К. выпадать из молока при действии сычужной закваски пользуются в *сыроварении* (см.).

Получение К. В промышленности имеют распространение главн. обр. два способа: 1) самозаквашивание молока (молочнокислое брожение) и 2) обработка молока сычужной закваской; иногда применяют также створаживание молока соляной или уксусной к-той. В хозяйствах, где сыворотка идет на откорм сел.-хоз. животных (поросят, телят), последние способы недопустимы, т. к. получаемые отбросы производства не м. б. использованы по прямому назначению из-за высокого %-ного содержания к-т. Для определения содержания К. в молоке пользуются следующей формулой:

$$K = \left(b - \frac{t\,(100 + a)}{100}\right) \cdot 0{,}11315\,,$$

где *K*—весовое количество К., *b*—количество $^1/_{10}$ *N* щелочи в *см*³, израсходованной при титровании смеси молока, к-ты и воды, *t*—количество щелочи в *см*³, израсходованной при титровании фильтрата, *a*—количество к-ты в *см*³, прибавленной для створаживания. Расчет ведется на 20 *см*³ исследуемого молока.

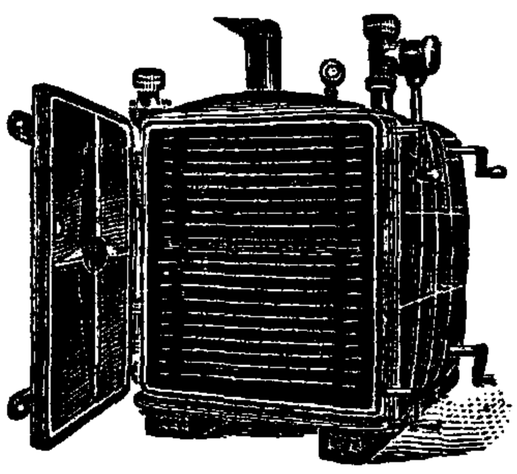
Получение К. по способу м о л о ч н о к и с л о г о б р о ж е н и я молока состоит в том, что тощее молоко, при $t° = 28 \div 30°$, сливают в цинковые (или оцинкованные) котлы с водяным или паровым обогревом, емкостью до 1 200 *л*. Слитое молоко оставляют в покое для брожения, происходящего под влиянием бактерий Bacterium lactis acidi, переводящих лактозу в молочную кислоту, к-рая и свертывает К. молока. Для ускорения процесса иногда прибавляют к только что слитому молоку небольшое количество кислого молока из расчета 1,5—2% летом и 2,5—3% зимой. Котлы д. б. плотно прикрыты деревянными крышками. Время, необходимое для сквашивания молока, колеблется в пределах от 6 до 7 час.; $t°$ помещения поддерживается в пределах от 18 до 20°. Начало свертывания молока—наиболее важный момент в процессе. Спустя 12—20 мин. от начала свертывания содержимое котлов осторожно перемешивают специальным инструментом—сырным ножом (голландской лирой) в течение 2—3 мин.; затем, не переставая помешивать, нагревают паром или горячей водой до 55—60°. При правильно проведенном процессе получают К. в форме комков величиной в лесной орех. Больший размер кусков творожины—показатель несвоевременного, раннего перемешивания; меньший—указывает на то, что молоко перекисло. Как только содержимое котла нагрето до 55—60°, перемешивание прекращают, смеси дают отстояться и сливают пахту (сыворотку). Оставшийся в котле К. промывают в теплой (50—62°) воде в том же котле при непрерывном помешивании в течение 15—20 мин., затем сливают воду и еще дважды промывают К. в холодной воде.

При получении К. по способу с ы ч у ж н о й з а к в а с к и снятое или тощее молоко нагревают до 35—37° и вводят в него сычужный экстракт (раствор сычужного фермента), добываемый из сычуга молочных телят, который и вызывает полное свертывание молока. Сычужный фермент содержит энзимы, выделяемые слизистой оболочкой сычуга; энзим, которому приписывают свертывающее действие, в последнее время отождествляется с пепсином, т. е. этому энзиму приписывают способность как свертывать молоко, так и переваривать белок. Свежеприготовленная сычужная закваска створаживает молоко при соотношении 1 ч. закваски на 18 000 ч. молока, при $t°$ 35°, в

40 мин. Действие приготовленной закваски с течением времени ослабевает, но максимум потери, даже при долговременном хранении, не превышает 30%. Иногда употребляют сычужный порошок—сухой экстракт, представляющий собою осажденные из жидкой закваски ферменты. Процесс получения К. при применении сычужного порошка длится минут 30—35, при $t°$ 30÷40°.

Осаждение К. соляной к-той производится из нагретого до 55° тощего молока, $^1/_5$ N раствором HCl из расчета 3 $л$ раствора на 100 $л$ молока. Промывка свежеполученного К. производится холодной водой на специальном покатом столе. Процесс осаждения К. уксусной к-той одинаков с предыдущим; количество к-ты, потребное для створаживания молока, определяют опытным путем в зависимости от крепости к-ты.

Полученный тем или другим способом сырой К. ссыпают в холщевые мешки и отжимают из него воду на творожном прессе или удаляют ее при помощи специальной центрифуги. Отжатый К. пропускают через дробилку, и полученную «крупку» К. просушивают в сушилке при 37—50° (лучше принимать за норму низшую $t°$), при хорошем отсасывании воздуха. Для той же цели употребляют сушильные барабаны с подогревом и вакуум-сушилки (фиг. 1). От умения наладить процесс сушки часто зависит качество приготовляемого К. Непременное условие—чтобы вся масса казеина, помещенная в сушилку, просыхала равномерно. Плохо просушенный казеин не выдерживает долгого хранения и быстро загнивает, приобретая неприятный запах. Размол высушенной крупки К. производят на эксцельсиормельницах с каменными жерновами. Размол К. в мельницах с железными рабочими частями не допускается, так как пропущенный через них казеин содержит железо, являющееся вредной примесью. После сушки К. представляет собой матово-белую или желтоватую крупку; буроватая окраска К. показывает, что он был приготовлен из плохо обезжиренного молока.



Фиг. 1.

Технические условия и методы испытания К. изложены в ОСТ (№ 393).

К. как товар. Ниже приведены результаты анализов К. по образцам товара, поступающего на германский рынок (в %, из 13 проб):

	От	До	Среднее
Вода	7,27	10,50	9,23
Жир	0,23	2,06	0,85
Зола	3,53	4,95	4,07
Азот	12,52	13,44	12,99

Подмесь к К. крахмала, мелкого песка, глины и т. п. является фальсификацией, т. к. даже незначительное количество этих примесей часто делает всю партию товара мало пригодной для химич. переработки и приходится предварительно очищать его на специальных триерах или удалять нерастворимый осадок уже из раствора.

Применение К. в промышленности с каждым годом увеличивается (см. *Белковые вещества*, применение); главн. обр. он применяется в производстве различных пластич. масс, клея и малярных красок.

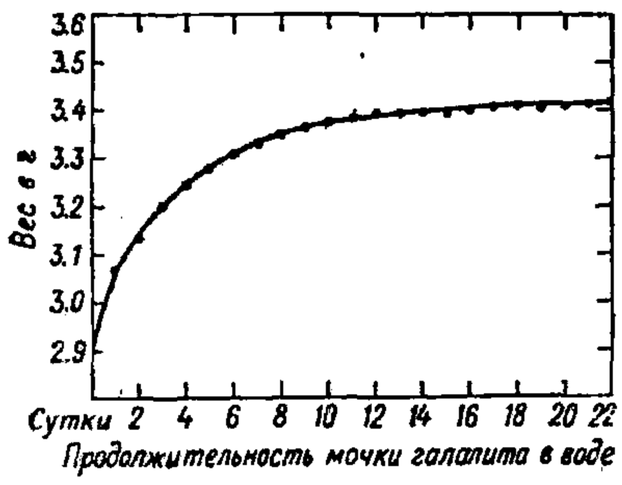
Пластические массы из К. При изготовлении пластич. масс, в состав к-рых входит К., необходимо учитывать следующие его свойства: 1) чистый К. практически нерастворим в воде, хотя он и обладает гигроскопичностью; 2) при продолжительном действии воды на К. наступает его частичное разложение; 3) при нагревании К. с водой процесс разложения ускоряется; 4) К. после такой обработки водой обладает меньшей основностью и при остывании образует студенистую массу. Замечено, что при гидролитич. разложении К. имеет место выделение сероводорода. Примесь формалина к воде, в к-рой производится набухание К., делает К. нерастворимым в щелочах и минеральных к-тах. Действие формалина на К. объясняется тем, что формальдегид вступает в реакцию с аминогруппой К., по ур-ию:

$$R \cdot NH_2 + CH_2O = R \cdot N{:}CH_2 + H_2O .$$

Менье сравнивает такое действие формалина с дублением. При обработке формалином кислотность К. значительно повышается, т. к. функция аминогрупп исчезает, а кислотные группы остаются без изменения. Продукт обработки К. формалином представляет собою пластич. массу, обладающую многими технически ценными качествами, благодаря чему он имеет широкое применение в промышленности под названиями: галалит, неолит, карналлит, акалит, эриноид, лактоид, зоолит, казолит, лактолит и др. Впервые патент на изготовление пластич. масс из К. был взят в 1885 г. в Германии.

Сущность мокрого процесса изготовления галалита заключается в том, что К., растворенный в щелочи (напр. в 2—2,5%-ном растворе едкого натра), осаждают вновь из раствора к-той (уксусной, соляной, серной и др.); коагулированный К., если надо, окрашивают красками (анилиновыми или хромовыми), смешивают с каким-либо наполнителем (цинковые белила, минеральные краски) и прессуют под большим давлением. Полученный фабрикат обрабатывают для отверждения формалином. Продолжительность дубления формалином зависит от толщины изделия. Материал после отверждения подвергают медленной сушке. Сущность сухого процесса состоит в том, что тонко измельченный порошок К. при высоком давлении и соответственном нагревании (применяемых одновременно) превращается в пластическую массу, которая затем подвергается отверждению и сушке. Многочисленные патенты, взятые на изготовление галалита, по своей рецептуре в основном мало отличаются друг от друга. Уд. в. галалита колеблется от 1,2 до 1,4, содержание воды—от 8 до 50%; галалит огнебезопасен, но не огнестоек; он хорошо режется, обтачивается и шлифуется; устойчив по отношению к к-там, жирам, маслам, бензину, эфиру и спирту, гигроскопичен; твердость по шкале Моса ~2,5. Применение галалитоподобных масс из К. в качестве электроизоляционного материала ограничено

в виду его довольно высокой гигроскопичности (см. фиг. 2). Галалит, в сухом состоянии имеющий диэлектрич. крепость ок. 700 V/*мм*, после пребывания в течение 7 дней во влажном воздухе понижает ее до 110 V/*мм*.



Фиг. 2.

Применение галалита в поделочной промышленности чрезвычайно разнообразно: из него выделывают ручки для зонтиков, пуговицы, ручки для перьев, электрические выключатели, граммофонные пластинки, части для радиоаппаратуры и пр. Из казеина изготовляются и другие пластические массы, часто носящие названия, мало их оправдывающие, например: искусственная слоновая кость, искусственный рог, черепаха и прочее. В табл. 2 приведена рецептура изготовления некоторых казеиновых пластических материалов такого рода (данные заимствованы из патентов).

Рецепты приготовления казеинового клея (в весовых частях): 1) 100 ч. сухого К. (кислотного) в порошке смачивают 200 ч. воды (или 280 ч. воды—при сычужном К.); когда К. набухнет, к нему прибавляют известковое молоко, приготовленное из 15 ч. негашеной извести и 90 ч. воды; к полученной смеси добавляют 70 ч. жидкого натрового стекла (уд. в. 1,4); смесь хорошо вымешивают в течение 20—30 м. Такой клей готовят перед самым употреблением; сохранять его в готовом виде можно не дольше 5—12 час.; он водоупорен. 2) Клей, приготовляемый по рецепту С.-Америк. авиац. бюро, содержит К. 100 ч., гашеной извести (пушонки) 18 ч., едкого натра 11 ч., фтористого натрия 3 ч., парафинового масла 1,5 ч. и воды 250 ч. 3) Клей для бумаги, годный для долгого хранения, содержит 10 ч. К. в порошке (или 30 ч. отжатого творога), 1,5 ч. буры, 50—60 ч. воды и несколько капель какого-нибудь антисептика (напр. спиртового раствора тимола). 4) Клей для стекла и фарфора: 10 ч. К. в порошке дают набухнуть в 10 ч. воды; к полученному тесту добавляют 2,5 ч. гашеной извести (пушонка). 5) Клей для склейки пергаментной бумаги: 100 ч. К., 1 ч. двухромовокислого калия и 50—75 ч. воды; для консервирования добавляют несколько капель спиртового раствора тимола (или салола). 6) Универсальный клей: 30 частей казеина, 100 частей воды, 25 частей нашатырного спирта и 10 частей жидкого стекла; для консервирования добавляется 0,05 ч. салола.

Табл. 2.—Рецептура изготовления нек-рых казеиновых пластических масс.

Название массы	Ингредиенты	Весовые части	Порядок обработки
Масса Лилиенталя	Казеин, свежеотпрессованный Гидрат окиси стронция Мраморная пыль	1 1 3—4	После тщательного смешивания формуют под большим давлением
Масса Горна	Казеин в порошке Вода Едкое кали Сера в порошке	100 200 5—10 10—30	Из массы готовят листы различной толщины или отливают изделия в формах; фиксирование готовых изделий производят в ванне с растворимым стеклом; эластичность зависит от количества серы
Масса для штамповки мелких изделий	Казеин в порошке Нашатырный спирт Вода Негашеная известь в порошке Глинозем Квасцы Гипс Олифа	200 50 400 240 150 50 1 300 100	Изделия отпрессовывают из массы в нагретых формах; готовые изделия фиксируют в растворе 10 вес. ч. фосфорной к-ты на 100 ч. воды; лакируют шеллаковым лаком
Искусственный рог	Казеин, свежеотпрессованный Костяная мука (или гипс, каолин) Стеарин Пигмент (анилин. краска)	70 28 2 0,25—0,5	Смесь нагревают при перемешивании до 90°, затем прессуют в горячих формах. Отформованные изделия натирают жженой магнезией и вымачивают в чистой воде (2 суток). Сушат при *t*° не выше 20°. Отделывают шлифовкой в барабанах или покрывают лаком
Масса, заменяющая целлюлоид	Казеин Шубный клей (или желатина) Натровое жидкое стекло Пигмент (анилин. краска)	20 200 30 0,25	А) Размоченный в воде клей распускают на водяной бане. Б) Казеин, жидкое стекло и пигмент перетирают в однородную массу. Затем соединяют части А и Б и после тщательного вымешивания массу выливают на стеклянный стол; фиксируют в растворе дубильной к-ты или квасцов

Клей из К. Казеиновому клею предстоит в значительной мере вытеснить животный клей в промышл. и в домашнем обиходе, т. к. изготовление клея из К. крайне просто, а по крепости он не уступает лучшим сортам столярн. клея. По способности связывания разнородных материалов (напр. дерева с камнем) этот клей стоит на первом месте.

Клеящие растворы казеина применяются при изготовлении некоторых сортов линолеума, искусственного волокна, суррогатов пробки, изоляционных и электроизоляционных материалов, для проклейки бумаги, в фанерном производстве, при изготовлении сапожных вакс и политур, в живописи, в малярном деле, при выделке имитации кожи, в мыловарении, в фотографической технике и других отраслях промышленности.

Применение К. в производстве красок в настоящее время очень развито и увеличивается с каждым годом. Краски, изготовленные на казеиновом клее, образуют твердую пленку, пористость которой меньше, чем у красок, изготовленных на животном клее (столярном или малярном). Казеиновые краски стойки при различных атмосферных условиях (реагируя с известью штукатурки, они образуют нерастворимый казеинат кальция), обладают красивым матовым тоном, отличаются несложностью изготовления и относительной дешевизной. Для сушки окрашенных поверхностей (до образования плотной пленки) требуется от 12 до 48 час., в зависимости от состава краски и технич. подготовки окрашиваемой поверхности. Казеиновые краски хуже всего держатся на плотных поверхностях, напр. на гипсе; но на стекле эти краски (с известью) держатся лучше, чем масляные. Хорошую казеиновую краску для покрытия оштукатуренных стен (снаружи и внутри здания) приготовляют из 10 ч. К., 120 ч. воды, 2 ч. буры, 5 ч. гашеной извести (пушонки) и 25—35 ч. мела в порошке. Полученный раствор м. б. окрашен в любой цвет минеральными (земляными) красками. Иногда к раствору прибавляют эмульсию, приготовленную из олифы и нашатырного спирта в отношении 2 : 1; на указанную пропорцию ингредиентов раствора берут от 1 до 2 ч. эмульсии. Процесс приготовления раствора состоит в следующем. Сначала распускают в 80 ч. воды 10 ч. К. и 2 ч. буры на водяной бане, нагревая раствор не выше 80°, затем постепенно вливают еще 30 ч. воды и снимают с огня. Когда раствор остынет до 25—30°, в него вливают эмульсию и раствор гашеной извести (10 ч. воды и 5 ч. извести). Масса д. б. хорошо вымешена в течение 10—15 мин. Краска в порошке (мел, охра, мумия, сажа, зеленая земля, графит) разбалтывается до необходимого оттенка в указанном выше растворе. Если полученный раствор краски пропустить через краскотерку, то краска будет ровнее ложиться на окрашиваемую поверхность.

Из К. готовят дешевые водяные лаки. Рецепты таких лаков: 1) 10 ч. К. распускают без подогревания в 75 ч. нашатырного спирта; подкрашивают анилиновыми красками, растворенными в воде; 2) 1 ч. К. и 1,5 ч. пчелиного воска растворяют в 3—8 ч. нашатырного спирта; подкрашивают также анилиновыми красками; 3) 10 ч. К. и 5 ч. буры растворяют в 60 ч. воды; лак сохнет быстро, дает прозрачную пленку. В литературе имеется также обширная рецептура по составлению различных казеинсодержащих «растворителей» для малярных красок.

Применение К. в пищевой промышленности и медицине довольно велико. Свежий К.—творог, осажденный из молока самозаквашиванием,—представляет собою здоровую и питательную пищу. Кроме того, из К. в настоящее время изготовляются: искусственное саго, питательный препарат «Плазмон», диэтическая мука Heudebech'a (мука + дрожжи + препарат «Плазмон»), суррогат яичного порошка (Lacto-Eipulver), «синтетическое молоко» (патент Гильса, 1903 г.) и др. патентованные препараты. К. входит как одна из гл. составных частей в питат. препарат «Санатоген» и пр.

Применение К. в текстильной промышленности—см. *Водонепроницаемые ткани* и *Ситцепечатание*.

Экономика. К. экспортируют следующие страны: Аргентина, Австралия, Новая Зеландия, Франция, Англия и Британская Индия. Импортируют К.: С. Ш. А., Германия, Англия, Канада и Япония. Казеиновая промышленность в ряде стран в настоящее время быстро развивается. Так, например, Аргентина экспортировала в 1913 г. 3 446 *m* К., в 1920 г.—7 679 *m*, в 1925 г.—18 300 *m*. Аргентина поставляет К., получаемый по способу самозаквашивания, расцениваемый на рынке выше американского. Потребители аргентинского К.—С. Ш. А., Германия и Англия. Из Австралии в 1920 г. было вывезено ок. 80 *m* К., а в 1923 г.—ок. 500 *m*. Среди европ. стран первое место по производству К. занимает Франция, вырабатывающая преимущественно сычужный К., в количестве (до 1914 г.) ок. 7 000 *m*. Германия, помимо К., вырабатываемого в стране, в 1925 г. ввезла его ок. 20 000 *m* (из Аргентины, Франции, Англии, Британской Индии, Норвегии, Финляндии, Новой Зеландии и Австралии). Голландия производит своего К. до 150 *m* и ввозит ок. 50—100 *m* ежегодно. В С. Ш. А. выработка К. внутри страны за 1922 г. достигала почти 10 000 *m*, а ввоз—12 000 *m*. К. в С. Ш. А. вырабатывают по сернокислотному методу; регулярной выработки К. не существует, вырабатывают его только при перепроизводстве сыра и сухого молока. В Канаде вырабатывают К. не более 300 *m* в год. В таком же положении и Япония: в 1926 г. было выработано ок. 500 *m* К., тогда как потребление с каждым годом увеличивается; Япония ввозит К. гл. обр. из Австралии и Новой Зеландии.

Лит.: ОСТ 393, М., 1929; Паращук С. В., Молоковедение и молочное дело, М.—Л., 1927; Кутырин, Казеин и его производство на молочных кооперативн. з-дах; «Торговый бюллетень», изд. Торгпредства СССР в Германии, Берлин, 1926, *22*; Менье Л., Коллоидная химия и ее применение в промышленности, пер. с франц., М., 1926; Инихов Г. С., Химия молока и молочных продуктов, ч. 1, М.—Л., 1928; Робертсон Б., Белковые вещества, СПБ, 1913; Sutermeister E., Casein a. its Industrial Applications, N. Y., 1927; Henkel Th., Katechismus d. Milchwirtschaft, 2 Aufl., Stg., 1909; Scherer R., Das Kasein, seine Darstellung u. technische Verwendung, 2 Aufl., Wien—Lpz., 1919; Blücher H., Plastische Massen, Leipzig, 1924; Lehner S., Die Imitationen, 3 Auflage, Wien—Lpz., 1926; «Revue générale du lait», Lyon, 1909, *7*; «Seifensiederzeitung», Augsburg, 1914, 1916; «Farbe und Lack», Hannover, 1913; «Der Holzkäufer», Hannover, 1917; «Kunststoffe», Mch., 1911, p. 84; ibid., 1912, *2*, *5*; ibid., 1915, *5*; ibid., 1916, *6*; ibid., 1917, *7*; ibid., 1919, *9*; Bültemann A., Die Fabrikation elektrischer Isolierstoffe u. ihre Ziele, «Der elektrische Betrieb», B.—Mch., 1923, Jg. 21; The Pharmacopoeia of the U. S. A., 10 ed., Philadelphia, 1926; Clark W. M., Studies on Technical Casein, «I. Eng. Chem.», N. Y., 1920, *12*, p. 1162; «Scient. Proc. of the Royal Dublin Society», New Series, 1918, v. 15, *29*; Австр. П. 46988, 3101, 43463, 34155, 53882, 60156; Ан. П. 2027, 169405/20, 6700; Ам. П. 1023022/12, 1031814, 1159878/15, 159189/15, 839129/08, 1511003/24, 1112297/14, 1360356/20, 1452086/23, 729220, 788857, 582915, 739657; Г. П. 127942, 115681/99, 201214/05, 216215/05, 240249/10, 264567/12, 292282/13, 240584/09, 168818, 107637, 141309/02, 147944/01, 275160, 253839, 272517, 247189, 262092, 191125, 386011, 293510, 281541, 138783, 106466, 73072, 85886, 193404, 64350, 33339, 181605, 203367, 288319, 411298, 713809, 104956, 200139, 65165, 242467, 272517, 255953, 216214, 123815, 229906, 252705, 253518, 275016, 185240, 56026, 198457, 229204, 72003, 70776, 296124, 297861, 258370, 200919, 154289, 116355, 42155, 201214, 106446, 257814, 183318; Ф. П. 425204/11, 361896/05, 450635/12, 386011, 405134, 452204; Швейц. П. 30839, 61423, 52507. **Н. Ракицкий.**

КАКАО-МАСЛО, масло *бобов какао* (см.), получаемое горячим прессованием (при 70—80°) семян, содержащих 37—56% масла. К.-м.—твердое масло, светложелтого цвета, с приятным запахом какао, содержит глицериды, б. ч. смешанные, жирных к-т (олеодистеарин, олеодипальмитин) и свободные кислоты в количестве 0,55—0,98%. Уд. в. масла D_{15} 0,945—0,976, $t°_{пл.}$ 28—35,5°, $t°_{заст.}$ 20—27°, коэфф. омыления 192—203, иодное число 28—42; рефракция при 40° 1,4572. К.-м. применяют в шоколадном производстве и в фармации для приготовления суппозиториев (какаовых свечей).

КАКОДИЛ, см. *Мышьяка соединения* органические.

КАЛАНДР, машина, применяемая в бумажном производстве для придания бумаге особенно гладкой поверхности (лоска) и глянца. При этом прочность бумаги на разрыв увеличивается, а на излом уменьшается. Производительность каландра в *кг/ч* чистой работы:

$$p = 0{,}06 \cdot B \cdot v \cdot q,$$

где B—ширина полотна бумаги в *м*, v—скорость хода в *м* в мин. и q—плотность бумаги в *г/м²*. Потребная мощность для К. в HP

$$N = k \cdot 0{,}01 \cdot i \cdot v \cdot B,$$

где k—коэффициент, зависящий от силы натяжения и равный 2÷3,5, а i—число валов; остальные обозначения прежние. Современные К. строятся с расчетом на потребную мощность до 170—220 HP (подробности см. *Бумажное производство*).

К. фрикционный имеет своим назначением получение очень сильного лоска преимущественно для крашеных бумаг. Он обычно состоит из трех валов, вращающихся с различными окружными скоростями, что достигается передачей движения от вала к валу не посредством трения их соприкасающихся поверхностей, как у обыкновенных К., но при помощи шестерен, насаженных на ось каждого вала. Число зубьев для соприкасающихся шестерен не соответствует отношению диаметров их валов, благодаря чему и получается принудительное скольжение двух соприкасающихся поверхностей валов. При прохождении листа бумаги между валами это принудительное скольжение, значительно большее, чем у простых К., происходит на обеих сторонах бумаги, чем и достигается исключительно высокий глянец ее. Верхний и нижний валы К. выполняются из закаленного чугуна, а средний набирается из тряпичной бумаги (см. *Бумажное производство*). К. в текстильном производстве—см. *Аппретура текстильных изделий*.

Лит.: [1]) Leicester Sh., «Wochenblatt für Papierfabrikation», Biberach a/Riss, 1911; см. также *Бумажное производство*.

Ю. Денисов.

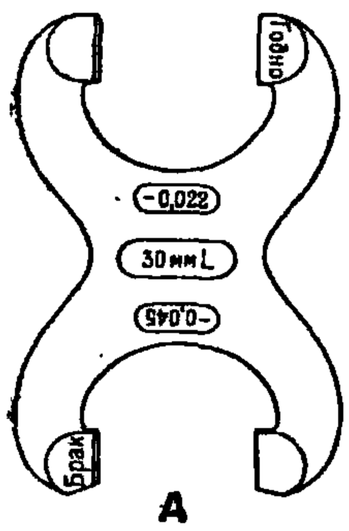
КАЛИБРЫ, бесшкальные мерительные инструменты, служащие для контроля размеров, форм и взаимного расположения частей изделий путем сравнения последних с ними. В сравнении с другими мерительными инструментами К., а в частности предельные К., позволяют производить даже малоопытному персоналу гораздо более точные, быстрые и, что очень важно, совершенно объективные измерения, почему они и вытесняют в последнее время все другие виды измерительного инструмента, особенно в массовом производстве. Их недостатком является необходимость наличия значительного числа К., т. к. для каждого диаметра и каждой посадки (см. *Допуски*) необходимо наличие 2 предельных К. для вала и 2—для отверстия.

К. разделяются на 2 большие группы—нормальные и предельные К. Первые представляют собой обычно негатив подлежащей измерению части (т. е., напр., для вала—отверстие, для отверстия—вал, для конуса—втулка, для гайки—болт), имеющий в точности требуемый чертежом номинальный размер. Измерение совершается в этом случае сравнением контролируемого предмета с К. и основывается исключительно на опытности и тонкости чувств контролирующего. Способ этот, как требующий высокой квалификации контролирующего и, что самое важное, в значительной мере субъективный, в настоящее время применяется почти исключительно для проверки рабочих К. Тем большее распространение получили предельные К., состоящие для каждого размера и посадки из двух К., при чем один имеет минимальные, а другой максимальные допустимые для данной части размеры; ясно, что через один из этих К. испытуемый предмет должен свободно проходить и задерживаться на другом. Тот из К., через к-рый предмет должен проходить, называется проходным К. и обозначается знаком +, «годно», «gut» (нем.), «go» (англ. и амер.); другой же, через к-рый не должен проходить предмет, прошедший уже через проходной, называется браковочным К.: знак —, «брак», «Aussch.» (нем. Ausschuss), «Not go» (англ. и амер.); по внешнему виду браковочные К. отличаются более короткими мерительными поверхностями и обычно еще окраской в какой-либо яркий цвет (по DIN—яркокрасная полоса). По роду работы и по связанной с ним точности изготовления, абсолютной величине допусков и допускаемому износу К. делятся на рабочие, приемочные (К. браковщика), контрольные и справочные или образцовые. К разряду рабочих К. относятся: К., употребляемые непосредственно рабочими для обмера изделий при их изготовлении, К., употребляемые цеховыми браковщиками или контролерами для проверки изготовленных рабочими изделий—К. браковщика, а также те, к-рыми пользуются заказчики для поверки принимаемых изделий—К. приемщика. Рабочие К. в процессе работы меняют свои размеры вследствие естественного изнашивания и по причинам случайного характера (напр. удары); поэтому необходимо периодически поверять правильность их размеров. Для этой цели служат другие К., называемые контрольными. В свою очередь контрольные К. также периодически поверяются при помощи специальных приборов (оптиметр, измерительная машина), градуируемых измерительными плитками и вообще концевыми мерами. В некоторых случаях контрольные К. могут быть поверяемы непосредственно при помощи особых справочных К. или для К. особых форм—заводскими образцовыми К. Рабочие К., контрольные К. и заводские образцы образуют

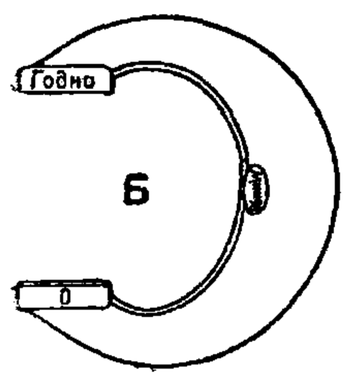
категорию К., называемую производственными мерами.

По постановлению президиума ВСНХ СССР, все справочные К., применяемые на з-дах и в мастерских для поверки правильности производственных мер, а также для градуировки измерительных машин, подлежат обязательной периодич. поверке через каждые 12 месяцев в Главной палате мер и весов или в местных поверочных палатах мер и весов. Если з-ды и мастерские не имеют в своем распоряжении справочных К., они обязаны периодически представлять для поверки в одно из названных выше учреждений свои контрольные К. Срок периодич. поверки контрольных К. установлен в 6 месяцев. Изложенная выше классификация К. утверждена в 1927 г. президиумом ВСНХ СССР. С нек-рыми видоизменениями она применяется во всех странах Европы и Америки.

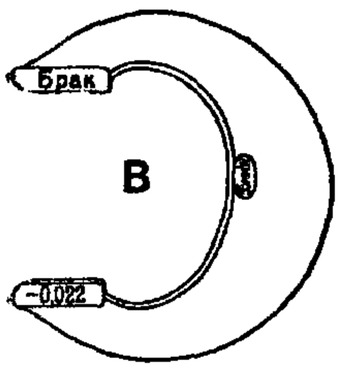
В СССР еще не установлено стандартов К. ни со стороны формы, ни со стороны размеров, ни со стороны обозначений. Имеется лишь проект стандартов, разработанный Главной палатой мер и весов и относящийся к допускам на неточность изготовления К. рабочих, К. приемщика и контрольных К., а также к допускам на износ рабочих К. Поэтому дальнейшее изложение основано преимущественно на нормах герм. промышленности (DIN), при чем оно охватывает исключительно К. для гладких изделий. О К. для поверки резьбы см. *Винтовые калибры*.



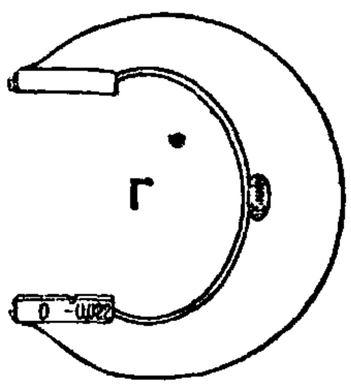
А



Б



В



Г

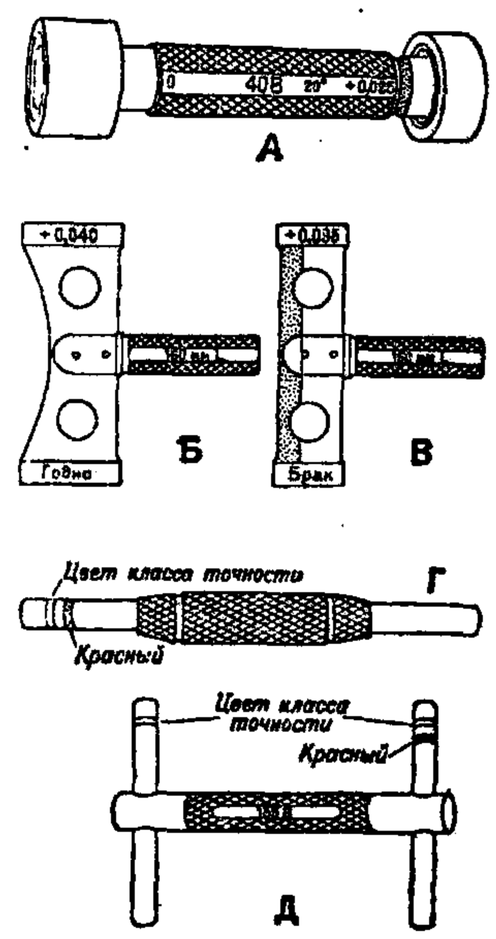
Фиг. 1.

Рабочие К. для обмера валов имеют форму скоб; форма различных предельных скоб указана на фиг. 1, А—Г. Скобы, служащие для обмера валов ⌀ не свыше 100 *мм*, имеют форму, показанную на фиг. 1, А. На одной стороне скобы обозначены: номинальный размер вала, обозначение посадки, верхний и нижний пределы допусков, а также слова «годно» или «брак», на каждой из обеих скоб соответственно. На другой стороне помещается название фирмы и нормальная $t°(20°)$. Браковочная скоба окрашивается по внутренней стороне в яркокрасный цвет. Скобы различных классов точности (см. *Допуски*) различаются между собой по основной окраске: скобы первого класса окрашены в яркосиний цвет, второго класса—в черный, третьего—в желтый, четвертого—в зеленый. Для обмера валов диаметром свыше 100 *мм* применяются обычно комплекты, состоящие из двух ординарных скоб (фиг. 1, Б и В). Кроме того, употребительны скобы, дающие в одном целом как приемный, так и браковочный размеры (фиг. 1, Г). При контроле ставят К. отверстием на вал; при этом проходная скоба должна легко надеваться на вал без усилия под действием своего веса, браковочная же скоба должна, в крайнем случае, только «закусывать» вал.

К. браковщика для обмера валов представляют собою те же рабочие скобы, но с проходной стороной, изношенной до половины установленного допуска на износ; это устраняет возможность браковки изделий вследствие расхождения в размерах К., не выходящего за пределы установленных допусков.

К. приемщика для обмера валов по форме вполне совпадают с рабочими скобами и имеют те же обозначения. Внешним отличием К. приемщика от рабочих К. являются полоски белого цвета.

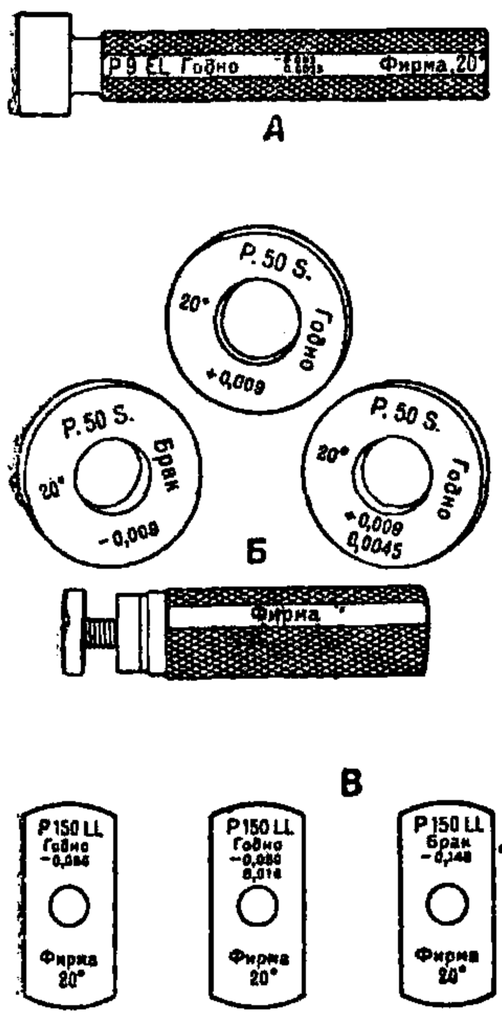
Рабочие К. для обмера отверстий бывают трех различных форм. При номинальном размере отверстий не свыше 100 *мм* они представляют собою две пробки, насаженные на соединительную ручку (⌀ 30—70 *мм*) либо составляющие с этой ручкой одно целое (⌀ 1—30 *мм*); рифленая ручка имеет односторонний плоский срез, на к-ром помещены обозначения, аналогичные тем, какие имеются на скобах (фиг. 2, А). Для распознавания класса точности, на ручке сделана со стороны браковочной пробки заточка, к-рая и окрашивается в соответствующий цвет (яркосиний, черный, желтый или зеленый). Для обмера отверстий ⌀ 100—250 *мм* применяются плоские К., согласно фиг. 2, Б и В, по два К. для каждого размера и посадки. Измерительные цилиндрические поверхности плоских К. вышлифовываются на концах самой пластины К. или на специальных плитках, вставляемых в пластину с двух сторон. На пластине браковочного К. делается полоса яркокрасного цвета. Для распознавания классов точности, пластины окрашиваются в соответствующий цвет. Для обмера отверстий, имеющих номинальный диаметр свыше 260 *мм*, применяются особые концевые меры или штихмасы, при чем служащие для измерений концы их отшлифованы по шаровой поверхности; для каждого размера и посадки требуются два штихмаса (фиг. 2, Г). Оба штихмаса м. б. соединены специальным держателем в один К. (фиг. 2, Д). Необходимые обозначения делаются на цилиндрич. поверхности штихмасов или на соединяющей их ручке. Проходной штихмас имеет, кроме того, одну специальную заточку в виде шейки, которая окрашивается в соответствующий классу точности цвет. Браковочный штихмас имеет две шейки, из которых одна окрашена в цвет класса точности, а другая в яркокрасный цвет.



Фиг. 2.

К. браковщика для обмера отверстий представляют собою те же рабочие К. (пробки, пластины и штихмасы), но изношенные до половины установленного допуска на износ.

К. приемщика для обмера отверстий по форме вполне совпадают с рабочими пробками, пластинами и штихмасами, имеют те же обозначения и отличаются белыми полосками.



Фиг. 3.

Контрольные К. Для поверки рабочих скоб служат нормальные измерительн. шайбы. Для скобы каждого номинального размера и посадки берутся три измерительные шайбы: одна—для поверки размеров проходной стороны новой, не изношенной скобы (должна туго проходить в новую скобу), вторая—для поверки размеров проходной стороны совершенно изношенной скобы (не должна еще проходить в изношенную скобу) и третья—для поверки размеров браковочной стороны (должна туго проходить в скобу). Приемная сторона скобы считается годной до тех пор, пока расстояние между измерительными поверхностями не увеличится вследствие износа до такой степени, что вторая измерительная шайба сможет пройти между ними. Измерительные шайбы имеют форму, которая показана на фиг. 3 (А—для ⌀ 3—18 *мм*, Б—для ⌀ 18—100 *мм* и В—для ⌀ 100—260 *мм*). Для поверки рабочих скоб ⌀ > 260 *мм* служат штихмасы со сферич. концами. Все контрольные К., применяемые для поверки рабочих скоб, имеют распознавательный знак «Р» (Prüflehre), обозначение номинального размера, знак класса точности и пригонки, надписи «годно» или «брак», название фирмы и обозначение нормальной $t°$ (20°). Кроме того, на контрольном К., служащем для поверки размеров проходной стороны новой скобы, проставляется приемный допуск с соответствующим знаком + или —; на контрольном К., служащем для установления предела износа проходной стороны рабочей скобы, проставляется размер приемного допуска с соответствующим знаком, а также допустимый размер износа без знака; наконец, на контрольном К., служащем для поверки размеров браковочной стороны скобы, проставляется размер браковочного допуска. Окраска по классам точности делается только на контрольных штихмасах, аналогично тому как это принято делать на рабочих.

Для поверки рабочих предельных пробок, рабочих плоских К. и рабочих штихмасов применяются контрольные скобы. В этом случае подход к установлению методики поверки рабочих К. иной, чем в случае поверки рабочих скоб. Дело в том, что размер браковочной стороны скобы возможно изменить умышленно, поэтому постоянный контроль его безусловно необходим. Что же касается пробок или плоских К., то их размеры невозможно изменить так, чтобы этого нельзя было обнаружить простым осмотром. Т. о., по предыдущему, для пробок и плоских К. следовало бы применять две, а для рабочих штихмасов все три контрольные скобы. DIN предусматривают, однако, для всех рабочих К., применяемых для обмера отверстий, всего лишь одну контрольную скобу, а именно—служащую для установления предела износа. Такая скоба имеет форму нормальной скобы; обозначения на ней делаются аналогично таковым на контрольных измерительных шайбах. Контрольные скобы окрашиваются в соответственный классу точности цвет.

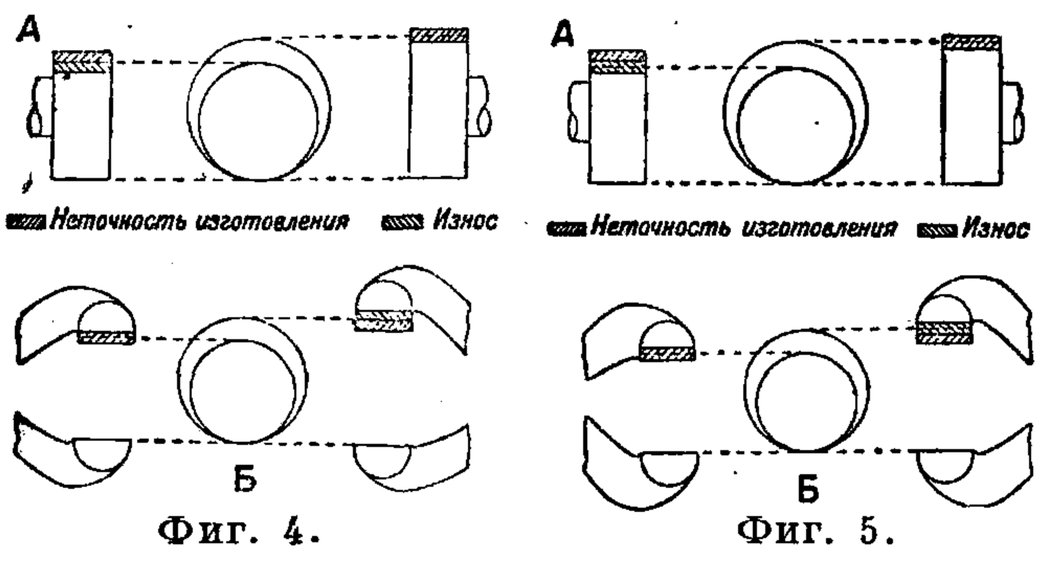
Допуски на неточность изготовления и на износ рабочих К. Рабочие К., как и все другие предметы массового изготовления, не м. б. изготовлены абсолютно точными, да это и не является необходимым, поскольку требования технич. точности д. б. приведены в соответствие с соображениями экономич. характера. Поэтому нормы предусматривают для рабочих К. определенные допуски на неточность изготовления при условии, что размер допуска на неточность изготовления К. не может отозваться на характере посадки; допуски К. не должны без необходимости удорожать производство и пользование ими. Главная палата мер и весов в разработанном ею проекте принимает за основу следующие приблизительные соотношения между допусками для рабочих К. и допусками для изделий: а) в первом и втором классах точности для скоб $^1/_3$, для пробок, плоских К. и рабочих штихмасов—$^1/_4$, б) в третьем классе для всех рабочих К.—$^1/_5$, в) в четвертом для всех рабочих К.—$^1/_8$. Расположение этих допусков во всех случаях дается в сторону, противоположную износу. Т. о., проходная сторона пробки или плоского К. получает допуск на неточность изготовления с знаком +, а проходная сторона скобы допуск со знаком —. Что же касается браковочной стороны пробки или скобы, то здесь допуск на неточность изготовления, равный допуску для приемной стороны, располагается поровну в обе стороны от номинального размера скобы.

К. непрерывно изнашиваются в процессе работы и потому д. б. часто, и по возможности периодически, проверяемы.

Кроме допусков на неточность изготовления, необходимо установить также допуски на износ рабочих К. для валов и отверстий. Главная палата мер и весов в своем проекте приняла за основу следующие приблизительные соотношения между допусками на износ К. и допусками на неточность изготовления самих изделий: а) в первом и втором классе точности—$^1/_4$, б) в третьем классе—$^1/_5$, в) в четвертом—$^1/_7$; самые допуски Главная палата мер и весов располагает поровну в обе стороны от номинального размера изделия, с учетом его допуска. В этом отношении Главная палата разошлась как с нормами герм. промышленности, согласно к-рым допуск на износ располагается целиком в сторону области допусков на пригонку, так и

с англ. и америк. нормами, где допуск на износ располагается целиком в области допусков на неточность изготовления отверстия или вала. Расположение допусков на неточность изготовления и на износ рабочих К. относительно допусков самого изделия схематически изображено на фиг. 4, А.—для К. отверстия, и Б.—для К. вала.

Номинальные размеры К. приемщика и их допуски на неточность изготовления. К. приемщика получают специальные размеры, отличные от рабочих К. Эти размеры выбираются с тем расчетом, чтобы через К. приемщика могли пройти по возможности почти все предметы, принятые уже по рабочим К. и К. браковщика как новым, так и изношенным. В силу этого проходной стороне К. приемщика необходимо давать в случае пробок наименьший и в случае скоб наибольший размер вполне изношенного рабочего К., а браковочной стороне—наибольший для пробки и



Фиг. 4. Фиг. 5.

наименьший для скобы размер браковочного рабочего К., с учетом допусков на неточность изготовления. При этом, конечно, приходится считаться с допусками на неточность изготовления К. приемщика; эти допуски берутся равными по величине допускам на неточность рабочих К., при чем им дается симметричное расположение по отношению к номинальным размерам К. приемщика (фиг. 5, А и Б).

Допуски на неточность изготовления контрольных К. При установлении допусков на неточность изготовления контрольных К. исходят из следующих соображений. Контрольные К. при поверке ими рабочих К. позволяют лишь констатировать, выходит ли рабочий К. за пределы установленных допусков или нет. Т. к. при полном совпадении размеров обоих К. контрольный К. не пройдет через рабочий, то всегда приходится допускать нек-рый зазор для того, чтобы измерение было возможным. С другой стороны, размер допуска на неточность изготовления контрольных К. должен быть меньше соответствующего допуска для рабочих К.; контрольным К. допуск на износ не дается. В Германии были проделаны большие экспериментальные исследования по вопросу о допусках на неточность изготовления контрольных К. Результаты этих работ привели к установлению допусков, к-рые приняты также Главной палатой мер и весов. Что касается расположения допусков на неточность изготовления контрольных К., то здесь приняты следующие положения. В первом контрольном К., служащем для поверки размеров нового, неизношенного рабочего К., допуск откладывается от наибольшего размера рабочего К. отверстия и от наименьшего размера рабочего К. вала целиком в одну сторону, в направлении хода изнашивания К. Т. о., в первом случае допуск берется со знаком —, а во втором со знаком +. При таком расположении допуска исключается возможность признания годными рабочих К. с размерами бóльшими против наибольшего допустимого. Во втором и третьем контрольном К. допуски располагаются симметрично по отношению к тому же самому пределу, к-рый является средним и для допуска рабочего К.

Материал для изготовления К. должен иметь тот же коэфф. расширения, как железо и сталь, т. к. изготовляемые по К. изделия бывают б. ч. из этих материалов; твердость материала д. б. достаточно большая, во избежание слишком быстрого износа; кроме того, материал должен обладать стойкостью против химич. действия кислорода, углекислоты и водяного пара, имеющихся в воздухе, и пота рук. Обычно для изготовления К. применяются машиностроительная, высокоуглеродистая и специальные стали с различным содержанием марганца и хрома.

Тепловая обработка К. имеет целью получить максимальную твердость у измерительных поверхностей, оставляя в то же время незакаленным тело К. Т. о. избегается коробление К. и уменьшается опасность поломки их во время работы вследствие хрупкости. В нек-рых случаях применяется также цементация стали. Темп-ра нагрева, время выдéржки при определенной $t°$, условия закалки и отпуска—всецело зависят от сорта выбранной стали. В качестве примера можно привести следующий способ тепловой обработки К., применяемый на одном крупном америк. з-де. После обработки со всех сторон с припуском в 1,5 *мм*, К. нагревают до 750° в муфельной печи обычного типа и закаливают в масле. Благодаря низкому содержанию углерода (между 0,15% и 0,20%) сталь после закалки остается мягкой, поэтому дальнейшая механич. обработка К. с желаемой степенью точности выполняется без труда. После обработки К. подвергаются цементации. При $t°$ 850° они лежат в печи в течение часа и более, в зависимости от желательной глубины слоя цементации, и затем охлаждаются вместе с печью. Наконец, К. снова нагревают до 780° и закаливают погружением в масло, после чего отпускают, шлифуют и притирают. Последние две операции не должны производиться непосредственно после отпуска. Закаленный К., даже отпущенный после закалки, претерпевает в течение долгого времени довольно значительные изменения своих размеров, пока эти последние не установятся окончательно. Поэтому необходимо выдержать отпущенный К. в течение нескольких месяцев, чтобы дать внутренним напряжениям исчезнуть или по крайней мере дойти до минимума. Однако, различными приемами искусственного старения можно существенным образом уменьшить этот срок.

Лит.: Смирнов Л. П., Нормальные калибры, «Труды технич. совета Главметалла», М., 1919, вып. 1; Кюн В., О предельных допусках в машиностроении, пер. с нем., Берлин, 1923; Граменц

К., Пригонки и допуски, пер. с нем., М., 1926; Кинцле О., Взаимозаменяемость и методы ее введения, пер. с нем., М., 1926; Dowd A. A. a. Curtis F. W., Modern Gaging Practice, N. Y., 1925; Mahr C., Die Grenzlehre, 5 Aufl., B., 1926; Schlesinger G., Forschungsarbeiten auf d. Gebiete d. Ingenieurwesens, H. 193, 194, B., 1916; Berndt G., Grundlagen u. Geräte technischer Längenmessungen, 2 Aufl., B., 1929; Weber A., Die natürliche u. künstliche Aelterung d. gehärteten Stahles, B., 1926; «Ztschr. f. Maschinenbau», B., 1920, B. 9, p. 227; «Feinmechanik u. Präzision», B., 1927. **Л. Залуцкий.**

КАЛИЙ, K, металл, принадлежащий к элементам первой группы периодич. системы и к подгруппе т. н. щелочных металлов; ат. в. 39,10, ат. номер 19. Во всех своих соединениях К. одновалентен; в природе весьма распространен в виде солей (см. *Калийная промышленность* и *Калийные соли*). Впервые металлический К. был получен Деви в 1807 г. путем электролиза твердого, слегка влажного едкого кали. Впоследствии Гей-Люссак и Тенар получали К. в бо́льших количествах прокаливанием едкого кали с углем в стальной трубке.

Современные способы получения К.: 1) электролиз расплавленного едкого кали в печах, применяемых для получения *натрия* (см.); 2) прокаливание углекислого К. с порошком магния в атмосфере водорода:

$$K_2CO_3 + 3Mg = 3MgO + C + 2K;$$

3) накаливание едкого кали со смесью карбида железа, Fe_2C, и угля, для чего нагревают железные опилки с тяжелыми смолами (Кастнер). При последних двух способах К. улетучивается, и пары конденсируются под слоем керосина. В продажу К. поступает обычно в виде шариков диам. 2—3 *см* и сохраняется в керосине или нефтяном эфире.

Чистая поверхность калия обладает серебристым блеском; тонкие слои просвечивают с фиолетовой окраской; пары калия зеленого цвета. К. кристаллизуется в кубической системе. Удельный вес его 0,862 (при 20°). К.—хороший проводник тепла и электричества. Удельная электропроводность К. при 10° составляет $15 \cdot 10^4$ мо. К. мягок при обыкновенной $t°$, но несколько тверже натрия; на холоду становится хрупким; $t°_{пл.}$ 63,5°, $t°_{кип.}$ 762,5°. Теплота сублимации калия 23 Cal на 1 *г*-атом. Из мол. веса, полученного по плотности пара, явствует, что молекулы К. одноатомны, однако, новейшие исследования показали, что в парах К. и других щелочных металлов наряду с одноатомными молекулами содержится и нек-рое количество двуатомных.

К: является после рубидия и цезия самым электроположительным металлом. Мерой степени электроположительного характера может служить энергия, потребная для отрыва электрона от отдельного атома металла. Эта энергия *ионизации* (см.) составляет для паров К. 100 Cal на *г*-атом. Для нормального потенциала К. по отношению к водородному электроду получено косвенным путем значение 2,92 V (при чем К. имеет отрицательный заряд). К. энергично соединяется с целым рядом металлоидов; особенно ярко выражено сродство его к галоидам и к элементам кислородной группы. Свежая блестящая поверхность калия на воздухе быстро тускнеет вследствие окисления. Окисление может итти столь быстро, что, благодаря теплоте реакции, металл плавится и воспламеняется, сгорая с характерным фиолетовым пламенем. Окисление К. под уменьшенным давлением или при недостатке кислорода даёт окись К., K_2O; при избытке кислорода или при высокой температуре (горение К.)—перекись К., K_2O_4. Однако, абсолютно сухой кислород не действует на К. даже при нагревании. К. бурно разлагает воду с выделением водорода

$$K + H_2O = KOH + 0{,}5\,H_2,$$

к-рый в присутствии воздуха обычно воспламеняется; выделение водорода происходит даже при очень низких $t°$ (со льдом); при −105° реакция еще заметна. В хлоре, фторе и парах брома К. загорается, образуя соответственные галоидные соединения. С иодом К. соединяется со вспышкой, с жидким бромом—со взрывом. С серой, селеном и теллуром К. энергично реагирует при легком нагревании; он непосредственно соединяется также с фосфором, мышьяком и сурьмой. Окиси, сернистые и галоидные соединения тяжелых металлов восстанавливаются калием до металла. Горячие пары К. разъедают стекло, восстановляя силикат до свободного кремния. В ацетилене расплавленный К. сгорает со взрывом; при этом выделяется сажа и образуется карбид калия, состава K_2C_2. При сплавлении К. с органич. веществами, содержащими азот, получается цианистый калий, KCN (реакция на азот в органич. соединениях). Со ртутью К. образует амальгамы; с металлич. натрием дает сплав, жидкий при обыкновенной $t°$. При 400° К. медленно поглощает водород с образованием гидрида, KH (см. *Гидриды*). Степень сродства К. к различным металлоидам видна из сопоставления теплот образования Q твердых соединений (в Cal на 1 *г*-эквивалент).

Вещество	Q	Вещество	Q
KF	134,5	K_2O	43,4
KCl	105,6	K_2S	43,6
KBr	95,3	KH	~13
KJ	80,1		

Металлич. К. растворим в жидком аммиаке. Самым замечательным свойством этих растворов является их высокая электропроводность, достигающая в насыщенном растворе значений такого же порядка, как электропроводность ртути. К. обладает заметной радиоактивностью, причина к-рой не м. б. приписана наличию примесей каких-либо уже известных радиоактивных элементов. Соли К. окрашивают бесцветное пламя бунзеновской горелки в фиолетовый цвет. Для спектра К. характерны две линии—красная K_α и фиолетовая K_β. Технич. применения металлич. К., повидимому, не нашел в виду того, что во всех случаях м. б. заменен более дешевым натрием. Продажный К. расходуется для лабораторных нужд и служит также для приготовления особо чистых препаратов калийных соединений. Жидкий сплав К. с натрием применяется вместо ртути для изготовления термометров.

Лит.: Менделеев Д. И., Основы химии, 9 изд., т. 1—2, М.—Л., 1927—28; Handbuch d. anorganischen Chemie, hrsg. v. R. Abegg u. Fr. Auerbach, B. 2, Abt. 1, Lpz., 1913—21; Mellor J. W., A. Comprehensive Treatise on Inorganic a. Theoretical Chemistry, v. 2, L., 1927. **И. Казарновский.**

КАЛИЙНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ обнимает собою производство калийных солей из природных минералов, растительной золы

или из отбросов нек-рых производств. Наиболее крупную отрасль К. п. составляет добыча и переработка растворимых природных солей: сильвинита KCl+NaCl, карналлита $KCl \cdot MgCl_2\ 6H_2O$, каинита $KCl\ MgSO_4 \cdot 3H_2O$ и т. н. твердой соли (Hartsalz, смесь сильвина, KCl, и кизерита, $MgSO_4\ H_2O$, с примесью NaCl). Эти соли иногда применяются в сыром виде в качестве удобрения, большею же частью перерабатываются на богатые калием соли, также применяемые преимущественно в сельском хозяйстве. Мировая статистика показывает, что в настоящее время лишь ок. 10% добываемых солей калия потребляется промышленностью — химической, пороховой, стекольной, фармацевтической, мыловаренной, красильной и др., а приблизительно 90% потребляется в сельском хозяйстве.

Производство калийных солей из нерастворимых природных минералов — полевошпатных пород, алюмосиликатов, слюды, лейцита, глауконита и др., начатое гл. обр. во время войны 1914—18 гг. (когда получение германских солей для большинства стран стало невозможным), к настоящему времени почти совсем прекратилось. Переработка растительной золы (в том числе и золы морских водорослей) осуществляется в ряде стран в сравнительно крупных размерах. В СССР, на Кубани и в черноземной полосе, большие количества поташа получают из золы подсолнечника и часть их вывозят за границу. Такая переработка имеет основной целью получение углекислого калия, или поташа, преимущественно для мыловарения, стекольного производства, красильного дела, для производства других солей калия и пр. (см. *Поташ*). Получение калийных солей из производственных отбросов (паточного угля, овечьего пота, животных отбросов, цементной пыли и т. п.) носит подсобный характер и распространено сравнительно в незначительных размерах. Т. о., из всех способов производства для СССР наибольшее значение имеет переработка природных растворимых калийных солей и растительной золы.

Промышленная переработка природных калийных солей началась лишь в 70-х годах 19 в. в Германии, базируясь сначала на Стассфуртском месторождении, где до 1861 г. добывалась лишь каменная соль; покрывавшие же ее пласты других солей, гл. обр. карналлита, как бесполезные, шли в отвал, почему и назывались отбросными, или съемными, солями (Abraumsalze). До войны 1914—1918 гг. Германия являлась на мировом рынке монополистом калийных солей. Во время войны в ряде стран были частью начаты, а частью усилены геологич. и горнотехнич. разведки калийных солей и разработан ряд способов извлечения калия из различных горных пород, морских рассолов, соляных источников, водорослей и т. п. На все эти исследовательские работы были затрачены крупные суммы. После войны Германия утратила свое прежнее значение в калийной промышленности, так как богатые эльзасские месторождения калийных солей отошли к Франции и, кроме того, увеличились разработки галицийских месторождений.

Промышленная переработка природных калийных солей состоит либо из механич. операций либо из химич. процессов. Механическая переработка заключается в дроблении, размоле, просеве и механическом обогащении соответственных руд. Дробление руды осуществляется б. ч. в щековых дробилках, более мелкое дробление — в конич. дробилках, а тонкое измельчение — в вальцовых, кольцевых и т. п. мельницах, позволяющих до известной степени регулировать степень измельчения. Измельченные соли либо непосредственно поступают в продажу (преимущественно сильвинит) либо подвергаются дальнейшей химическ. переработке с целью выделения из них солей определенного состава и надлежащей чистоты.

В основе химич. переработки растворимых калийных солей лежат процессы растворения и кристаллизации. Большую ценность для технологии калийных солей имеют работы Вант-Гоффа, Мейергофера, Иенеке, д'Анса, акад. Н. С. Курнакова и их сотрудников, изучивших физико-химич. условия равновесия морских солевых растворов. Для уяснения основ технологич. процессов выделения хлористого калия, KCl, из растворов других солей важны следующие закономерности растворения солей при различных $t°$: 1) из солей K, Na и Mg наиболее растворим в воде $MgCl_2$; 2) при низких $t°$ (приблизительно до 25°) NaCl и KCl обладают почти одинаковой растворимостью; с повышением $t°$ растворимость KCl сильно возрастает, растворимость же NaCl увеличивается очень незначительно. Кроме того, приходится учитывать известный закон, согласно к-рому растворимость соли понижается с увеличением в растворе концентрации катионов или анионов, отвечающих данной соли. Из сказанного вытекают для технологии калийных солей следующие важнейшие выводы: 1) Большинство солей, входящих в состав калийных залежей, практически нерастворимы в насыщенных растворах $MgCl_2$ (при сравнительно невысоких $t°$). Этот вывод, в первую очередь, разумеется, приложим на практике к хлоридам калия, а следовательно, к сильвину, карналлиту и другим солям, содержащим Cl′-ионы, и к сульфатам магния (например, кизериту, содержащему Mg-ион). В практике нерастворимостью хлористых солей в концентрированном растворе $MgCl_2$ пользуются при выделении KCl из карналлита по способу «конечного щелока»; при этом в раствор переходит только $MgCl_2$, образуя т. н. конечный щелок, а составные части минерала остаются в твердом виде. 2) Закономерности, изложенные в п. 2, позволяют выделять KCl из раствора сильвинита путем охлаждения. Т. к. при растворении сильвинита при повышенной $t°$ в раствор переходит относительно гораздо больше KCl, чем NaCl, то при охлаждении раствора KCl переходит в осадок. В наибольших размерах химич. переработке в настоящее время подвергается сильвинит, в меньших размерах — твердая соль и еще меньше — карналлит.

Переработка сильвинита. Все способы получения KCl из сильвинита сводятся в основном к следующему. В раствор, насыщенный на холоду хлористым калием и хлористым натрием, вводят при нагревании сильвинит; при этом растворяется гл. обр. KCl. Раствор отделяют от осадка, состоящего преимущественно из NaCl, и охлаждают, при чем выкристаллизовывается чистый KCl. Примеси в сильвините изменяют течение этого процесса; так, примесь $MgCl_2$ способствует переходу в раствор не только KCl,

но и NaCl, а следовательно, обусловливает загрязнение продукта хлористым натрием. При необходимости получения KCl высокой чистоты из сильвинита, загрязненного хлористым магнием, можно вести фракционированную кристаллизацию в две стадии или больше. Растворение производится при $t°$, близкой к кипению. По данным германских з-дов, в 1 $м^3$ полученного т. о. горячего раствора (сырого щелока) содержится до 260 *кг* KCl, из которых ок. 60% выкристаллизовывается. При правильном ведении процессов переработки сильвинита не должно получаться никаких отбросных щелоков. Это достигается повторным использованием маточных щелоков для растворения новых порций сильвинита.

Процесс переработки сильвинита складывается, т. о., в основном из следующих операций: 1) растворения по принципу параллельн. тока или противотока (или комбинации того и другого); 2) отделения раствора от осадка фильтрованием или декантацией; 3) охлаждения раствора до 20—30° единовременно или в несколько стадий для кристаллизации KCl из раствора; 4) отделения твердого хлористого калия от жидкой фазы; 5) промывки KCl (если нужно получить чистый продукт); 6) сушки продукта. Маточный раствор, полученный после кристаллизации KCl, вновь подогревается перед направлением в аппаратуру для растворения новой порции сильвинита.

Дать окончательную и точную схему будущей переработки сильвинитов СССР Верхне-Камских месторождений еще нельзя, так как состав этих солей определен пока только в образцах буровых разведочных скважин; разработка же месторождений заложенной близ Березняков шахтой начнется лишь летом 1929 г. Однако, все имеющиеся многочисленные анализы показывают высокую чистоту природной соли и отсутствие в ней растворимых сульфатов, в особенности кизерита (установлены лишь незначительные примеси карналлита, ангидрита, глины и песка). Поэтому есть основание предполагать, что переработка соликамских калийных солей будет более простой, чем переработка германских сильвинитов. Центральной лабораторией Северного химического треста (Ф. Ф. Вольфом и В. С. Ятловым) произведены лабораторные опыты химической переработки образцов соликамского сильвинита, установившие ряд детальных условий этой переработки.

Переработка твердой соли. Процесс растворения твердой соли близок к условиям растворения сильвинита: он также базируется на выщелачивании KCl при нагревании. Раствор после отделения от твердого остатка охлаждается, при чем выкристаллизовывается KCl. Оставшийся раствор служит для новых извлечений KCl из твердой соли. Процесс переработки твердой соли несколько изменяется, по сравнению с процессом переработки сильвинита и карналлита, главн. обр. вследствие присутствия кизерита, так как при переходе в раствор значительных количеств $MgSO_4$ образуются шламы богатые K_2SO_4, с трудом поддающиеся дальнейшей переработке. Чтобы уменьшить растворимость $MgSO_4$, если в сырой соли содержится незначительное количество $MgCl_2$, к раствору для выщелачивания специально добавляют небольшое количество $MgCl_2$. Т. к. до настоящего времени в Соликамских месторождениях калийных солей не найдено ни сульфатов калия, ни сульфатов магния, то переработка твердой соли в настоящее время для СССР практич. интереса не представляет.

Переработка карналлита. Процессы растворения и выкристаллизовывания KCl из карналлита гораздо сложнее, чем из сильвинита. Основой большинства этих процессов является способность карналлита при обработке горячей или холодной водой или разбавленными растворами солей разлагаться на KCl и $MgCl_2$ по следующему примерному ур-ию:

$$KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O + n\,H_2O = KCl + MgCl_2 + (n+6)\,H_2O.$$

В силу значительно большей растворимости $MgCl_2$ переходит в раствор в первую очередь. KCl переходит в раствор вместе с $MgCl_2$ либо остается в большей или меньшей степени нерастворенным.

Существующие методы переработки карналлита можно подразделить на три группы. 1) Способ полного растворения (наиболее распространенный) — состоит в разложении карналлита горячей водой или отбросными щелоками, содержащими $MgCl_2$ в таком количестве, чтобы из сырой соли растворить по возможности только KCl. Полученный раствор охлаждается; при этом бóльшая часть KCl выкристаллизовывается, оставшаяся же в растворе часть м. б. получена в твердом виде выпариванием. 2) Способ неполного растворения: природный карналлит разлагают щелоком, содержащим гораздо меньше $MgCl_2$ и больше KCl, чем при первом способе. Поэтому в раствор переходит весь $MgCl_2$ и лишь часть содержащегося в сырье KCl; остальная же часть KCl в качестве твердого продукта разложения всплывает в растворе в виде тонкого шлама. Последний отделяют вместе с нерастворенными частями сырья, получая в результате удобрительную соль, содержащую 30—40% K_2O. Оставшийся после отделения примесей и шлама раствор охлаждают для выкристаллизовывания KCl. 3) Способ холодного разложения: карналлит разлагают холодной водой (или щелоком особого состава); KCl остается при этом во взвешенном состоянии, в виде мельчайших кристаллов, образующих шлам; последний механически отделяют от раствора и от других более крупных и удельно более тяжелых нерастворимых составных частей карналлита.

Кроме перечисленных трех основных способов, было предложено еще много других, не получивших, однако, до сих пор практич. значения. Применявшийся в недавнем прошлом способ растворения карналлита конечным щелоком в настоящее время оставлен. В качестве побочного продукта при переработке карналлита можно получить бром, к-рый содержится б. ч. в виде $MgBr_2$.

В первый период возникновения и развития К. п. химич. переработке подвергался преимущественно карналлит, при чем технология его основывалась на эмпирич. данных. До начала 20 в. каждая ф-ка имела

собственную рецептуру производства, к-рая в течение долгого времени считалась ее секретом. После войны 1914—18 гг., в связи с отторжением от Германии эльзасских месторождений калийных солей, появлением конкуренции и высокой стоимостью переработки карналлита по сравнению с сильвинитом, выявилась необходимость рационализировать производство на основе научных данных и в частности сильно сократить расход топлива. В связи с убыточностью одних и незначительной рентабельностью других предприятий, перерабатывавших карналлит, многие герм. з-ды закрылись, и вопрос о рационализации теплового хозяйства стал решающим. Поэтому герм. калийный синдикат, в лице созданного им в то время исследовательского ин-та по калию, значительную часть своих работ посвятил научной проверке всех известных до того времени способов переработки карналлита и разработке новых способов. Удалось установить ряд важных теоретич. положений, к-рые в наст. время привели в Германии к значительным практич. результатам. К сожалению, большинство работ германского исследовательского ин-та по калию не подлежит оглашению и поэтому недоступно для широких технических кругов.

В СССР лабораторные опыты по переработке буровых образцов карналлита Соликамского месторождения способом холодного разложения были произведены проф. Н. Н. Ефремовым и А. А. Веселовским. Опыты доказали целесообразность применения этого способа к исследованным образцам карналлита и позволили внести в него некоторые улучшения, соответственно сравнительной чистоте соликамских солей. Благоприятным обстоятельством, кроме отсутствия в их составе $MgSO_4$, является также некоторый избыток KCl сверх того количества, которое находится в карналлите в связанной форме. Сущность изученного Н. Н. Ефремовым и А. А. Веселовским способа заключалась в том, что измельченный карналлит обрабатывался небольшим количеством воды, достаточным для разложения карналлита, но недостаточным для перевода в раствор всех продуктов разложения.

Важнейшие процессы переработки калийных солей осуществляются в аппаратуре для растворения, нагревания, охлаждения, выпаривания и осветления (очистки) растворов, промывания и сушки солей. Для р а с т в о р е н и я солей применяются: а) котлы или чаны, в которых перемешивание массы осуществляется либо механич. мешалкой либо током растворителя или пара, вводимых снизу; б) разнообразные шнеки, в необходимых случаях снабженные нагревательными устройствами (преимущественно обогреваемые изнутри трубами или подводкой снизу острого пара); в) комбинации котлов и шнеков; г) вращающиеся горизонтальные барабаны, снабженные внутри направляющими железными угольниками и т. д. Наиболее распространенными конструкциями быстродействующих воздушных х о л о д и л ь н и к о в являются: вращающиеся горизонтальные барабаны, охлаждаемые вдуваемым посредством вентилятора воздухом; холодильные башни типа градирен; теплообменные вакуум-холодильники; быстродействующие аппараты, в к-рых охлаждение производится водой или другими жидкостями; мало применяются дисковые и другие холодильники. Н а г р е в растворителей и щелоков осуществляется в различных аппаратах, большинство к-рых представляет собою трубчатые системы. Для о с в е т л е н и я растворов, увлекающих с собой обыкновенно часть взвешенных нерастворенных составных частей, применяются периодически действующие отстойники или непрерывно действующие аппараты, в к-рых отстаивание осуществляется при сильно замедленном потоке жидкости, благодаря увеличению поперечного сечения аппарата. В случае необходимости полной очистки раствора от твердых частиц применяются различные фильтры и центрифуги. С у ш к а калийных солей для понижения содержания в них влаги (в KCl с 5—15% до 0,5—0,6%) осуществляется главным образом во вращающихся горизонтальных барабанах, обогреваемых топочными газами снаружи или изнутри.

Одним из больных вопросов К. п. является вопрос об удалении или использовании о т б р о с н ы х щ е л о к о в, получаемых при переработке карналлита и содержащих высокий % Mg и Na. Если эти щелоки спускают в реки, то они могут превысить допустимые нормы содержания хлора и жесткости воды, а потому, в интересах здравоохранения, в Германии изданы специальные законы, ограничивающие спуск конечных щелоков от переработки карналлитов в реки. Производство хлористого магния, хлора, соляной к-ты, магнезиальных цементов из этих щелоков, спуск щелоков в шахты для их заполнения и другие опыты их использования еще не разрешили поставленной задачи в полном объеме и достаточно экономично.

Применение удобрительн. солей на некоторых с.-х. культурах (винограде, табаке и др.) отражается отрицательно (действие хлора); в виду этого часть KCl перерабатывается на K_2SO_4. В Германии K_2SO_4 получается почти исключительно обменным разложением двойного сульфата калия-магния в водном растворе с KCl по ур-ию:

$$K_2Mg(SO_4)_2 + 2KCl = 2K_2SO_4 + MgCl_2.$$

Если в СССР в составе калийных месторождений не будет найдено сульфатов магния и калия (до сих пор их не обнаружено), то производство K_2SO_4 необходимо будет осуществлять по одному из след. способов: разложением KCl серной к-той или сернистым газом в присутствии кислорода (способ Гаргривса) или обменным разложением с другими сернокислыми солями. Кроме сел. хозяйства, K_2SO_4 применяется также в производстве калиевого стекла, квасцов и других солей.

В последние годы начато производство в качестве удобрения фосфатов калия и фосфатов аммония-калия, содержащих, т. о., два и три питательных элемента, что повышает концентрацию, а следовательно, удешевляет транспорт новых удобрений. За границей начали производить в качестве удобрения также азотнокислый калий, KNO_3, к-рый до последнего времени применялся как составная часть взрывчатых веществ, в пиротехнике, для засолки мяса, для очистки металлов и т. д. Наиболее распространенный, так называемый к о н в е р с и о н н ы й, с п о с о б производства KNO_3 состоит в обменном разложении KCl с $NaNO_3$ (чилийской селитрой). Из других способов заслуживают внимания разложение KCl азотной к-той или обменное разложение KCl и NH_4NO_3.

Из соединений калия, кроме перечисленных, наибольшее промышленное значение имеют: углекислый калий, едкое кали, бертолетова соль, калиевые квасцы, хромовокислый, марганцовокислый, железо- и железистосинеродистый, бромистый и иодистый калий и др.

В 1927 году мировое производство калийных солей, выраженных в *m* K_2O, составляло 1 982 000 *m*, из которых на долю Герма-

нии приходилось 1 518 000 *m*, Франции (Эльзас) — 372 000 *m*, Польши — 46 864 *m*, С. Ш. А.—39 470 *m* и Британской Индии—6 250 *m*. Эксплоатация испанских месторождений начинает лишь теперь развиваться.

Германская К. п. объединена мощным калийным синдикатом, регулирующим размеры производства, условия сбыта и цены продукции. Между герм. и франц. синдикатами заключены соглашения, регулирующие поставки на международный рынок; кроме того, герм. синдикат участвует в эксплоатации испанских месторождений. Герм. калийный синдикат имеет Научно-исследовательский ин-т по калию, сеть с-х. опытных учреждений, бюро агрономич. пропаганды и издает специальные журналы.

Созданный в 1927 г. Калийный трест СССР ставит себе задачей добычу и переработку калийных солей Верхне-Камских месторождений. Пятилетним планом треста предусматривается в 1929/30 г. выпуск продукции минимально в 30 000 *m*, а в 1932/33 г. минимально в 1 500 000 *m* сырых солей; в начале след. пятилетия предусматривается добыча в 2 500 000 *m* калийных солей в год.

Лит.: Вольф Ф. Ф. и Ятлов В. С., Изучение условий химич. переработки калиевых солей Соликамского месторождения, «ЖХП», 1927, *6—7*, 1928, *5—6*, *16*, *17*, *19*; Вольфкович С. И., Производство хлористого калия, «Труды Калийной комиссии и Ин-та по удобрениям», М., 1929; его же, Введение в технологию калия, Лекции, чит. на Курсах повыш. квалиф. инж., М., 1928 (на прав. рукоп.); Ефремов Н. Н. и Веселовский А. А., К вопросу о переработке соликамского карналлита, «ЖХП», 1927, *6—7*; их же, О содержании брома в соликамских карналлитах, там же, 1928, *23—24*; Ильинский В. П., Сакское соляное озеро и его значение, Л., 1926; Казакевич В. И., К вопросу добычи в России калиевых солей, Л., 1922; Каблуков И. А. и Каблуков А. С., Крымские соляные озера, М., 1913; Курнаков Н. С., О нахождении калиевого минерала—хлористого калия, или сильвина, в России, «Изв. Акад. наук», II., 1916, стр. 411; его же, О месторождении калиевых солей в Соликамске. Доклад Академии наук СССР, стр. 21, Л., 1926; Пантелеймонов Б. Г., Магниевые соли из Сакского озера, М., 1923; Штерн Д. и Левин П., Мировая калийная промышленность, «ЖХП», 1927, *10*, стр. 830; Шадлун Н. А., Соликамские калийные залежи, «МС», 1926, *10—11*, стр. 774; Grotogino F., Chemie d. Kalisalze. Stassfurt, 1922; Friedrich, Die Kali-Industrie, Chemische Technologie d. Neuzeit, Stg., 1926; Fulda E., Krull O., Krische P. u. Gropp W., Das Kali, Stg., 1928; Ergänzungswerk zu Musspratts Enzykl. Handb. d. techn. Chemie, B. 2, Lpz.; Hermann C., Fortschritte in d. Kali-Industrie, Technische Fortschrittsberichte, hrsg. v. B. Rassow, B. 17, Dresden—Lpz., 1927; Jänecke E., Die Entstehung d. deutschen Kalisalzlager, 2 Aufl., Brschw., 1925; Krische P., Das Kali, Enke's Bibliothek f. Chemie u. Technik, B. 7, T. 1, Stg., 1923; Krull O., Beiträge z. Verarbeitung d. Kalisalze, Lpz., 1918; Kubierschky K., Kaliindustrie, Ullm. Enz., B. 6; Michels W. und Przibylla C., Die Kalirohsalze, ihre Gewinnung u. Verarbeitung, Leipzig, 1916; van't Hoff J. H., Zur Bildung d. ozeanischen Salzablagerungen, Brschw., 1905 u. 1909.

С. Вольфкович.

КАЛИЙНЫЕ СОЛИ разделяются на легко растворимые (хлориды, сульфаты и часть карбонатов) и трудно растворимые (гл. обр. силикаты); первые из них применяются в промышленности, в сельском хозяйстве и медицине. К. с. добываются из отложений калийно-магнезиальных солей, образовавшихся вследствие испарения воды в соляных озерах или отделившихся участках морей, а также из коренных рассолов морских соленарен. Морская вода содержит в среднем 0,06% KCl и 0,3% $MgCl_2$. Богаты легко растворимыми солями нек-рые соляные озера; так, напр., Мертвое море содержит 8,5% NaCl, 9,1% $MgCl_2$, 3,5% $CaCl_2$ и 2,4% KCl.

Среди многочисленных минералов, встречающихся в залежах К. с. (табл. 1), наиболь-

Табл. 1.—Главнейшие калийные соли.

Наименование	Формула	Твердость	Уд. вес	Содержание в %	Месторождения
Карналлит (Carnallit) . .	$KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$	1—2	1,618	26,8 KCl	Встречается во всех соляных месторождениях
Глазерит (Glaserit)	$K_3Na(SO_4)_2$	2,7	2,697	54,2 K_2O	Вестерегельн
Каинит (Kainit)	$MgSO_4 \cdot KCl \cdot 3H_2O$	2	2,082—2,138	30 KCl	Во многих месторождениях калийных солей
Калиборит (Kaliborit) . .	$K_2O \cdot 3B_2O_3 \cdot 4(MgO \cdot 2B_2O_3) \cdot 18H_2O$	4,5	2,13	6,55 K_2O	Ашерслебен
		3,5	2,801	19,9 K_2SO_4	Стассфурт
Лангбейнит (Langbeinit) .	$2MgSO_4 \cdot K_2SO_4$	3—4	2,86	40 K_2SO_4	Вильгельмсгаль у Андербека, Ашерслебен, Гогенцоллерн
Леонит (Leonit)	$MgSO_4 \cdot K_2SO_4 \cdot 4H_2O$	—	—	47,5 K_2SO_4	Леопольдсгаль, Вестерегельн, Ашерслебен
Полигалит (Polyhalit) . .	$K_2Ca_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$	3	2,72	28,9 K_2SO_4	Леопольдсгаль, Стассфурт, Галлейн, Ишль
Риннеит (Rinneit)	$FeCl_2 \cdot 3KCl \cdot NaCl$	2,5—3	2,35	—	—
Шенит (Schönit)	$MgSO_4 \cdot K_2SO_4 \cdot 6H_2O$	2,5—3	2,35	—	—
Сильвин (Sylvin)	KCl	2,2	1,987	47,65 K_2O	Во многих калийных рудах
Сингенит (Syngenit) . . .	Родственен полигалиту	2,5	2,603	28,66 K_2O	Калуш (Галиция)
Кроме того:					
Морская вода	—	—	—	0,04 K_2O	—
Бенгальская селитра . . .	—	—	—	37—40 K_2O	—

шее промышленное значение имеют следующие. Сильвин: 52,48% K и 47,52% Cl; правильной системы; б. ч. бесцветен, слегка опаловиден, реже—прозрачен, как стекло; часто от примеси мелко рассеянного железного блеска цвет становится темнокоричневым или бурым; излом раковистый; термопроницаем; вкус горький; слегка гигроскопичен. Карналлит: 14,09% K, 8,76% Mg, 38,26% Cl и 38,89% H_2O; ромб. системы; блеск жирный; обычно, благодаря примесям, окрашен в розовый или серый

цвет, реже—в молочно-белый или желтый; излом раковистый; вкус горький; сильно гигроскопичен. Каинит: моноклинной системы; цвет бурый, до желто-зеленого, иногда голубовато-фиолетовый; обыкновенно образует зернистые массы; часто содержит примесь сильвина, карналлита, кизерита, шенита, лангбейнита и рейхардита. Смесь нек-рых из этих минералов с другими солями образует калийные породы: сильвинит, состоящий из сильвина и каменной соли; твердую соль (Hartsalz), состоящую из сильвина (12—23%), каменной соли (35—70%), кизерита (10—48%) или ангидрита и переменных количеств лангбейнита, шенита, каинита и карналлита; карналлитовые породы, состоящие из: а) карналлита и каменной соли, или б) карналлита, каменной соли и кизерита, или в) карналлита, каменной соли и ангидрита; каинитовые породы, состоящие из каинита и каменной соли. Наиболее распространенными являются карналлитовые породы, а наиболее ценными—сильвинитовые породы.

К. с. вследствие своей легкой растворимости не встречаются на поверхности земли; они сохранились в природе под прикрытием более молодых осадочных наслоений. Главнейшие месторождения К. с. сосредоточены в СССР, Германии, Франции, Испании, С. Ш. А. и Польше.

Союз ССР. В западных предгорьях Урала, среди отложений пермской системы, встречаются обширные соляные залежи; в этих залежах возле г. Соликамска впервые в конце 1925 г. буровой скважиной на глубине 91,7 *м* был встречен пласт К. с. Верхняя часть калийной залежи представлена карналлитом (ок. 80 *м* мощности) со средним содержанием в 13% K_2O (20% KCl), нижняя—сильвинитом (около 25 *м* мощности) с содержанием 16% K_2O (24% KCl). Выше карналлитовой зоны залегает иногда верхний сильвинит вторичного происхождения, мощностью от 0 до 15 *м*. Соликамское месторождение выгодно отличается от других меньшей глубиной залегания; по высокому содержанию калия в сильвинитовой зоне оно приближается к эльзасскому месторождению. Соли эти могут поступать на рынок без обогащения. Отсутствие в соликамских солях $MgSO_4$ (К. с.—исключительно хлористые) создает для них значительные преимущества при переработке их; так, карналлит допускает обработку холодным способом, из сильвинита KCl получается процессом наиболее экономичным. Дальнейшие разведки Верхне-Камского округа окончательно установили мировое значение данного калийного месторождения, превосходящего по своим запасам все остальные. Для детальной разведки и эксплоатации месторождения начата проходка шахт. В Казакской АССР производилось геологич. исследование района сев. берега Индерского озера (Джамбейтинский район Уральского округа). Подземные источники, питающие озеро, приурочены к гипсоносной толще верхне-пермских отложений и характеризуются высоким содержанием сернокислых калийных солей. Предварительные результаты анализов позволяют предполагать присутствие в этом месторождении сернокислого калия. В воде соляных источников в Илецкой Защите обнаружено присутствие хлористого калия (0,06—0,17%). Буровыми скважинами на нефть в Уральском округе, около Гурьева, в низовьях рек Урала и Эмбы, обнаружены залежи каменной соли с содержанием в большинстве проб 2—4% (максимально 5,86%) хлористого калия.

Германия. Зона распространения калийно-магнезиальных солей охватывает значительный бассейн внутри цехштейновой котловины. Главный бассейн простирается в большей части провинций Ганновера, Саксонии, Бранденбурга и прилегающих областей. Здесь три калийных пласта отложились один на другом; при этом два более молодых занимают сравнительно небольшое пространство в пределах провинции Ганновера. Из второстепенных бассейнов наиболее важным является Гессен-Тюрингенский. Он охватывает калийные округа на рр. Верра и Фульда и содержит два калийных пласта. Наиболее ценные залежи твердой соли (Hartsalz) встречаются в области р. Верра и в южн. Гарце. На более высокий % содержания калия показывают сильвиниты более молодых калийных пластов в Ганновере. В других областях преобладают менее ценные, но более мощные отложения карналлитовых солей. Каинитовые породы добывались в больших количествах в районе Стассфурта. Главн. районы добычи в Германии: междуречье Верра—Фульда (ю. Гарц), с. Ганновер (с. Гарц), Магдебург—Гальберштат—Стассфурт (нижний Рейн у Везеля). Все эти месторождения относятся к верхнему цехштейну. Баденское месторождение относится к третичному периоду. Запас солей в Германии исчисляется в количестве ок. 20 млрд. *т*, содержащих ок. 2 млрд. *т* K_2O.

Франция. В Эльзасе известны калийные месторождения в верхней долине Рейна (близ Мюльгаузена), лежащие в пластах среднего олигоцена; эти месторождения отличаются содержанием высокоценных сильвинитов. Глубина соляных копей колеблется в пределах между 470 *м* (в ю.-з. части) и 800 *м* (в с.-в. части этой площади). Добываемый сильвинит залегает 2 слоями, разделенными слоем каменной соли мощностью до 20 *м*. Запасы исчисляются в 350 млн. *т*.

Польша. В вост. Галиции, в миоценовых отложениях имеются месторождения К. с. в Калуще, Морчине и Стебнике. Запасы солей исчисляются в количестве 18—20 млн. *т* с содержанием ок. 8 млн. *т* K_2O. В Калуще встречены 3 калийных залежи в свите (мощность ок. 100 *м*) соляных глин и слоев каменной соли: нижняя—сильвинитовая (мощность 12 *м*), средняя—каинитовая, местами имеющая карналлитовые породы, и верхняя—сильвинитовая (мощность 4 *м*). Добыча К. с. производилась давно, но никогда не достигала больших размеров вследствие отдаленности от ж. д.

Испания. Площадь месторождений охватывает 400 *км*²; они расположены в местности Сурия-Манреза и в Кардоне (70—80 *км* от Барселоны). Обнаружен гл. обр. карналлит (до 20% K_2O), залегающий слоем мощностью 7 *м*. В двух параллельных Пире-

неям антиклиналиях соляные залежи местами достигают поверхности земли, особенно у Кардоны и Сурии. Соляной массив у Кардоны содержит только каменную соль, а в Сурии уже на глубине 40 *м* обнаружены обширные залежи и других К. с. Эксплоатация месторождений очень выгодна. Запасы в районе Сурии исчисляются в 268 млн. *m* K_2O.

Общий запас испанского месторождения может быть исчислен в 350 млн. *m* K_2O.

Палестина. Вода Мертвого моря содержит 2,4% хлористого калия, переработка которого производится америк. компанией. Запас K_2O оценивается в 1,3 млрд. *m*.

Запасы K_2O в твердых солях С. Ш. А. исчисляются в 23 млн. *m*. Незначительные количества К. с. встречаются в Пенджабе (Брит. Индия), в Абиссинии, в Техасе, в Новой Мексике. Залежи калиевой селитры имеются в юж. Африке, в округах Приеска и Хей; толща селитроносной глины мощностью 550—850 *м* залегает в гриквatоунских отложениях трансваальской геологич. формации. Глина содержит 3—10% растворимых веществ, в к-рых KNO_3 находится в количестве 1,2 — 25,88%. В Индии добывается т. н. «бенгальская селитра». Достаточный запас К. с. находится также в Чили.

Мировая добыча и потребление К. с. в 1927 г. возросли приблизительно на 43% против добычи их до войны 1914—18 гг.; 96% добычи приходится на долю Германии и Франции и только 4%—на все остальные страны (табл. 2).

Цены на К. с. приведены в табл. 3.

Табл. 2.—Мировая добыча калийных солей (в *m*).

Страны	1913 г.	1923 г.	1924 г.	1925 г.	1926 г.	1927 г.
Германия						
Сырые соли	11 962 854	11 209 167	8 072 440	12 044 000	9 408 109	—
Колич. K_2O	1 168 369	885 900	841 899	1 225 954	1 038 696	1 239 406 *
Франция						
Сильвинит и сильвин	—	1 577 736	1 664 608	1 926 346	2 317 675	2 321 775
Колич. K_2O	—	248 000	271 549	322 000	363 670	372 000 *
Италия						
Лейцит	—	8 538	15 600	266 000	35 000	53 000
Испания						
80%-ный хлористый калий	—	—	—	27 734	80 598	70 000 *
Польша						
Каинит и сильвин	2 300	61 503	81 420	176 984	207 537	276 054
Колич. K_2O	200	28 200	22 200	35 974	38 931	—
Соед. Штаты Америки						
Сырые соли	—	35 406	39 695	46 779	42 024	69 689
Колич. K_2O	—	18 335	20 767	23 086	21 197	39 471
Всего K_2O	1 168 569	1 130 435	1 156 415	1 607 014	1 515 494	1 650 877 *

* Предварительные цифры.

Табл. 3.—Цены на калийные соли.

Род соли и содержание K_2O	Германия		Франция	С. Ш. А.	
	Цены синдиката в мар. за 100 *кг* чистого калия		Цены в фр. за 100 *кг* соли франко-вагон-рудник	Цены в долл. за короткую тонну (907 *кг*) cif порты Атлантического океана	
	1913 г.	1927 г.	1927 г.	1927 г.	
				насыпью	в таре
Карналлит, 9—12%	8,50	9,67	—	—	—
Необработанные соли, 12—15%	10	10,83	10,95	9,50	12,50
Обогащенный сильвинит, 20—22%	—	—	17,50	—	—
Удобрительные соли 18—22%	14	15,20	—	12,40	15,40
Удобрительные соли 28—32%	14,50	17,95	—	18,75	21,75
Удобрительные соли 38—42%	15,50	18,88	—	—	—
Хлористый калий, 49—60%	27	27	72,00	—	—
» » свыше 60%	—	29	—	—	—
» » » 80%	—	—	—	34,80	36,40
Сернокислый калий, свыше 42%	35	31,25	—	—	—
» » » 90%	—	—	98,70	45,70	47,30
» калий-магний	31	28,85	—	25,65	27,25

В США 96% добычи приходится на долю Германии и Франции и только 4%—на все остальные страны (табл. 2).

Цены на К. с. приведены в табл. 3.

Лит.: Белоглазов К., Опыты испарения рассолов Усть-Боровского и Соликамского районов, «Изв. Ин-та физико-химич. анализа», Л., 1924, т. 2, вып. 2, стр. 492; Вольфкович С., О получении калиевых солей из рассолов крымских озер, «ЖХП», М., 1925, т. 2, *2(8)*, стр. 27; Вольф Ф. Ф. и Ятлов В. С., Изучение условий химич. переработки калиевых солей Соликамского месторождения, там же, 1927, т. 4, *6—7* и 1928, т. 5, *5—6* и *7—8*; Глушков Н., О поисках поваренной соли и калийных солей в северо-восточной России, «Уральский техник», Екатеринбург, 1915, *9—10*, стр. 49; Гусарский Г., Проблема получения калиевых солей на Урале, «Труды I Всесоюзного горн. научно-технического съезда»,

М., 1926, стр. 144; Ефремов Н., Калиевые соли Уральской области и их роль в развитии химич. пром., там же, стр. 145; Ефремов Н. Н. и Веселовский А. А., Изучение условий химической переработки калиевых солей Соликамского месторождения, «ЖХП», М., 1927, т. 4, 6—7; Иванов А., Егер Р. и Разумовская Е., Материалы по исслед. Прикамского соленосного района, «Материалы по общей и прикладной геологии», Л., 1927, вып. 105; Котельников В. Г., Соликамское месторождение калийных солей, «Изв. Гос. ин-та опытн. агрономии», Л., 1927, т. 5, 4; Курнаков Н. и Ферсман А., Калий, Химико-технический справочник, ч. 1—Ископаемое сырье, Л., 1925; Курнаков Н., О нахождении калиевого минерала—хлористого калия, или сильвина—в России, «Изв. Академии наук», П., 1916; Курнаков Н., Белоглазов К., Шматько М., Месторождения хлористого калия Соликамской соленосной толщи, там же, 1917, 8; Курнаков Н., О калиевых солях в рассолах Соликамского края, «Изв. Ин-та прикл. химии», П., 1922, вып. 1, стр. 40; его же, О месторождениях калиевых солей в Соликамске. Доклад Академии наук СССР, стр. 21, Л., 1926; Пантелеймонов Б., Сагайдачный А., Сапирштейн Э., Статьи по вопросу получения калиевых солей из рассолов крымских озер (печатаются); Преображенский П. И., Открытие калийных солей в районе Соликамска, «Вестн. Геол. к-та», Л., 1925, 1, стр. 9; его же, Уральский калий, «ГЖ», 1927, 7; Преображенский П. И. и Варов А. А., Матер. по исслед. Прикамского соленосного района, «Матер. по общей и прикладной геологии», Л., 1928, вып. 106; Рябинин А., К вопросу о геологич. условиях нахождения солей в Соликамском районе Пермской губ., там же, 1920, вып. 53, стр. 48; Сагайдачный А. Ф., Калийные и магнезиальные соли Сакского солен. озера, «Труды Гос. ин-та прикл. химии», Л., 1927, вып. 5; Сапирштейн Э., Опыт добычи калийных солей в Крыму, «ГЖ», 1923, 7; Семенников С., Калийные соли Уральской обл., там же, 1925, 1; Сергеев М., Месторождения калия в СССР и условия его добычи, там же, 11; Федоровский Н. М., Калийные соли и крымские озера как источник получения калийных, магнезиальных и бромистых солей, «МС», 1926, 1; Фокин Л., Обзор химич. промышленности в России, П., 1921; Химико-технический справочник, ч. 1—Ископаемое сырье, Л., 1925; Годовой обзор минер. ресурсов СССР за 1925/26 г., Л., 1927; то же за 1926/27 г., Л., 1928; Krische P., Das Kali, «Enke's Bibliothek für Chemie u. Technik», Stg., 1923, B. 7; Fulda E., ibid., Stg., 1928, B. 8; Hermann C., Einführung in d. Kaliindustrie, Halle a/S., 1925; van't Hoff J.H., Untersuchungen über d. Bildungsverhältnisse d. ozeanischen Salzablagerungen, Lpz., 1912; Jänecke E., Die Entstehung d. deutschen Kalisalzlager, 2 Aufl., Brschw., 1925; 50 Jahre deutscher Kaliindustrie, «Chem. Industrie», Lpz., 1911, 7; Krische P., Die Verwertung d. Kalis in Industrie u. Landwirtschaft, Halle a/S., 1908; Untersuchungen u. Begutachtung v. Düngmitteln usw., B., 1906; Kubierschky K., Kaliindustrie, Ullm. Enz., B. 6, B., 1919; Michels W. u. Przibylla C., Die Kalirohsalze, ihre Gewinnung u. Verarbeitung, Lpz., 1916; Paxmann H., Die Kaliindustrie in ihrer Bedeutung u. Entwicklung, Stg., 1898; Rice G. S. a. Davis J. A., Potash Mining in Germany a. France, «Depart. of Commerce, Bureau of Mines, Bulletin», Wsh., 1927; Rinne, Die geotermischen Metamorphosen u. die Dislokationen d. deutschen Kalisalzlagerstätten, «Fortschritte d. Mineralogie, Kristallographie und Petrographie», Jena, 1906, B. 6 (указана литер.); Mushketov D., Russia to exploit Potash Deposits at Solikamsk, «Engineering and Mining Journal», N. Y., 1927, v. 124, 23; Preobraschensky P., Neue Kalisalzlager in Ural, «Ztschr. f. prakt. Geologie», Halle a/S., 1927, Jg. 34, 8.

Н. Федоровский.

К. с. как удобрение. В практике нашего сел. хозяйства потребление калийных удобрений значительно отставало от потребления азотнокислых и фосфорнокислых удобрений. Больше других стран потребляет калийные удобрения Германия, где применение их (~717 000 *т*) за последние годы превышает (по данным 1927 г.) потребление минеральных азота (400 000 *т*) и фосфора (475 000 *т*).

Если принять во внимание, что посевная площадь составляла в Германии в 1927 году 27 639 000 *га*, то на 1 *га* обрабатыв. площади приходилось в 1927 г. 25 *кг* калийных удобрений при среднем содержании K_2O 20 %.

Физиологическая роль калия в растениях сводится гл. обр. к воздействию на процессы передвижения углеводов в растениях от одних органов в другие. Наибольшее содержание калия встречается в молодых жизнедеятельных органах растения—в молодых листьях, почках, живых тканях коры и др. В старых органах растений—в древесине, лубяных волокнах и пр.—калия мало. Калий, в отличие от азота и фосфора, поступает в растения вплоть до момента полного их созревания. Содержание калия в золе растений колеблется в пределах от 6 до 40%. Наиболее богата калием зола подсолнечника, гречихи и табака, далее идут конопля, лен и злаки; особенно бедна калием зола древесных хвойных пород. Содержание калия в золе одного и того же растения может значительно колебаться в зависимости от богатства калием почвы. Плодородие почв в отношении калия определяет собой в значительной мере вопрос о рентабельности применения калийных удобрений. Среднее содержание калия в литосфере значительно выше, чем, например, содержание азота и фосфора. Содержание калия в разных почвах колеблется значительно. В черноземах калия значительно больше, чем в подзолах.

Калий входит в состав целого ряда минералов, при чем калий большинства минералов (ортоклаз, санидин, микроклин, альбин, элеомит, лейцит, глауконит) почти недоступен для большинства культурных растений; слабо доступен для растений калий биотита, сравнительно лучше усваивается калий мусковита и еще лучше—калий нефелиновых пород. Валовое содержание в почве калия, или содержание калия в 10%-ной солянокислой вытяжке, характеризует по преимуществу лишь богатство почвы калием, что далеко не всегда стоит в прямой связи с плодородием почв в отношении калия. Для разрешения практическ. вопроса о целесообразности применения калийных удобрений на той или иной почве в настоящее время предложен ряд лабораторных методов, к-рые можно разбить на две группы: методы химические и методы физиологические. К первым относится метод водных вытяжек и метод кислотных вытяжек из почвы; ко вторым—метод Нейбауера и метод Митчерлиха. В отношении отзывчивости на калийные удобрения растения можно разбить на группы в зависимости от средней потребности в калии урожая и от усвояющей способности растений в отношении почвенного калия. Хорошо реагируют на калийные удобрения сахарная свекла, корнеплоды, картофель, ячмень, табак, конопля, подсолнечник, мак, рапс; средне—лен, красный клевер, пшеница, горох, вика и озимая рожь; слабо—овес, лупин. Конечно, это разделение растений является грубо приблизительным; при этом имеются в виду почвы со средним плодородием их в отношении калия и средние урожаи культурных стран Западной Европы. При низком уровне

наших средних урожаев в подавляющем большинстве случаев калийные удобрения не будут давать заметного эффекта даже на фоне азота и фосфора; мало того, эффекта от калийных удобрений можно ожидать лишь в тех случаях, когда на том или ином поле в течение нескольких лет будут получены высокие урожаи на фоне азота и фосфора. Почвами, где калий находится в первом минимуме или стоит в одном ряду с фосфором или азотом, являются песчаные почвы, низинные луга (но не суходолы), осушенные торфяники верхового и переходного типов. Кроме того, хорошо реагируют на калий: 1) поля, идущие после 2—3-летнего клевера; 2) поля, на к-рых интенсивно применялись азотно-фосфорные удобрения без навоза, и 3) сильно истощенные предшествующей культурой почвы на фоне азота и фосфора.

Все изложенное выше находит полное подтверждение в материалах полевых опытов с применением калия, проведенных опытными учреждениями СССР по инициативе Научного ин-та по удобрениям при НТУ ВСНХ (1928 г.). Калийные удобрения вносились совместно с суперфосфатом и азотными удобрениями гл. обр. под растения, отзывчивые на калий: сахарную свеклу, лен-долгунец, картофель и др. (из расчета 45 *кг* K_2O на *га*). Из 59 случаев заметное действие от калийных удобрений было лишь в 13 случаях (см. табл. 4).

Табл. 4.—Рентабельные прибавки от калийных удобрений.

Опытные учреждения	Род почвы	Опытные растения	Средняя прибавка от калийных удобрений	
			в % от урожайн.	в *ц/га*
Зап. обл. оп. станция (быв. Энгельгардтовская)	Оподзоленный суглинок	Лен-долгунец (солома)	13,4	2,8
Сев.-Вост. обл. опытн. станция (б. Вятская)	»	»	15,1	5,8
Казанская обл. опытная станция	Вторично оподзоленная почва	Картофель (клубни)	16,7	32,7
Алексеевское оп. поле (б. Нижегор. губ.)	Супесчаная	»	17,3	14,4
Камышловское оп. поле (Уральский округ)	Темносерый лесной суглинок	»	10,3	14,9
Турское опытное поле (БССР)	Песчаная	»	37,5	34,3
Рудне-Радовольское опытное поле	Трав.-луговое болото	Овес (общая сухая масса)	255,0	50,7
»	»	Овес (зерно)	94,0	4,2
Новозыбк. оп. станция (Зап. обл.)	Песок	Лупин (сырая масса)	20,0	57,2
Абинское опытн. поле	Супесчаная	Табак (сырые листья)	10,2	6,0
Орловское оп. поле (север ЦЧО)	Темноцветный суглинок	Конопля	21,5	4,7
Саливонки, сах. з-д	Чернозем	Сахарная свекла (корни)	13,4	37,8
Благодатное, сах. з-д	»	»	16,9	19,7

На всех четырех песчаных почвах калий дал, т. о., хороший результат. Если исключить эти 4 опыта и опыт на болотной почве, то из 54 опытов ясное действие калия, при обеспеченности урожаев азотом и фосфором, было видно в 8 опытах, что составляет всего 15% всех опытов. Ограниченность действия калийных удобрений в наших условиях подчеркивается другими опытами 1928 года, проведенными по методу Митчерлиха в полевой обстановке. Метод Митчерлиха позволяет учесть запас усвояемого в почве калия в *ц/га*. Из 115 почв, на которых были заложены опыты, только в 13 случаях имеем запас усвояемого калия, при к-ром возможен положительный эффект от калийных удобрений в пределах цифр, приведенных в табл. 1.

Формы калийных удобрений. Наиболее распространенные калийные удобрения, выпускаемые на рынок из Стассфуртских соляных копей (Германия), распадаются на две основные группы: 1) природные продукты (калийные руды) и 2) концентрированные соли, получаемые в результате заводской обработки. В первую группу входят: каинит, сильвинит, карналлит и твердая соль. Во вторую группу — 90%-ный и 96%-ный сернокислый калий, сернокислый калий-магний, хлористый калий 90—95%-ный и 80—85%-ный и калийные соли 20, 30 и 40%-ные. Приводим в табл. 5 данные о химическом составе калийных удобрений (в %), полученные на основании многочисленных анализов.

В опытах 1927/28 г. Научный ин-т по удобрениям располагал образцами калийных солей Соликамских месторождений, содержавших 6,85, 10,5 и 13,4% K_2O. Образец 1928 года содержит 29,6% окиси калия.

Условием, благоприятствующим действию разных форм калийных удобрений, кроме отмеченных выше общих моментов (бедность почвы калием, род растения, устранение недостатка в почве азота и фосфора), является *известкование* (см.) почв. Дело в том, что в подзолистых почвах среди поглощенных оснований имеется водородный ион. Этот поглощенный водородный ион при внесении К. с. может быть вытеснен калием в почвенный раствор, при чем в почве создается более кислая реакция. Степень подкисления реакции будет зависеть: 1) от количества поглощенного водородного иона в почве (ненасыщенности почвы) и 2) от характера и количества калийного удобрения. При внесении в почву, обладающую ненасыщенностью низкопроцентного калийного удобрения, в почвенном растворе создается более кислая реакция, чем при внесении высокопроцентной калийной соли, так как сопутствующие чистым калийным солям, в первом случае, соли натрия или магния

будут также вступать в обменную реакцию с поглощенным в почве водородным ионом. Подкисление реакции почвы является фактором неблагоприятным для многих культурных растений, при чем это неблагоприятное действие будет тем выше, чем меньше в почве поглощенного кальция. Из этих соображений можно заключить, что действие калийных удобрений усиливается на фоне известкования. Необходимо отметить еще, что хлориды калия оказывают менее благоприятное влияние, чем сульфаты, на табак и картофель, отрицательно влияя на ароматичность и сгораемость первого и понижая крахмальность клубней второго.

Табл. 5.—Химический состав калийных удобрений (в %).

Наименование соли	Гарантированной K_2O	KCl	K_2SO_4	NaCl	$MgCl_2$	$MgSO_4$	$CaSO_4$	Остаток
Каинит	12,0	20,0	—	24,0	—	36,5	1,5	Вода 4,5—26,0% и нерастворимый осадок 0,5—3%
Сильвинит	12,0	27,5	—	57,0	1,5	3,5	—	
Карналлит . . .	9,0	15,5	—	22,5	21,5	12,0	2,0	
Тв. соль (Hartsalz)	12,0	20,5	—	46,5	2,0	20,3	2,0	
K_2SO_4 96%-ный	52,0	Сл.	97,0	Сл.	Сл.	Сл.	Сл.	
K_2SO_4 90%-ный	48,0	—	91,0	—	—	—	—	
Сернокислый калий-магний . . .	26,0	—	50,5	—	—	28	—	
KCl 90—95%-ный	50,0	83,5	—	14,5	Сл.	Сл.	—	
KCl 80—85%-ный	57,0	92,0	—	70,0	—	—	—	
Калийная соль 20%-ная	20,0	33,5	—	40,0	4,0	12,0	2,0	
Калийная соль 30%-ная	30,0	43,5	—	26,0	4,0	10,0	2,0	
Калийная соль 40%-ная	40,0	64,0	—	21,0	1,0	5,5	2,5	

Нормы калийных удобрений устанавливаются в пределах от 45 до 50 *кг/га* (на K_2O). Повышение доз, как показывают опыты в наших условиях, чаще всего бесполезно. Возможный благоприятный эффект от повышенных доз калийного удобрения д. б. связан с одновременным увеличением доз азотных фосфорнокислых удобрений, при чем увеличение доз лучше всего производить под красный клевер, сахарную свеклу, на лугах и осушенных торфяниках. Нормы калийных удобрений на осушенных торфяниках выработаны практикой Германии, Швеции и Финляндии. В течение первых четырех лет культуры низинных торфяников применяют ежегодно 100—125 *кг/га* окиси калия, на моховых болотах 125—150 *кг/га*; в дальнейшем дозы надлежит согласовывать с порядком чередования растений. Калийные удобрения можно вносить как перед посевом, так и поверхностно, так как К. с., как и нейтральные, в отличие от суперфосфата, сернокислого аммония и др., не могут оказывать неблагоприятного действия на растения.

Одним из главных условий распространения калийных удобрений является их дешевизна. С открытием Соликамских калийных месторождений перед нами возникают благоприятные перспективы в отношении снижения цен на калийные удобрения; для широкого применения последних надлежит выпускать на рынок высокопроцентные удобрения (с содержанием окиси калия в 30—40%), так как низкопроцентные соли будут невыгодны при далеких перевозках. В качестве калийных удобрений может также применяться и *зола* (см.).

Лит.: Прянишников Д. Н., Учение об удобрении, Берлин, 1922; Егоров М. А., Вопросы зольного питания растений, Харьков, 1921; Вегетационные опыты и лабораторные работы. Сборники под ред. проф. Прянишникова, т. 6—8, Москва, 1911—13; Дружинин Д. В., Опыты с соликамскими калийными солями, «Труды НИУ», 1829, вып. 61; Maerker M., Die Kalidüngung, Berlin, 1892; Schneidewind W., Die Kalidüngung, 4 Aufl., Berlin, 1922; Nolte O., Die Bedeutung des Kalis, Berlin, 1927; «Die Ernährung der Pflanzen», Berlin, 1926—29.

Д. Дружинин.

КАЛИЛЬНАЯ СЕТКА, остов колпачка (чулка), пропитанного азотнокислыми солями тория, церия и других металлов группы редких земель и затем сожженного на пламени горелки, применяемый для придания пламени газовой, спиртовой или керосинокалильной горелки наибольшей силы света. В зависимости от устройства горелки сетка делается стоячей (вкл. лист, *1*, ст. 712) или висячей, и н в е р т н о й (вкл. л. *2*).

Процесс производства К. с. в настоящее время сводится к следующим операциям. 1) На чулочновязальных машинах вяжется длинный, желаемого диаметра чулок; материалом для него могут служить: шелк, вискоза, рами (волокна китайской крапивы) и бумажная пряжа. 2) Связанный чулок обезжиривают щелочами, промывают к-той и окончательно отмывают от всех солей дистиллированной водой. 3) По окончании этих операций чулок центрифугируют и сушат. 4) Разрезанный на куски определенной длины подготовленный чулок опускают в ванну для пропитки солями. Растворы ванн состоят из солей тория, церия, бериллия, иногда хрома; для прочности прибавляют ничтожные количества азотнокислого алюминия и магния, иногда добавляют и борной кислоты. Рецептов для ванн имеется значительное число, но все они сводятся к отношению солей азотнокислого тория к азотнокислому церию, как 99 к 1. Примесь 1% азотнокислого бериллия необходима для прочности сеток и предохранения их от расширения при горении и от раздувания струей газа. 5) Пропитанный чулок отжимают на вальцах с большими предосторожностями, чтобы не произошло обеднения его солями, и сушат.

Дальнейшие операции приготовления К.с. из готового чулка следующие: чулок режут на куски нужной длины, головку сетки пропитывают особым закрепителем, затем сшивают асбестовой ниткой, из нее же делают ушко для последующей подвески. Подготовленную т. о. сетку-чулок обжигают на специальных газовых горелках под повышенным давлением, при чем все органич. части сгорают и остается скелет из окисей металлов, к-рыми сетка была пропитана. Скелет сетки формуется на других горелках под давлением газа ок. $^1/_3$ *atm*, при чем достигается полное устранение складок и сетке придается правильный диаметр. Обожженная сетка очень нежна и не м. б. упако-

вана в коробки для переноса или пересылки. Поэтому сетку предварительно покрывают специальным лаком, сушат, обрезают нижний конец и тогда уже упаковывают в коробки с небольшим количеством ваты или хлопка, предохраняющего сетку от сотрясения и возможного при этом разрушения.

Фабрикация калильных сеток представляет собою очень деликатное производство, и малейшая ошибка ведет к потерям или браку целых партий сеток. Напр., неудачно составленный лак для покрывания сеток, имеющий иной тепловой коэфф. расширения, чем остов сеток, приводит в полному разрушению последних при потреблении, после сжигания лака на горелках; малейшая примесь солей железа к промывным водам делает сетки несветящимися, и т. п.

Рецепт закрепителя для головки рекомендуется следующий: раствор 600 *г* азотнокислого алюминия, 600 *г* азотнокислого магния, 10 *г* хромовых квасцов, 40 *г* азотнокислого кальция и 10 *г* буры в 3 *кг* воды. Рецепт лака: 14 *г* целлюлозы, растворенной в 500 *г* серного эфира и 500 *г* безводного спирта с прибавкой 75 *г* касторового масла; к лаку рекомендуют прибавлять 20 *г* камфоры.

Зависимость силы света ауэровской сетки от %-ного содержания в ней основных солей характеризуется следующими цифрами:

% окиси тория	% окиси церия	Сила света в свечах
99,8	0,2	41
99,5	0,5	54
99,0	1,0	70
98,0	2,0	64
97,0	3,0	49
0	100,0	7

Многочисленные опыты применения более дешевых солей вместо редких металлов кончились неудачей. Хотя церий удавалось заменить солями хрома, платины и урана, но, в виду летучести их при белокалильном жаре, световой эффект был кратковременным. Торий можно было бы заменить магнезией, но, благодаря ее хрупкости, она неприменима.

В зависимости от системы фонаря или горелки, К. с. изготовляют разных размеров и разной степени прочности. Прочность зависит от различного плетения—ординарного, двойного или тройного—первоначальной ткани чулка К. с. Фабрики сеток различают ткани по числу петель и частоте их, определяя ткани по числу денье: для газовых сеток—от 70 до 100 денье, для прессгаза—150—200 денье и для керосинокалильных с давлением—до 300 денье. Для прессгаза и керосинокалильных фонарей с давлением можно с успехом применять необожженные чулки (вкладной лист, *3*), к-рые навязывают асбестовой нитью на магнезиальное или никелевое кольцо с лапками для подвеса на горелку.

Наиболее распространенными в СССР являются следующие размеры сеток (в *мм*):

Газовые			
Ауэр-Нормаль	100 × 30	Грецин-Нормаль	40 × 35
Керосинокалильные			
Россия 1350 св.	140 × 42	Самосвет № 0	140 × 60
» 1000 св.	150 × 35	» № 1	140 × 50
Автолюкс № 6	150 × 55	» № 2	115 × 38
» № 9	140 × 60	Симплекс 1000 св.	140 × 45
Метеор	90 × 35	Люкс	125 × 55
Спиртокалильные			
Амор	80 × 27	Синумбра	40 × 35
Вагонные			
Для горелок Пинча в 16 *л*	13 × 11		
» » » » 24 *л*	20 × 21		

Изготовлением калильных сеток в СССР занимается в настоящее время Торгово-промышленное акционерн. общество «Укрлюкс» в Москве.

Лит.: Ahrens F., Die Entwicklung d. hängenden Gasglühlichts, München, 1907; Böhm C., Die Fabrikation d. Glühkörper f. Gasglühlicht, Halle a/S., 1910.

А. Умов.

КАЛИНА, кустарник, Viburnum L., сем. жимолостевых; легко переносит затенение, пригодна как подлесок. Древесина К. тверда и идет на мелкие токарные изделия, чубуки, сапожные гвозди и пр. Известно до 80 видов, распространенных главн. образом в умеренном поясе северного полушария. Есть несколько садовых разновидностей К., напр. снежный ком (boule de neige), гордовина, зубчатая, китайская, кленолистная. Цветы и кора употребляются народной медициной. К. разводят черенками, семенами, отводками и отпрысками.

КАЛИЯ СОЕДИНЕНИЯ. Во всех своих соединениях калий одновалентен и образует бесцветный катион $K^{\cdot}$. В окрашенных солях калия окраска обусловлена анионом (напр. перманганата калия $KMnO_4$ или хлороплатината калия K_2PtCl_6). Радиус (сфера действия) иона калия в кристаллах типа хлористого натрия (см. *Кристаллы*) составляет, по Гольдшмидту, 1,33 Å. Ион калия относится, т. о., к самым крупным катионам (см. *Ионы*). В связи с этим находится и относительно слабая способность солей калия к образованию кристаллогидратов (см. *Комплексные соединения*). При слабом прокаливании соли калия не летучи, однако в пламени бунзеновской горелки они улетучиваются, окрашивая пламя в фиолетовый цвет. Соли калия б. ч. легко растворимы и относятся к сильным электролитам; сравнительно мало растворимы лишь хлорат, перхлорат, кислый тартрат и некоторые комплексные соли. Аналитическое определение калия производится: качественное—чаще всего осаждением иона $K^{\cdot}$ в виде кислой виннокислой соли, $C_4H_5O_6K$, или хлороплатината, $KPtCl_6$; количественное—весовым путем в виде хлороплатината или перхлората.

Окислы калия. С достоверностью известны окислы состава K_2O, K_2O_2 и K_2O_4. При горении калия в избытке кислорода образуется главным образом тетраокись, K_2O_4—желтое вещество, при растворении в воде выделяющее перекись водорода и кислород:

$$K_2O_4 + 2H_2O = 2KOH + H_2O_2 + O_2.$$

При недостатке кислорода образуется перекись калия, K_2O_2; при весьма медленном окислении калия теоретич. количеством кислорода м. б. получена окись калия, K_2O, в виде бесцветных кристалликов.

Гидрат окиси калия, KOH, см. *Едкое кали*.

Гидрид калия, водородистый калий, KH, получается действием водорода на металлич. К. при 400°, в виде прозрачных игол.

Нитрат калия, азотнокислый калий, калийная селитра, KNO_3, получается из азотнонатриевой соли, $NaNO_3$ (см. *Калийная промышленность*, *Селитра*); бесцветные кристаллы ромбич. системы, легко растворимые в воде (при 0°—11,5%; при 50°—46,1%; при 100°—71,1%); $t°_{пл.}$ 338°; уд. в. 2,11; твердость (по Мосу) 2. KNO_3 легко отдает кислород; на этом основано применение его для приготовления черного пороха (смесь из селитры, угля и серы), зажигательных фитилей, селитренной бумаги (зажигательная бумага при магниевой вспышке) и при приготовлении фейерверков; KNO_3 служит также консервирующим средством для пищевых продуктов (мяса).

Нитрит калия, азотистокислый калий, KNO_2, образует желтоватые кристаллы, расплывающиеся на воздухе, растворяющиеся в $^1/_3$ ч. воды, нерастворимые в спирте; $t°_{пл.}$ 297,5; уд. в. 1,92. Получается восстановлением расплавленной селитры металлич. свинцом или путем пропускания сернистого газа через нагретую смесь селитры и извести:

$$KNO_3 + CaO + SO_2 = CaSO_4 + KNO_2,$$

с последующим извлечением нитрита водой и упариванием раствора досуха. KNO_2 применяется для реакций диазотирования в красочной промышленности и в фотографии как сенсибилизатор.

Сульфат калия, сернокислый калий, K_2SO_4, в природе находится в минералах (глазерите, шенite, леоните, полигалите); кристаллизуется в гексагональной системе; белые ромбич. кристаллы; уд. в. 2,67; $t°_{пл.}$ ок. 1066°, уд. теплоемкость 0,196; теплота образования +345 Cal (по Томсону); растворимость в воде: при 0°—6,85%, при 10°—9,7%, при 50°—14,87%; при 100°—19,41%; теплота растворения с 400 молекулами воды при 18°—6,37 Cal. О получении и применении K_2SO_4 см. *Калийная промышленность*.

Бисульфат калия, кислый сернокислый калий, $KHSO_4$, получается из сульфата калия и серной к-ты в виде бесцветных кристаллов уд. в. 2,36, с $t°_{пл.}$ 210°. При прокаливании бисульфат разлагается, выделяя серную к-ту, сернистый газ и кислород; на этом свойстве основано применение его в лабораторной практике для очистки платиновой посуды. В техно-химических процессах он применяется иногда как водоотщепляющий агент.

Сульфит калия, сернистокислый калий, $K_2SO_3 \cdot 2H_2O$, бесцветные кристаллы горького вкуса, легко расплывающиеся в сыром воздухе, в спирте почти нерастворимые; получается пропусканием сернистого газа, SO_2, в раствор углекислого калия, K_2CO_3, или едкого кали, KOH, по уравнению:

$$2KOH + SO_2 = K_2SO_3 + H_2O.$$

В технике его получают в виде 45%-ного раствора из раствора KOH плотностью 50° Bé; в последний пропускают SO_2 до тех пор, пока ареометр не покажет 45° Bé, или пока фенолфталеин не перестанет окрашивать пробу раствора. Концентрированный раствор K_2SO_3 употребляется при печатании тканей в качестве протравы.

Бисульфит калия, кислый сернистокислый калий, $KHSO_3$, большие прозрачные кристаллы, легко растворимые в воде, почти нерастворимые в спирте; при нагревании и долгом хранении переходит частично в метабисульфит калия, $K_2S_2O_5$. Для получения бисульфита в кипящий раствор едкого кали или поташа вводят сернистый газ, SO_2, до тех пор, пока уд. в. раствора не достигнет 11,46; по охлаждении выкристаллизовывается $KHSO_3$. Применяется $KHSO_3$ при белении различных материалов (соломы, дубильных экстрактов), в крашении и печатном деле, т. к. он является сильным восстановителем.

Метабисульфит калия, пиросульфит калия, $K_2S_2O_5$, получается насыщением горячего раствора сульфита калия, K_2SO_3, сернистым газом, SO_2; по охлаждении выкристаллизовывается $K_2S_2O_5$ в виде белого твердого кристаллического порошка; $K_2S_2O_5$ растворяется медленно в воде, плохо в спирте и совсем не растворяется в эфире; применяется в фотографии (фиксаж и составление растворов проявителей) и в виноделии как консервирующее средство.

Персульфат калия, надсернокислый калий, $K_2S_2O_8$, получается путем электролиза насыщенного раствора бисульфата калия на аноде; катодной жидкостью служит разбавленная серная к-та. В присутствии фтористых соединений электролиз можно вести и без диафрагмы. Другой, чисто химич. способ основан на реакции двойного обмена между персульфатом аммония и сернокислым калием. $K_2S_2O_8$ образует большие бесцветные кристаллы, водный раствор к-рых медленно разлагается с выделением кислорода и образованием бисульфата калия:

$$K_2S_2O_8 + H_2O = 2KHSO_4 + O.$$

Персульфат калия находит применение в качестве окислителя; в фотографии он входит в состав магниевой вспышки и проявителей.

Сульфиды калия, сернистые соединения, получаются при насыщении KOH сероводородом (получается гидросульфид калия, KSH), при восстановлении сульфата калия K_2SO_4 углем (сернистый калий, K_2S) и сплавлением поташа с серой. Гидросульфид калия, сульфгидрат калия, KSH, при 415° плавится в подвижную желтую жидкость. При кипячении раствора KSH он выделяет сероводород и превращается в K_2S. Сернистый калий, K_2S, бесцветное тело, уд. в. 1,8, $t°_{пл.}$ 471°, растворим в воде и в спирте, применяется в фотографии при вирировании (для получения желтоватых тонов на бромосеребряных отпечатках). Кроме K_2S, существуют еще и полисульфиды калия: K_2S_3, K_2S_4 и K_2S_5, к-рые получаются при сплавлении KOH или K_2CO_3 с серой при различных $t°$; при кипячении K_2CO_3 или KOH с избытком серы (серным цветом) получается так называемая серная печень (смесь K_2S_5 с $K_2S_2O_3$), масса красно-коричневого цвета, растворяющаяся в воде; применяется в медицине для серных ванн.

Хлористый калий, KCl, в природе находится в минералах: карналлите, сильвините, каините, откуда и добывается (см. *Калийная промышленность*). KCl кристаллизуется из воды в прозрачных кубах; уд. в. 1,98, $t°_{пл.}$ 768°, $t°_{кип.}$ 1 415°; теплота плавления 86 Cal/*кг*; растворимость в воде: при

0°—28,5%; при 10°—32%; при 80°—51% и при 100°—56,6% KCl. Теплота растворения (1KCl + 200 H_2O)=4,4 Cal, электропроводность при 776°—2,24 мо-*см*. Применяется для получения других соединений калия и как удобрение (см. *Калийные соли*, удобрение).

Хлорноватистокалиевая соль, гипохлорит калия, KClO, получается пропусканием хлора в холодный раствор KOH; применяется в растворах как средство для беления (жавелевая вода). См. *Хлора соединения*.

Хлорноватокислый калий, хлорат калия, $KClO_3$, см. *Бертолетова соль*, *Хлора соединения*.

Перхлорат калия, $KClO_4$, см. *Хлора соединения*.

Хлороплатинат калия, K_2PtCl_6, см. *Платина*.

Бромистый калий, KBr, см. *Брома соединения*.

Иодистый калий, KJ, см. *Иода соединения*.

Фтористый калий, KF, получается действием плавиковой к-ты, HF, на едкое кали или на поташ в платиновом сосуде, а также прокаливанием кислой соли $KF \cdot HF$. Белые кристаллы, весьма гигроскопичные, расплывающиеся на воздухе. Раствор имеет щелочную реакцию (см. *Гидролиз*) и выделяет при упаривании ($t°$ ниже 40°) гидрат состава $KF \cdot 2\,H_2O$. Помимо нейтральной, известны также кислые соли, представляющие соединения KF с одной, двумя или тремя молекулами HF.

Силикат калия, калиевое растворимое стекло, кремнекислый калий, получается сплавлением кварцевого песка с поташом и углем и поступает в продажу либо в виде твердых стекловидных кусков либо в виде раствора крепостью 30—33° Bé. Средний состав его—между ф-лами $K_2SiO_3 \cdot 3\,SiO_2$ и $K_2SiO_3 \cdot SiO_2$. С небольшим количеством воды силикат набухает в желатиноподобную массу, затвердевающую через несколько дней; из водного его раствора углекислота выделяет кремнезем. Силикат калия служит наполнителем при изготовлении искусственных камней и в мыловарении, для утяжеления шелка, как протрава при крашении, для пропитки дерева и тканей с целью предохранения их от огня и гниения, в живописи (стереохромия), для изготовления лепных архитектурных украшений и т. п.

Перманганат калия, марганцовокислый калий, $KMnO_4$, см. *Марганца соединения*.

Тартрат калия, виннокислый калий, см. *Винные кислоты*.

Хромовокислый калий и двухромовокислый калий, см. *Хрома соединения*.

Углекислый калий, карбонат калия, K_2CO_3, см. *Поташ*.

Бикарбонат калия, двууглекислый калий, кислый углекислый калий, $KHCO_3$, получается действием углекислоты на раствор поташа при 60°; процесс протекает особенно быстро в присутствии древесного угля: $KHCO_3$ образует прозрачные кристаллы, легко растворимые в воде; в 100 ч. воды растворяется: при 0°—19,61 ч., при 20°—26,91 ч. и при 50°—37,92 ч. $KHCO_3$; на воздухе $KHCO_3$ устойчив, а при нагревании теряет углекислоту и переходит в K_2CO_3.

Лит.: Ост Г., Химическ. технология, Л., 1927; Герценберг И., Экспорт химическ. продуктов из СССР, «Журн. хим. пром.», М., 1928, т. 5, *5-6*; Ullm. Enz.; Handbuch d. anorg. Chemie, hrsg. v. R. Abegg u. Fr. Auerbach, B. 1, Lpz., 1908; Mellor, A Comprehensive Treatise on Inorganic and Theoretical Chemistry, vol. 2, L., 1927; Gmelin-Kraut's, Handbuch d. anorg. Chemie, 7 Auflage, Heidelberg, 1905—26.

КАЛОМЕЛЬ, см. *Ртути соединения*.

КАЛОРЕСЦЕНЦИЯ, см. *Люминесценция*.

КАЛОРИМЕТРИЯ, отдел физики, занимающийся измерением тепловых эффектов (количеств тепла). Приборы, к-рыми пользуются для этих измерений, называются калориметрами. Обычный «нагревательный» калориметр представляет собою сосуд (вместимостью 1—3 *л*), окруженный для уменьшения теплообмена с окружающей средой несколькими «воздушными оболочками». Это достигается помещением его внутри нескольких больших сосудов. Калориметрич. сосуды делаются, по Томсену—Бертело—Оствальду, из полированного металла (посеребренной латуни), при чем в наружную оболочку наливается вода для поддержания возможно более постоянной $t°$. Нернст и Шоттки ввели в употребление, гл. обр. для измерения термохимич. эффектов (теплот растворения, нейтрализации и т. д.), калориметр из 2—3 вставленных друг в друга тонкостенных стеклянных стаканов. Вводимое в калориметр количество тепла Q повышает его $t°$ на Δt, при чем если полная теплоемкость калориметра, его водяной эквивалент (Wasserwert, valeur en eau),— K cal/град., то

$$Q = K \cdot \Delta t\,. \qquad (1)$$

При этом Q подбирается (когда это возможно) таким, чтобы Δt составляло 1—3°. Нагреваемым (калориметрическим) веществом в таких калориметрах служит обычно вода или другая жидкость, наливаемая во внутренний сосуд. Изменение $t°$ калориметра определяется термометром, обычно ртутным, на малый $t°$-ный интервал с делениями в $^1/_{50}$ или $^1/_{100}°$ (удобны термометры Бекмана с переменным интервалом в 5—6°). В последнее время все чаще пользуются электрич. термометрами сопротивления или термоэлементами с большим числом спаев, при чем можно учитывать изменения $t°$ в 10^{-4} и до $10^{-6}°$, тогда как наибольшая точность учета изменений $t°$ при помощи ртутных термометров составляет 0,002—0,001°. Водяной эквивалент калориметра K или количество тепла, потребное для нагревания на 1° всей арматуры калориметра + всей калориметрической жидкости, можно определить взвешиванием отдельных частей калориметра. Зная удельную теплоемкость материала каждой части, найдем:

$$K = K_0 + Mc\,, \qquad (2)$$

где $K_0 = m_1c_1 + m_2c_2 + \ldots = \Sigma\, m_ic_i$.
Здесь K_0—водяной эквивалент арматуры, M, c—масса и теплоемкость калориметрич. жидкости (в случае воды $c=1$), m_i и c_i— масса и теплоемкость отдельных частей арматуры. При этом в больших калориметрах $M \geqslant 1\,000$, и потому нек-рые части арматуры,

мало влияющие на величину K (напр. термометр), могут не приниматься в расчет. Вычисление водяного эквивалента термометра вызывает вообще затруднения. У хороших калориметрич. термометров (напр. изготовленных Baudin и Tonnelot в Париже) вес ртути обозначается на самом термометре. В сплошных термометрах (с наружными делениями на толстостенном капилляре) вычисления облегчаются тем, что теплоемкости 1 $см^3$ стекла и ртути приблизительно одинаковы; измеряя объем V погруженной в жидкость части такого термометра, найдем, что его водяной эквивалент равен 0,46 V. Вообще же лучше всего определять водяной эквивалент калориметра при данной арматуре, вводя в него точно известное количество тепла и измеряя вызванное этим повышение темп-ры Δt. По ур-ию (2)

$$Q = (K_0 + Mc)\,\Delta t, \qquad (3)$$

откуда, если Q—известно,

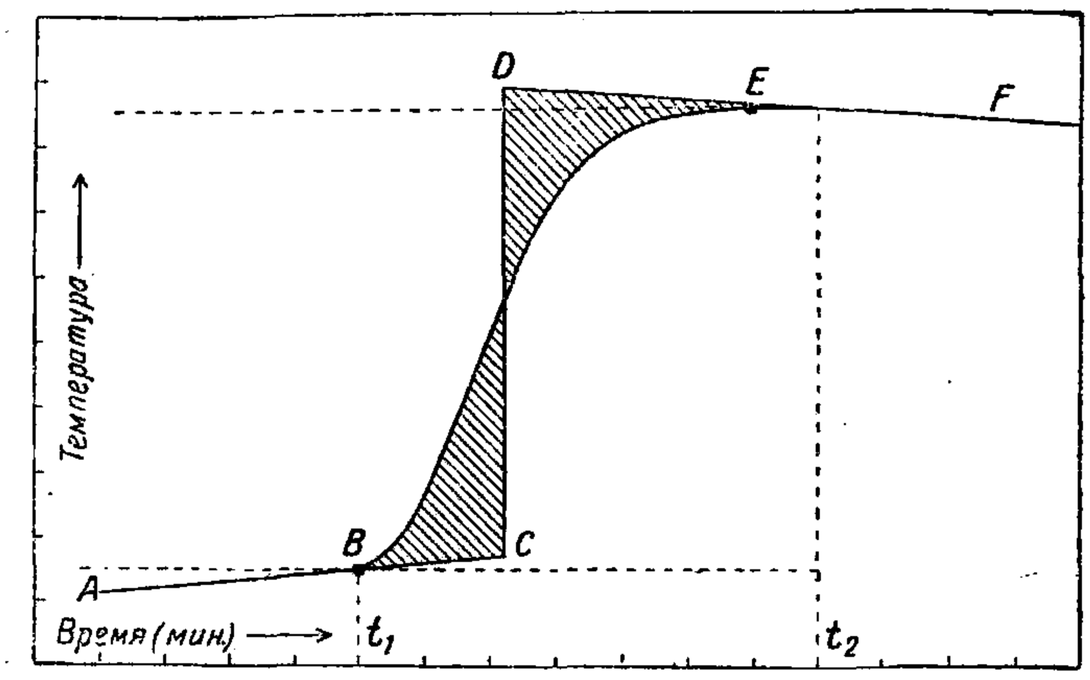
$$K_0 = \frac{Q}{\Delta t} - Mc\,. \qquad (4)$$

Введение определенного количества тепла, т. е. градуировка калориметра, м. б. произведено тремя способами. 1) При помощи какого-либо тела (т. н. калорифера) известной теплоемкости и массы (c_1, m_1), нагреваемого до определенной $t° = \theta$ и затем помещаемого в калориметр; тогда $Q = m_1 \cdot c_1 \cdot (\theta - t_1)$, где t_1—конечная $t°$ калориметра, находимая по $t°$-ному ходу, т. е. с поправкой на теплообмен (см. далее). Так, для грубого определения K_0 можно воспользоваться приливанием в калориметр подогретой воды. 2) При помощи хорошо изученной химич. реакции; так, напр., часто определяют K_0 калориметра калориметрич. бомбой, сжигая в ней навеску сахара ($C_{12}H_{22}O_{11}$), для к-рого тепло сгорания с большой точностью определено Ричардсом ($q = 3\,951{,}5$ cal/$г$), или бензойной к-ты ($q = 6\,324{,}5$ cal/$г$ при взвешивании в воздухе). 3) Наиболее удобным и точным является электрич. способ определения водяного эквивалента K_0 калориметра. Для этого через спираль тонкой проволоки из материала с высоким сопротивлением и весьма малым $t°$-ным коэфф-том удельного сопротивления (из манганина или нейзильбера) пропускают электрич. ток силой I в течение определенного времени τ; падение потенциала E в спирали при этом измеряют точным вольтметром, вводя поправку на силу тока, ответвляющегося в вольтметр $\left(\frac{E}{R}\right.$, где R—сопротивление вольтметра). Тогда вводимое в калориметр количество тепла Q будет равно $E\left(I - \frac{E}{R}\right) \cdot \tau \cdot 0{,}2389$ cal.

Основной задачей К. является определение Δt—истинного скачка $t°$, отвечающего выделяемому в калориметре количеству тепла. Чтобы при этом исключить влияние теплообмена с окружающей средой, измеряют (фиг. 1) ход $t°$ калориметра до выделения тепла (AB), во время него (BE) и после его окончания (EF), измеряя $t°$ через каждые $^1/_2$—1 мин. (на фиг. 1 изображена типичная форма этих ходов). Представляя эти три периода графически, определяют на графике же $\Delta t\,(= CD)$, для чего часто бывает достаточно экстраполировать прямую 1-го и 3-го периода и брать разность их ординат для середины среднего периода. Т. к. этот простой способ подсчета может вызвать при нахождении Δt ошибку в 1—3%, давая обычно несколько большее число, то при более точных измерениях пользуются Ньютоновым законом для кинетики охлаждения:

$$\frac{dt}{dz} = a\,(t - t_0),$$

где z—время, a—константа, t, t_0—темп-ры калориметра и окружающей среды. Егер и Штейнвер, а также Рот дали удобные методы таких более точных подсчетов. Вполне возможно, однако, вовсе исключить теплообмен, простым способом, удобным и при технич. измерениях. Этот способ, состоящий в электрич. определении водяного эквивалента калориметра для каждого $t°$-ного скачка, был впервые предложен У. Фишером для термохимич. измерений и м. б. назван электрокомпенсационным способом. Он состоит в том, что в течение того же промежутка времени, к-рый соответствовал измеряемому $t°$-ному скачку, в калориметр вводят электрически вполне определенное количество тепла (см. выше), подбирая силу тока

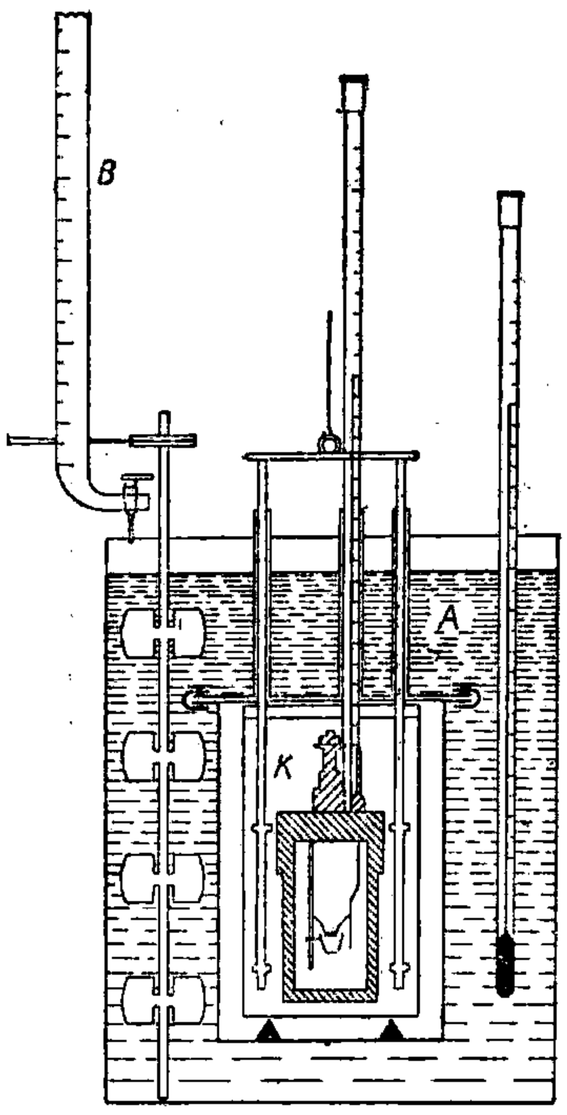


Фиг. 1.

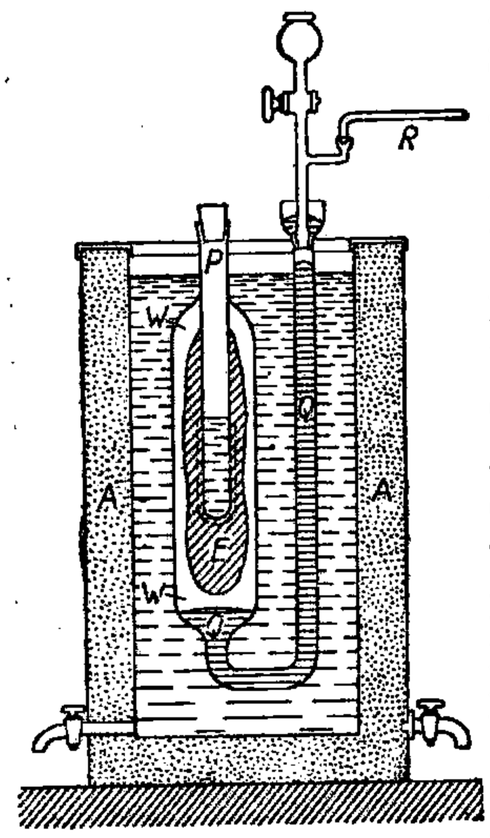
так, чтобы был вызван скачок $t°$, возможно более близкий к измеряемому. Строя целую шкалу таких скачков (напр. через 0,01°), каждому из к-рых отвечает известный тепловой эффект, легко найти тепло, выделенное в любом опыте, т. к. калориметр теперь уже проградуирован; при этом не только исключается теплообмен, но и термометр играет роль только как бы нулевого инструмента (абсолютные значения делений шкалы термометра м. б. неизвестными).

Кроме нагревательного калориметра, употребляются адиабатические и изотермические калориметры. Принцип адиабатического калориметра Гольмана-Ричардса (Holman-Richards) состоит в том, что во все время работы калориметра в наружной водяной оболочке поддерживается та же $t°$, что и внутри калориметра, чем и исключается теплообмен с окружающей средой. Это достигается, напр., тем, что в наружной оболочке, окружающей калориметр (фиг. 2) по возможности со всех сторон, вызывают химич. реакцию, выделяющую тепло (напр. нейтрализация слабого раствора щелочи к-той, приливаемой из бюретки B), или пропускают электрич. ток, регулируя это компенсирующее выделение тепла соответственно с ходом $t°$ внутри калориметра, т. е. следя

чтобы $t°$ внутри калориметра K и в оболочке A были возможно более близкими. Подобные калориметры служили Ричардсу для весьма точных измерений. Изотермические калориметры особенно удобны тем, что в них выделение тепла происходит при постоянной $t°$. Эту же $t°$ имеет и внешняя оболочка калориметра, и, так. обр., принципиально теплообмен м. б. вовсе исключен. Поэтому изотермич. калориметры пригодны особенно для измерения медленно протекающих тепловых эффектов (при медленных процессах). Изотермические калориметры обычно бывают основаны на явлениях скрытой теплоты перехода из одного аггрегатного состояния в другое. Так, в наиболее часто применяемом при точных измерениях ледяном калориметре Германа-Бунзена, работающем при 0° С, внутренний сосуд (тонкостенная пробирка P) окружается водой W (фиг. 3), и на его внешних стенках при помощи вводимой внутрь холодильной смеси намораживается слой льда E. Измеряемое тепло выделяется во внутренней пробирке P и идет на расплавление части льда; при этом происходящее во внешнем сосуде W изменение объема системы вода+лед измеряется по перемещению замыкающего сосуд W ртутного столбика Q в капилляре R или по изменению веса ртути в чашке, в к-рую погружен конец этого капилляра (при этом, по Бену, 1 cal отвечает 0,01546 $г$ ртути). Весь калориметр помещается в ящик A, наполненный чистым снегом или толченым льдом, служащий внешней оболочкой с той же $t°$. Несмотря на это, практически оказывается необходимым и в ледяном калориметре принимать во внимание малый непрерывный ход ртутного столбика в капилляре. На таком же принципе устраиваются и менее употребительные паровые калориметры.



Фиг. 2.

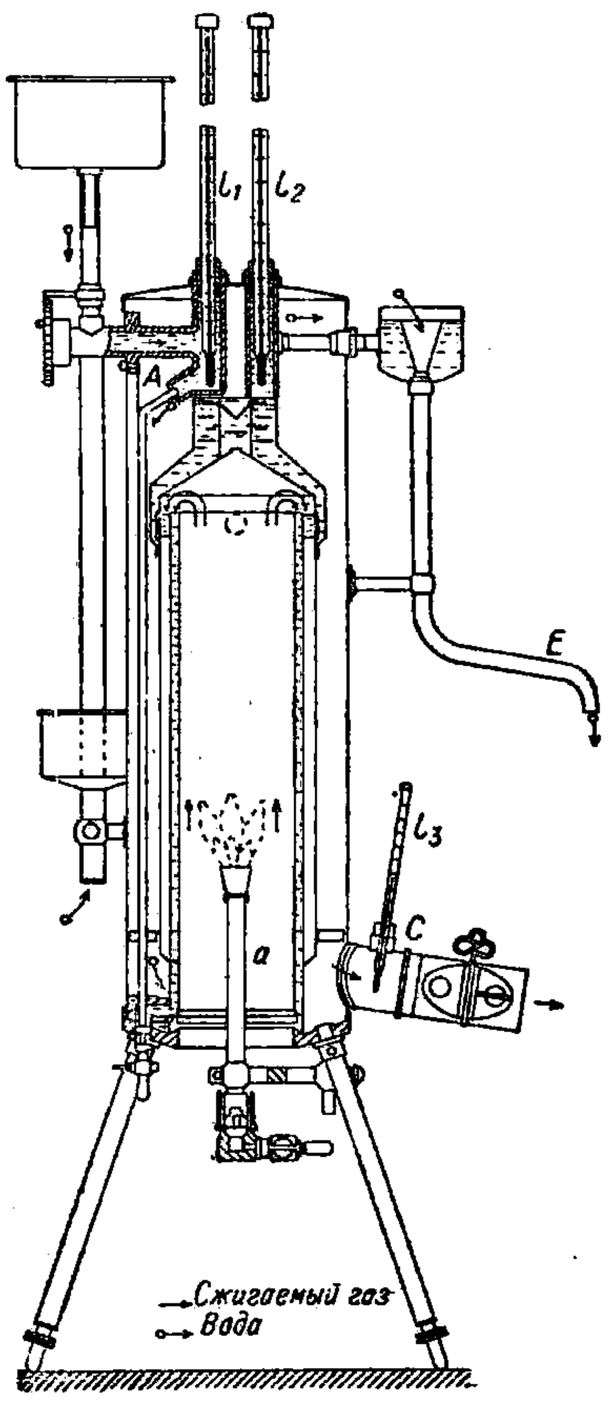


Фиг. 3.

Калориметры технические. В технике калориметрами пользуются б. ч. для определения теплотворной способности горючего и калорийности пищи, т. е. для определения теплоты горения соответствующих веществ. При этом навески твердых и жидких веществ сжигаются в т.н. калориметрич. бомбе (помещаемой в воду калориметра), в замкнутом пространстве, наполненном кислородом под высоким давлением в 20—25 atm. Вместо обычной бомбы Бертело (Лангбейна, Малера, Крекера—см. *Бомба калориметрическая*) теперь распространено применение такой же бомбы Рота, сделанной из нержавеющей крупповской стали (V2A). Рот рекомендует делать также внутреннюю оболочку из серебра, бромированного с поверхности (т. е. из AgBr). Применяются и микробомбы с внутренним объемом в 20 $см^3$.

Чтобы не пользоваться для сжигания газообразным кислородом под высок. давлением, Парр смешивает с сжигаемым веществом избыток сильно действующего окислителя—перекиси натрия (Na_2O_2) в порошке. Этот метод применяется гл. обр. для определения теплотворн. способности углей. Горючая смесь помещается прямо на дно цилиндрич. бомбочки, помещаемой в водяном калориметре (2 $л$ воды) и являющейся одновременно мешалкой. Воспламенение смеси совершается раскаленным железным стерженьком, вводимым в бомбу через специальный клапан. Водяной эквивалент одинаков для всех выпускаемых в продажу приборов: $K_0 = 123{,}5$ cal/град.

Для определения теплоты горения (теплотворной способности) горючих газов обычно применяется калориметр Юнкерса. Газ, средняя установившаяся скорость вхождения которого в аппарат v $л/мин$, точно измеряется лабораторным *газомером* (см.), сжигается в горелке Бунзена a (фиг. 4). Продукты сгорания, проходя через прибор, отдают полностью развивающееся при сгорании тепло (для контроля служит термометр l_3 у выхода) воде, к-рая протекает в обратном току газов направлении, поступая в A и вытекая через E; установившаяся $t°$ воды при входе и выходе измеряется термометрами l_1 и l_2 (с делениями в $^1/_{10}°$). Если скорость течения воды w $г/мин$, а установившаяся разность $t°$ между l_2 и l_1 равна Δt, то теплотворная способность газа



Фиг. 4.

$$Q = \frac{w \cdot \Delta t}{v} \text{ cal}/л.$$

Если для более точного подсчета учесть количество конденсирующейся при сгорании газа воды (n $г/мин$) и водяной эквивалент калориметра K (обычно малый), то, приводя к литру газа, измеренного при 0° и 760 $мм$ ртутного столба, получим:

$$Q = \frac{(w+K) \cdot \Delta t - 0{,}6\,n}{v} \cdot \frac{273+t}{273} \cdot \frac{760}{p},$$

где t и p—темп-ра и давление поступающего горючего газа. Для определения K при точ-

ных измерениях, калориметр градуируется сжиганием в нем сухого чистого водорода; при этом на 18,016 *г* образующейся воды выделяется 68 340 cal. Т. к. величина K мала, обычно можно считать, что, при постоянном отношении $\frac{w}{v}$ скоростей газа и воды, Q всегда пропорциональна Δt. При этом оба термометра l_1 и l_2 можно заменить одной термопарой, показания к-рой (в mV или прямо в cal/*г*) могут передаваться на регистрирующий аппарат. На таком же принципе основан применяющийся в С. Ш. А. калориметр Бойса.

Лит.: Лугинин В. Ф. и Щукарев А. Н., Руководство к калориметрии, М., 1905; его же, Описание различных методов определения теплот горения органич. соединений, М., 1894; Хвольсон О., Курс физики, т. 3, Берлин, 1923; Nernst W., «Ztschr. f. physikalische Chemie», Lpz., 1888, B. 2; Arndt K., Handbuch d. physik.-chemischen Technik für Forscher u. Techniker, 2 Aufl., Stg., 1923; White P. W., The Modern Calorimeter, New York, 1928; Berthelot M., Thermochimie, t. 1—2, P., 1897; Fischer U., «Ztschr. f. anorgan. u. allgem. Chemie», Lpz., 1905, B. 52, p. 551, B. 59, p. 552; Roth W. A., «Ztschr. f. Elektrochemie», Halle a/S., 1910, B. 16, p. 654, 1911, B. 17, p. 789; Fischer E. u. Wrede Fr., «Ztschr. f. physik. Chemie», Lpz., 1909, B. 69, p. 218; Schottky H., ibid., 1913, B. 86, p. 425; Nernst W. u. Lindemann, «Sitzungsberichte d. Königl. Preuss. Akademie d. Wissenschaften zu Berlin», Berlin, 1910; Magnus A., «Physikalische Ztschr.», Lpz., 1913, Jg. 14; Eucken A., ibid., 1909, Jg. 10, p. 586; Cohen E. u. Moesveld A. L. Th., «Ztschr. f. physik. Chemie», Lpz., 1920, B. 95, p. 305; Richter, «Ztschr. f. Instrumentenkunde», B., 1912, B. 32, p. 177, 234; Junkers, ibid., 1895, B. 15, p. 408; Roth W. A., «Ztschr. f. Elektrochemie», Leipzig, 1924, B. 30, p. 417, 607; «Lieb. Ann.», 1915, B. 407, p. 134; Wartenburg u. Husen, «Z. ang. Ch.», 1925, Jg. 38, p. 184; Parr, «Journ. Amer. Chem. Soc.», Wsh., 1900, v. 22, p. 646, 1902, v. 24, p. 167, 1907, v. 29, p. 1606, 1915, v. 37, p. 2515.

П. Ребиндер.

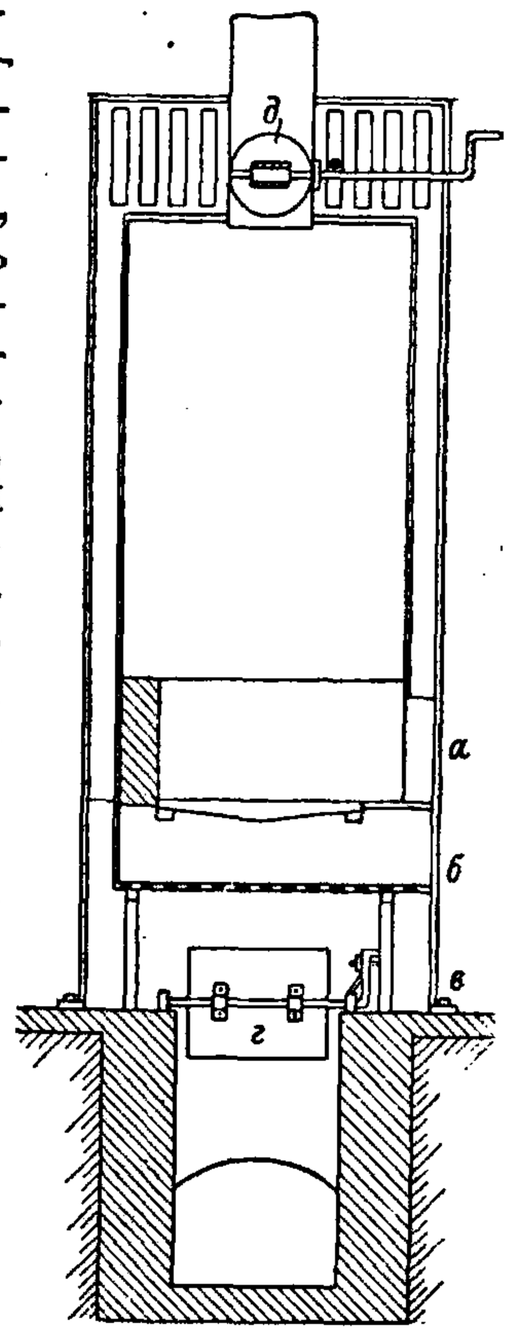
КАЛОРИФЕР, прибор для нагревания воздуха, применяемый для целей отопления, вентиляции и сушки. Принцип устройства К. заключается в нагревании воздуха при его движении около горячих стенок каналов или труб, внутри к-рых движется горячая среда. Такой средой служат раскаленные продукты горения, пар или горячая вода, в зависимости от чего К. делятся на огневые, паровые и водяные.

Теплота передается от горячей среды воздуху через стенку двояким образом: 1) непосредственным соприкасанием воздуха с горячими стенками и 2) лучеиспусканием. Лучеиспусканием выделяется довольно значительная часть тепла, но т. к. вся система каналов или труб заключена в кожух, то это тепло не рассеивается в наружное пространство, а используется внутри камеры или кожуха для нагревания воздуха, чем повышается полезное действие прибора.

Огневые К.

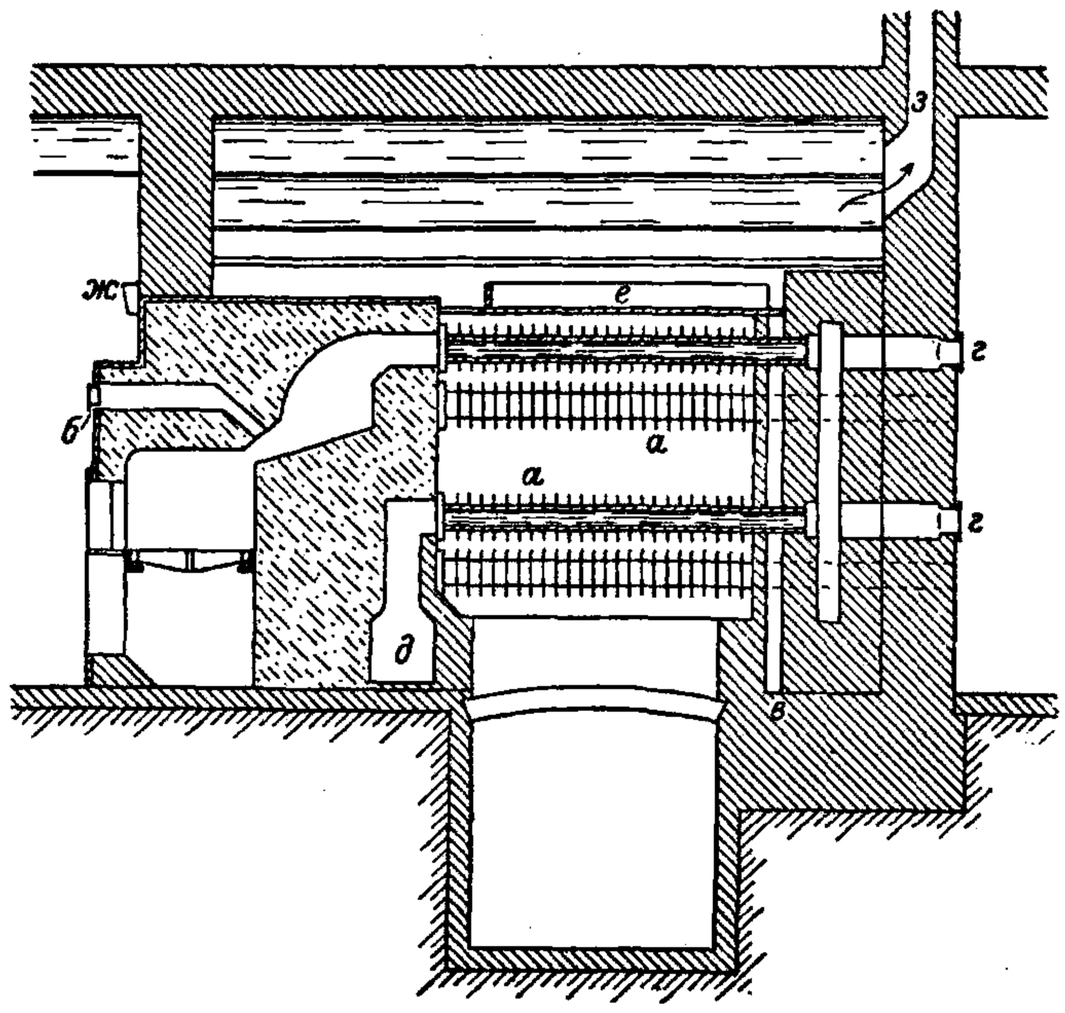
В общем случае огневые К. представляют собою печь с обыкновенным топливником, откуда горячие газы проходят через систему каналов или труб, а затем удаляются в дымовую трубу. Каналы или трубы расположены на нек-ром расстоянии друг от друга и заключены в общий футляр или кожух, образуя замкнутое пространство. Нагреваемый воздух входит в кожух через отверстия, сделанные снизу, нагревается и уходит через верхние отверстия по отводным трубам. Передвижение воздуха происходит благодаря уменьшению веса единицы его объема при нагревании, что заставляет воздух двигаться вверх. Нагревательные каналы или трубы, а также кожухи делаются металлич. или кирпичные. По этому принципу различают К.: 1) малой теплоемкости, имеющие металлич. нагревательные поверхности, и 2) большой теплоемкости, с кирпичными нагревательными поверхностями.

1. Огневой К. малой теплоемкости (фиг. 1) представляет собою тип комнатного чугунного К. для топки каменным углем: *а*—топочн. дверцы, *б*—дверцы зольника, *в*—дверцы, открываемые тогда, когда хотят продолжать топку без возобновления воздуха, *г*—заслонка (клапан), для закрывания отверстия, доставляющего свежий воздух через подпольный канал, *д*—заслонка для закрывания печи по окончании топки. Топливник имеет кирпичную облицовку, во избежание сильного раскаливания стенок. Кпд таких К. крайне мал, так как раскаленные топочные газы быстро уходят через трубу наружу, нагревая только тонкую металлическую стенку с незначительной теплоемкостью.



Фиг. 1.

Камерный К. с металлич. ребристыми трубами и кирпичным кожухом представлен на фиг. 2: *а*—дымовые каналы из чугунных ребристых труб, *б*—канал для дополнительного впуска воздуха, *в*—прослойка песка для более плотн. соединения труб с кладкой, *г*—вычистные дверцы,

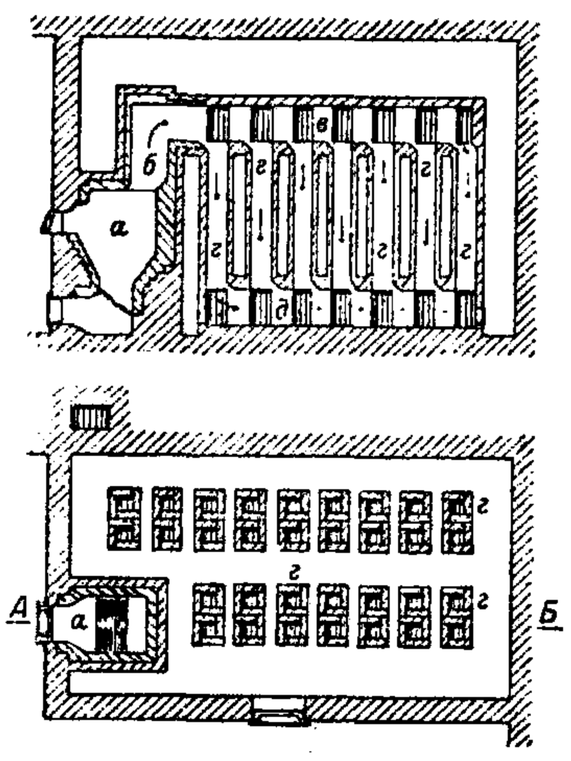


Фиг. 2.

д—боров в дымовую трубу, *е*—сосуд для увлажнения воздуха, *жс*—воронка для наполнения сосуда, *з*—хайло жарового воздушного канала. Концы труб, прилегающие к топ-

ливнику, укреплены чугун. обделкой, другие концы входят в отверстия, оставленные в кирпичной стенке опускного дымохода, и могут перемещаться при нагревании и охлаждении. Этот К. имеет значительные кирпичные массы и относится к К. с большей теплоемкостью, чем чисто металлические. Главным недостатком такой конструкции является применение разнородных материалов—металла и кирпича, к-рые, вследствие различных коэфф-тов расширения, при больших $t°$ дают всегда неплотные соединения. Кроме того, на металлич. нагревательных поверхностях при $t°$ 120—150° и выше пригорает пыль, благодаря чему образуется угар и нагреваемый воздух приобретает специфический запах.

2. Огневые К. большой теплоемкости. Нагревание до высокой $t°$ металлич. каналов или труб в К., слабая способность этих К. аккумулировать тепло и неплотности в соединениях послужили причиной, заставившей заменить металлич. поверхности каналов кирпичными. Один из лучших типов таких К., проф. Лукашевича, представлен на фиг. 3. Он состоит из объемистого топливника *а*, над к-рым устраивается один восходящий дымоход *б*; продукты горения по этому дымоходу поступают в верхний горизонтальный распределительный канал *в*, откуда они спускаются по вертикальным каналам (колодцам) *г*; колодцев делается такое количество, чтобы площадь их стенок дала потребную нагревательн. поверхность. Пройдя вниз через колодцы, продукты горения попадают в нижний горизонтальный сборный канал *д*, из которого они уходят в дымовую трубу. Между вертикальными дымовыми ходами оставлены проходы для циркуляции нагреваемого воздуха, поступающего внутрь духового пространства извне через нижнее отверстие. Для выхода нагретого воздуха вверху духового пространства делают каналы, соединенные с разводящими нагретый воздух трубами. Стенки топливника делают толщиной в $1^1/_2$ кирпича, восходящего дымохода—в 1 кирпич. Топливник и первый дымоход облицовывают огнеупорным кирпичом. Стенки верхнего горизонтального дымохода опускных дымоходов, как и нижнего горизонтального канала, имеют толщину в $^1/_2$ кирпича и складываются из двух рядов в перевязку. Наружные поверхности как горизонтальных, так и вертикальных каналов штукатурят или смазывают белой глиной. Горизонтальные и вертикальные отдельные дымоходы облицовывают иногда листовым железом, при чем стенки вертикальных каналов в этом случае делают лишь в $^1/_4$ кирпича. Опускные дымоходы делают внутри квадратного сечения, по 20 *см* в стороне, в 1, 2 и 4 таких



Фиг. 3.

канала каждый. Дымоходы снабжены достаточным числом вычистных двойных плотных дверец, расположенных так, чтобы было легко и удобно чистить все внутренние части калорифера. Расстояние между дымоходами в одном продольном ряду берется в $^1/_2$ кирпича, для возможности перекрыть его целым кирпичом.

При проектировании огневых К. следует делать их компактными, не допускать нагрева нагревательных поверхностей до слишком высокой $t°$ и добиваться возможно полного их омывания нагреваемым воздухом. Конструкция К. должна допускать беспрепятственное расширение отдельных его частей, вызываемое изменением $t°$; число стыков д. б. возможно меньшим. Все части д. б. легко доступны для осмотра, ремонта и допускать полную очистку приборов от пыли. Удаление сажи и золы должно производиться вне духовой камеры. Для удобства эксплоатации желательно применение наполнительных конусов, допускающих загрузку топлива на несколько часов и автоматич. регулирование горения. Необходима полная гарантия непроникания продуктов горения в духовую камеру, т. к. окись углерода, попавшая в нагреваемый воздух, может вызвать отравление людей. Кроме того, необходимо ставить К. в подвале или в нижнем этаже, т. к. теплый воздух имеет стремление двигаться вверх; в горизонтальном направлении воздух может двигаться при этом на ограниченное расстояние. Поэтому горизонтальные разводящие трубы (каналы) не д. б. длиннее 6 *м*, и лишь при тщательной изолировке разводных каналов длина их для третьего и верхних этажей может доходить до 12 *м*.

Расчет огневых К. Для расчета К. необходимо определить количество теплоты, потребное для нагревания воздуха, и размеры нагревательных приборов.

Количество теплоты в Cal, необходимое для нагревания L *м*^{3} воздуха на 1°:

$$\omega = \frac{L}{1+\alpha t} \cdot 1{,}293 \cdot 0{,}2375\,,$$

где $\frac{L}{1+\alpha t}$ — объем воздуха L данной $t°$, приведенный к 0° ($\alpha = \frac{1}{273}$ — коэфф. расширения воздуха), 0,2375—теплоемкость 1 *кг* воздуха в Cal, 1,293—вес 1 *м*^{3} сухого воздуха в *кг* при 0° и барометрич. давлении 760 *мм*. При нагревании от данной темп-ры t до темп-ры t_1'', потребуется тепла

$$W = \frac{0.306\,L}{1+\alpha t}(t_1'' - t)\ \text{Cal}.$$

Нагревательные поверхности рассчитывают на основании законов теплопередачи. Теплопередача от одной среды к другой через разделяющую стенку может быть вычислена из уравнения:

$$F_1 \cdot k_1 (t' - t_{вн.}) = \frac{F_1 + F_2}{2}(t_{вн.} - t_{нар.})\frac{\lambda}{l} - F_2 \cdot k_2 (t_{нар.} - t'')\,,$$

где F_1 и F_2—площади внутренней и наружной поверхностей в *м*^{2}, t'—средняя темп-ра нагревающей среды, $t_{вн.}$ и $t_{нар.}$ — средние темп-ры поверхностей разделяющей стенки, t''—средняя темп-ра нагреваемого воздуха, k_1 и k_2—коэфф-ты теплопередачи внутрен-

ней и наружной поверхностей стенки в Cal/$м^2$час°С, λ—внутренняя теплопроводность разделяющ. стенки в Cal·$см/м^2$час°С, l—толщина стенки в $см$; при плоских стенках $F_1=F_2$. В практике обычно пользуются упрощенной ф-лой:

$$W = F \cdot k\,(t' - t''),$$

где W—количество тепла в Cal/час, передающееся через стенку нагреваемому воздуху в час, k—коэфф. теплопередачи стенки в Cal/$м^2$час°С, t' и t''—средние темп-ры нагревающей среды и нагреваемого воздуха. Эти темп-ры получаются из начальных темп-р t_0' и t_0'' и конечных t_1' и t_1'' как средние арифметические, т. е.

$$t' = \frac{t_1' + t_0'}{2} \text{ и } t'' = \frac{t_1'' + t_0''}{2};$$

для определения же поверхности нагрева (в $м^2$) получим выражение:

$$F = \frac{W}{k\left(\frac{t_1' + t_0'}{2} - \frac{t_1'' + t_0''}{2}\right)}.$$

1) Расчет огневых К. малой теплоемкости с металлич. нагревательными поверхностями. Определение размеров металлич. нагревательных труб для К. малой теплоемкости ведется на основании экспериментальных данных, при чем считают, что теплоотдача k_0 с 1 $м^2$ поверхности металлич. ребристых труб равна 1 200÷1 500, а металлическ. гладких труб—1 500÷2 000 Cal/час. Диаметры этих труб делают равными 150÷200 $мм$. Если W—количество тепла, потребное в час для нагревания воздуха, то необходимая нагревательная поверхность F металлич. труб, напр. гладких труб с отдачей в 2 000 Cal/час на 1 $м^2$, равна (в $м^2$):

$$F = \frac{W}{k_0} = \frac{W}{2\,000}.$$

Для получения количества теплоты, затраченной топливом, нужно величину W разделить на произведение кпд нагревательных поверхностей на коэффициент совершенства горения в топке, равный 0,50—0,80, в зависимости от разных условий. Расчет топок см. *Топки*.

2) Расчет огневых К. большой теплоемкости для целей отопления производится на максимальную часовую потерю тепла внешними ограждениями отапливаемых помещений.

Определив все теплопотери, равные $W_{расч.}$, приступают к расчету нагревательной поверхности К. Она вычисляется по ф-ле

$$F = \frac{W_{расч.}}{k_0},$$

где F—поверхность нагрева К. в $м^2$, а k_0—коэфф. теплоотдачи К., равный $k\,(t'—t'')$. На практике принимают, что 1 $м^3$ массива К. аккумулирует (при одной топке в сутки) ~30 000 Cal; к этому количеству добавляется 20%, т. е. 6 000 Cal, за счет аккумуляции стенками камеры и стенками жаровых каналов; следовательно, принимают на 1 $м^3$ массива 36 000 Cal, к-рые выделяются К. при его действии в течение суток. Можно считать также, что на 1 $м^2$ поверхности нагрева К. приходится по 0,15 $м^3$ массива и, при одной топке в сутки, можно принять k_0—теплоотдачу 1 $м^3$ К. в час равной 240 Cal; на каждые 0,01 $м^3$ разницы в массиве К. прибавляют или убавляют по 10 Cal. На основании этих данных определяют нагревательную поверхность К. и затем выбирают подходящую конструкцию. Высоту К. с вертикальными колодцами принимают 2,5÷3,0 $м$. Нагревательную поверхность колодцев практически определяют из высоты К. h, периметра каждого колодца p и числа колодцев n, так что

$$F = p \cdot h \cdot n;$$

топливник с первым ходом принимается за один колодец и входит в число n. Вычислив количество колодцев и их размеры, получают общий размер массива К., равный V $м^3$. Количество аккумулированного за сутки тепла при этом будет равно $V \cdot 30\,000$ Cal. При часовом расходе тепла $W_{расч.}$ Cal/час этого запаса тепла хватит на $\frac{V \cdot 30\,000}{W_{расч.}}$ час. Если, кроме расхода тепла в помещениях, необходимо подогревать холодный наружный воздух, для чего потребуется за сутки $24\,W_{возд.}$ Cal, то запаса тепла в К. хватит на $\frac{V \cdot 30\,000 - 24\,W_{возд.}}{W_{расч.}}$ час. Количество топлива B (в $кг$), сжигаемого в топливнике в час:

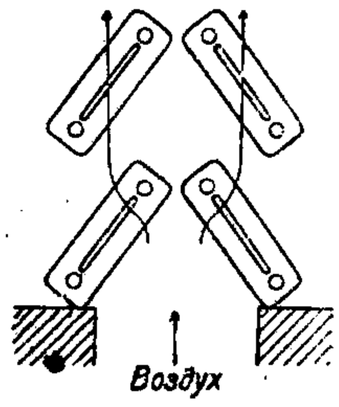
$$B = \frac{24 \cdot W_{расч.}}{m \cdot \eta \cdot q},$$

где m—число часов (4÷5) топки за сутки, η—кпд К., равный ~0,70, и q—теплотворная способность топлива в Cal/$кг$.

Имея все величины, зная $W_{расч.}$ и определяя по нему и заданным температурам объем воздуха, легко рассчитать сечение каналов для входа в К. нагреваемого воздуха и для выхода нагретого.

Паровые и водяные К.

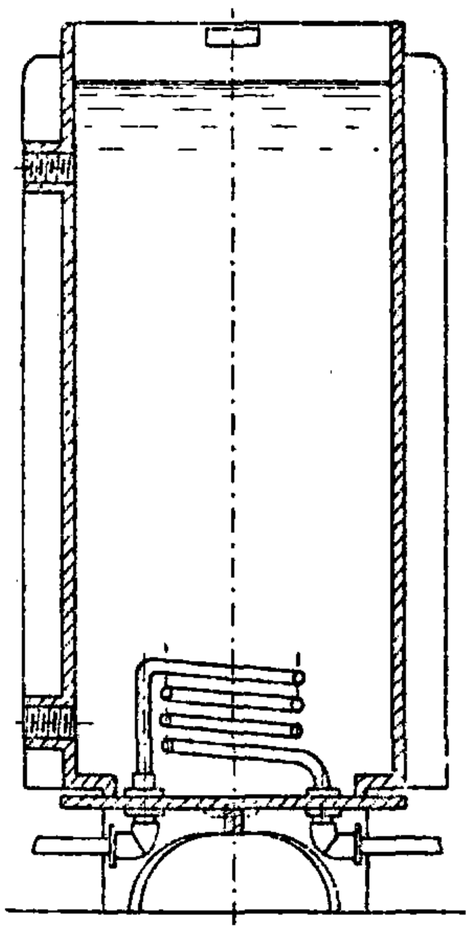
Паровые и водяные К. получают нагревающую среду от паровой или водяной центральной системы. Они разделяются по способу движения нагреваемого воздуха, к-рый может протекать через К.: 1) естественным путем, благодаря изменению веса единицы его объема при нагреве, и 2) с побуждением при помощи вентилятора.



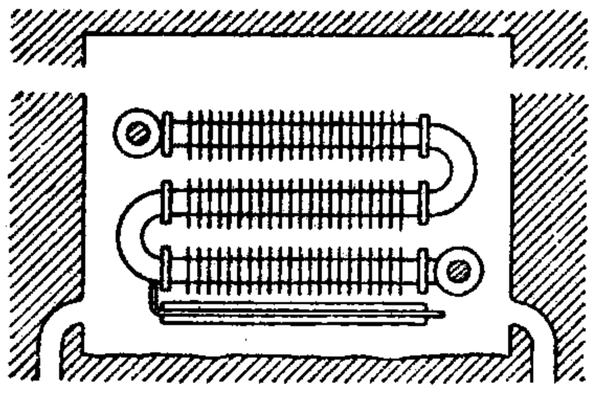
Фиг. 4.

1. К. с естественным притоком свежего воздуха. Тип, изображенный на фиг. 4, представляет собою обыкновенные водяные радиаторы, поставленные либо наклонно (при входе наружного воздуха снизу) либо вертикально рядами (при движении воздуха горизонтально), при чем для лучшего действия их ставят в шахматн. порядке. На фиг. 5 изображен старый тип нагревателей, устанавливаемых по нескольку штук в отдельной камере, для нагревания наружного воздуха. Нагреватель сделан из котельного железа, гладкий, иногда чугунный, с вертикальными ребрами, наполнен водой, к-рая нагревается паром при помощи змеевика. Эти нагреватели из гладкого железа применялись для нагревания помещений особого назначения, напр. больниц, так как допускают легкую очистку их поверхностей от пыли. Сверху нагревателей устанавлива-

лись увлажнительные бачки. К., изображенный на фиг. 6, состоит из ребристых труб и нагревается паром; он также снабжен увлажнительными приспособлениями. В указанных К. количество воздуха, протекающего естественным путем, не м. б. велико вследствие его малых скоростей и низкого коэфф-та теплопередачи. Опытами определено, что коэфф-т теплопередачи нагревающей стенки (см. ниже) сильно увеличивается при увеличении скорости движения воздуха ок. нее. Поэтому такие К. стали заменять более усовершенствованными типами, с сильно развитыми поверхностями нагрева и с побудительной продувкой вентилятором нагреваемого воздуха.



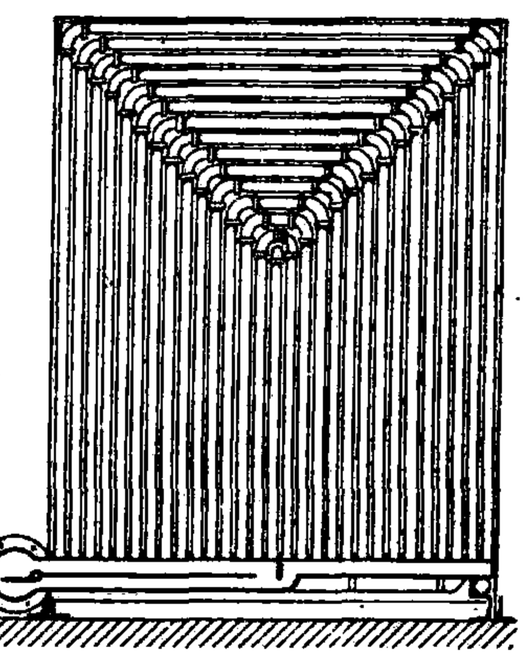
Фиг. 5.



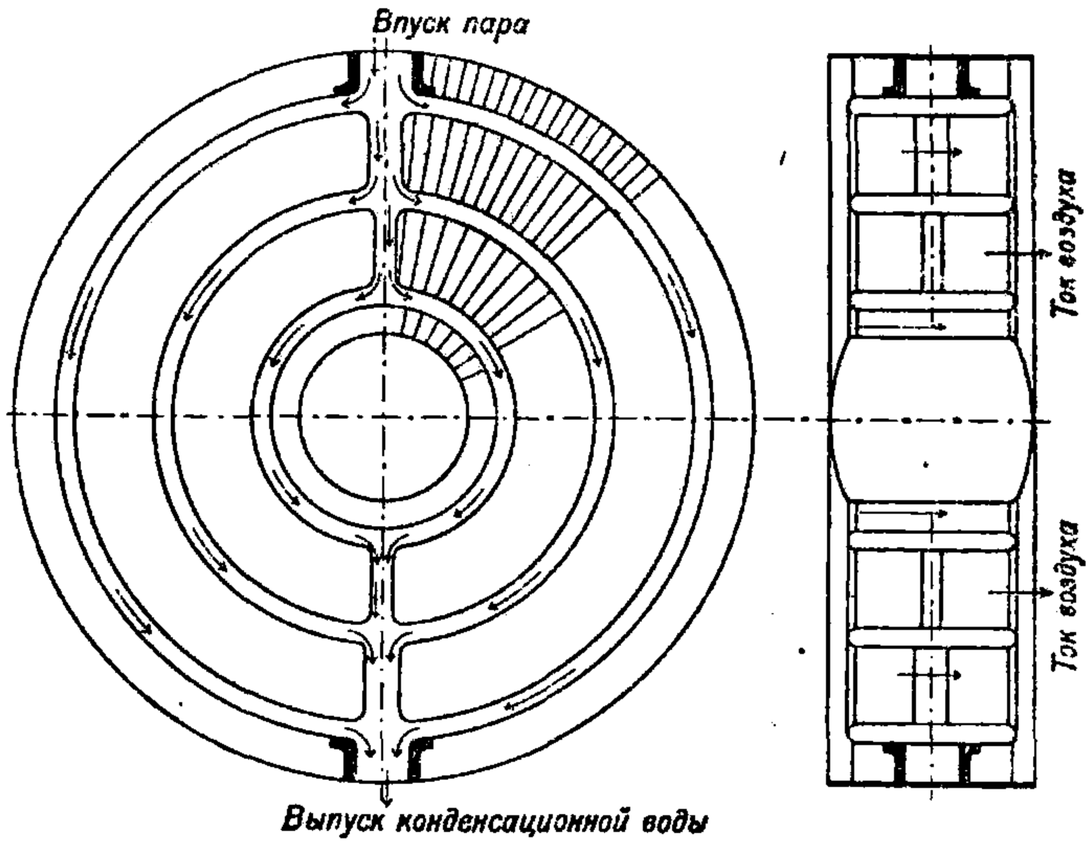
Фиг. 6.

Нагревающей средой в этих К. служит гл. обр. пар, при к-ром получается наивысший коэфф-т теплопередачи от стенок прибора.

2. К. с побудительным движением воздуха при помощи вентилятора. На фиг. 7 изображен К. сист. Стюртеванта, нагревательные поверхности к-рого состоят из ряда стальных гладких труб с наружным диам. 25÷33 *мм*; эти трубы входят в литую стальную раму с просветом между ними 5 *мм*; вся секция заключается в кожух из листового железа и соединяется с вентилятором. В последнее время в Германии применяются ромбоидальные радиаторы, устанавливаемые в шахматном порядке (см. *Зерносушилки*); удобство чистки и хороший коэфф. теплоотдачи обеспечивают им значительное распространение. Ребристые чугунные трубы с питанием паром при интенсивном движении воздуха около них обычно не применяются, т. к. ребра быстро охлаждаются, не успевают нагреться до $t°$ самой трубы и поэтому часто лопаются. Пластинчатый калорифер Юнкерса представляет тоже систему ребристых труб, но не имеет указанных выше недостатков. Он состоит из нескольких рядов плоских и узких медных трубок, в которых движется пар или вода; трубки расположены на 50 *мм* друг от друга параллельными рядами или по дугам концентрических окружностей. Между трубками перпендикулярно к ним вставле-

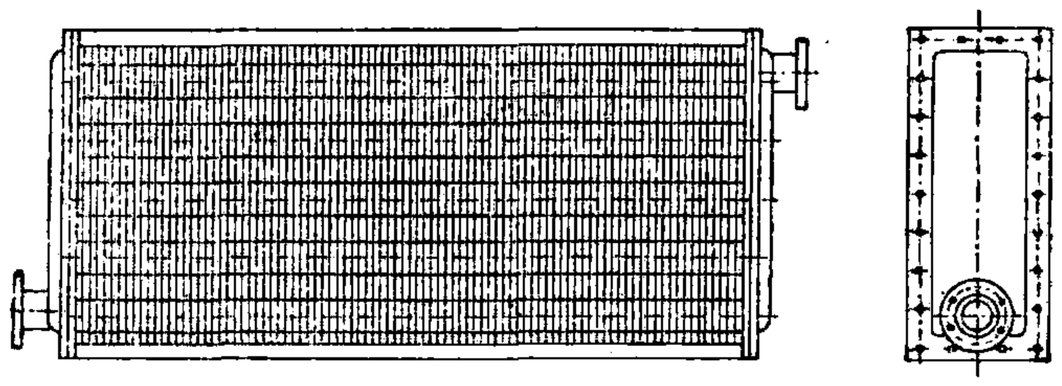


Фиг. 7.



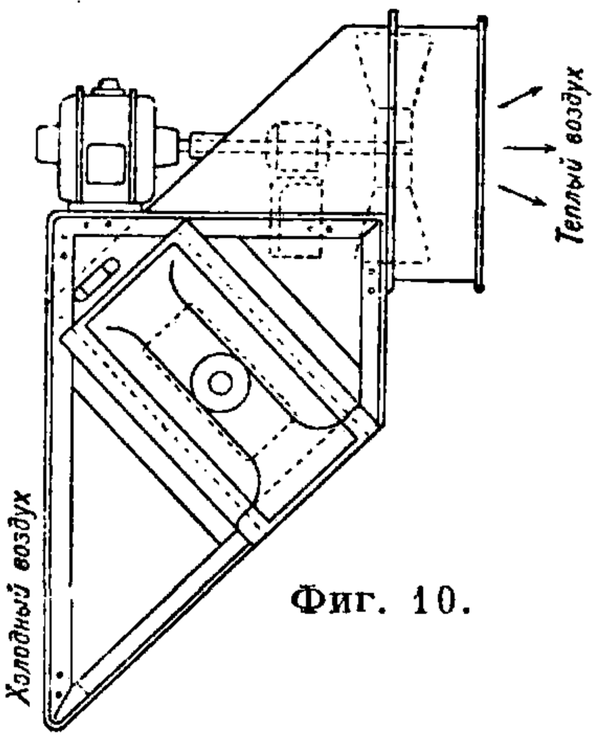
Фиг. 8.

ны медные зигзагообразно изогнутые пластинки. По окончании сборки весь К. опускают в расплавленное олово, которое, покрывая все нагревательные поверхности тонким слоем, одновременно припаивает пластинки к трубкам, образуя с ними металлическое соединение. Вследствие большой теплопроводности меди, пластинки быстро прогреваются соседними трубками. Такие же К. делаются из железных труб с железными пластинками. Весь такой элемент покрывается цинком, для достижения металлич. соединения пластинок с трубами. У железных пластинчатых К., вследствие меньшей теплопроводности железа, расстояние



Фиг. 9.

между трубками делают меньше, а потому свободная площадь для прохода между ними воздуха также уменьшается. Просветы между пластинками равны 4÷5 *мм*, и через них продувается воздух со скоростями 6÷20 *м/сек*; просветы составляют 72% от общей площади сечения К. из меди и 28% от площади сечения К. из железа. Весь элемент снаружи закрывается кожухом из котельного железа. На фиг. 8 изображен тип круглого пластинчатого К., на фиг. 9 — К. прямоугольной формы. Эти калориферы очень компактны, просты для ухода и чистки, отличаются большой производительностью и удобно соединяются с вентиляторами. На фиг. 10 показано соединение К. в аггрегат с винтовым



Фиг. 10.

вентилятором. Такой прибор легко м. б. укреплен на стенах, колоннах. Здесь холодный воздух входит под К., протягивается через последний и нагнетается вентилятором в помещение.

Расчет паровых и водяных К. Согласно указанным выше ф-лам для расчета К., необходимо иметь заданными часовое количество нагреваемого воздуха и его начальную и конечную $t°$. Этим определяется потребное для нагревания количество тепла—WCal/час. Затем д. б. задана нагревающая среда и ее средняя $t°$. Далее выбирается система К. и находится по таблицам или диаграммам величина k коэфф-та теплопередачи. Подставляя эти величины в ф-лу

$$F = \frac{W}{k\left(\frac{t_1' + t_0'}{2} - \frac{t_1'' + t''}{2}\right)} = \frac{W}{k},$$

где k_0—теплоотдача при данных условиях, получим потребную величину нагревательной поверхности в $м^2$. Величина k сильно меняется в зависимости от скорости движения воздуха около нагревательных поверхностей. Для К. с естественным, медленным движением воздуха величина теплоотдачи k_0 м. б. взята из табл. 1 [1].

Табл. 1.—Теплоотдача k_0 при средней $t°$ воздуха 0° и нормальном барометрическом давлении (Cal/$м^2ч$).

Род поверхности нагрева	При питании водой $t°$ 60—80°	При питании паром
Гладкие чугунные радиаторы	6,0—7,3	7,0—9,0
Ребристые чугунные трубы	5,0—5,5	6,0—6,5
Цилиндрич. железные или чугунные калориферы	8,0—8,5	—

Для радиаторов (фиг. 4) при разных скоростях воздуха k_0 м. б. взято из табл. 2 и 3 [1, 2].

Табл. 2.—Теплоотдача k_0 радиаторов при нагреве водой (Cal/$м^2ч$).*

Скорость воздуха в *м/ск*	Скорость воды в секциях в *м/ск*		
	0,002	0,005	2,00
0,20	6,6	6,9	7,2
0,30	8,2	8,7	9,2
0,40	9,5	10,2	10,9
0,50	10,7	11,6	12,5
0,60	11,8	12,8	14,0
0,80	13,7	15,1	16,7
1,00	15,2	17,0	19,1
1,20	16,6	18,8	21,4
1,40	17,9	20,4	23,5
1,60	19,1	21,9	25,5
1,80	20,1	23,2	27,4
2,00	21,0	24,5	29,2
2,25	22,2	26,0	31,4
2,50	23,2	27,5	33,5
2,75	24,1	28,8	35,5
3,00	25,0	30,1	37,5

* Приведенные величины умножают при средней $t°$ воздуха: −10° на 1,02; +10° на 0,98; +20° на 0,96; +30° на 0,94; +40° на 0,92; +50° на 0,90.
Величины k_0 даны (в Cal) как функции скорости воздуха в приточном канале при средней $t°$ воздуха 0° и норм. барометр. давлении; нагревающая среда—горячая вода при средней $t°$ в 80°.

Табл. 3.—Теплоотдача k_0 радиаторов при нагреве паром.*

Скорость воздуха в *м/ск*	Теплоотдача k_0 в Cal/$м^2ч$	Скорость воздуха в *м/ск*	Теплоотдача k_0 в Cal/$м^2ч$
0,20	7,2	1,40	23,5
0,30	9,2	1,60	25,5
0,40	10,9	1,80	27,4
0,50	12,5	2,00	29,2
0,60	14,0	2,25	31,4
0,80	16,7	2,50	33,5
1,00	19,1	2,75	35,5
1,20	21,4	3,00	37,5

* Приведенные величины умножают при средней $t°$ воздуха: −10° на 1,02; +10° на 0,98; +20° на 0,96; +30° на 0,94; +40° на 0,92; +50° на 0,90.
Величины k_0 даны (в Cal) как функции скорости воздуха в приточном канале при средней $t°$ воздуха 0° и нормальном барометрическом давлении; нагревающая среда—пар при 1—3 *atm* абс.

Воздух, проходя через группу радиаторов, встречает сопротивление при своем движении, к-рое преодолевается либо естественной тягой либо вентиляторами. Величины сопротивления указаны в табл. 4.

Табл. 4.—Потеря напора h в *мм* водяного столба (группа радиаторов).*

Скорость воздуха в *м/ск*	Потеря напора в *мм* вод. ст.	Скорость воздуха в *м/ск*	Потеря напора в *мм* вод. ст.
0,20	0,007	1,40	0,220
0,30	0,014	1,60	0,280
0,40	0,023	1,80	0,346
0,50	0,035	2,00	0,419
0,60	0,018	2,25	0,518
0,80	0,080	2,50	0,626
1,00	0,120	2,75	0,743
1,20	0,167	3,00	0,869

* Приведенные величины умножают при средней $t°$ воздуха: −10° на 1,07; +10° на 0,94; +20° на 0,88; +30° на 0,83; +40° на 0,78; +50° на 0,74.
Величины h даны как функции скорости воздуха в приточном канале при средней $t°$ воздуха 0° и нормальном барометрическом давлении.

Пластинчатые К. у нас изготовляются Гос. механич. и чугунолитейным з-дом «Кооператор» в Ленинграде и другими з-дами. Теплоотдача этих К. определяется в зависимости от скорости v *м/ск* воздуха, проходящего через них; для пара низкого давления $k_0 = 2 + 7\sqrt{v}$, для воды $k_0 = 2 + 5{,}5\,v$ Cal/$м^2ч$. Сопротивление воздуха при этом (в *мм* вод. ст.) $h = 0{,}055\,v^2$. Скорости воздуха принимают от 6 до 20 *м/ск*. Максимальная длина секции—1 420 *мм*. При этой длине поверхность нагрева $\cong 43$ $м^2$; длина в 0,033 *м* дает поверхность нагрева в 1 $м^2$; при длине секции 1,0 *м* поверхность нагрева $\cong 30$ $м^2$. Живое сечение в этих приборах равно 40% общей площади прибора. Для увлажнения воздуха при этих К. ставят разбрызгиватели воды (форсунки), к-рые помещают непосредственно за К., во избежание замерзания воды зимой (при подаче воздуха снаружи). При нескольких секциях, помещенных последовательно, форсунки ставят между секциями, что полезно для предотвращения попадания капелек воды в помещения, ибо при подогревании воздуха он уве-

личивает свою влагоемкость, уменьшая при этом относительную влажность.

Лит.: [1]) Ритшель Г., Руководство по отоплению и вентиляции, т. 1—2, пер. с нем., М.—Л., 1928; [2]) Чаплин В. М., Курс отопления и вентиляции, вып. 2, 2 изд., М.—Л., 1928; Гребер Г., Введение в теорию теплопередачи, пер. с нем., М., 1929; Казанцев А. П., Спр. кн. по отоплению и вентиляции, М., 1928; Лапшин Б. С., Справ. по центр. сист. отопления и вентиляции, М., 1927; Меркель Ф., Основы теплопередачи, пер. с нем., М., 1929; Романович М. Е., Гражд. архитектура. Части зданий, 4 изд., т. 3—4, СПБ, 1903. **Н. Дегтярев.**

КАЛОРИЯ, единица количества тепла; малая калория (15°), $cal_{15°}$ (*г*-калория), есть количество тепла, потребное для нагревания 1 *г* воды на 1° от 14,5 до 15,5°. Исследования Роуланда, Гриффитса, Егера, Штейнвера и др. показали, что $cal_{15°}$ с большой точностью можно принять равной средней К. при нагревании между 0 и 100° ($cal_{0-100°}$, т. е. $^1/_{100}$ количества тепла, потребного для нагревания 1 *г* воды от 0 до 100°). Большая К. (Cal), или *кг*-калория, в 1 000 раз больше малой. 1 $cal_{15°}$ = 4,185 джоуля абс. Английская тепловая единица BTU (British termal unit) = 1 054,8 джоуля абс. = 252,043 $cal_{15°}$; 1 $cal_{15°}$ = 0,00396758 BTU.

Лит.: Griffiths E. H., The Thermal Measurement of Energy, Cambridge, 1901; Handbuch d. Physik, hrsg. v. H. Geiger u. K. Scheel, B. 9, B., 1926.

КАЛЬКА, б. или м. прозрачный тонколистовой гибкий материал, выделываемый из волокнистого основания (бумага, ткани) соответственною пропиткою. К. применяется гл. обр. в полиграфич. промышленности при копировании чертежей и рисунков, для защиты изображений (подлинников и воспроизведений), напр. в книгах, для украшений, транспарантов и т. п.; нек-рые виды К. вследствие своей относительной газо- и влагонепроницаемости, а также известной стойкости против химич. реагентов и жиров, применяются в качестве укупорочных и перевязочных средств (см. *Восковые составы*).

Технич. требования, предъявляемые к К., таковы: 1) она должна обладать достаточной прозрачностью, соответствующей техническ. назначению данного сорта К.; 2) д. б. бесцветной или слабо окрашенной, но с уклоном в голубизну, а не в желтизну (в противном случае затрудняется светокопирование и фотографирование); 3) не должна допускать капиллярного растекания и просачивания красок, туши и чернил; 4) должна обладать вполне гладкой и ровной поверхностью, без склеек, складок, мятых или рваных мест, проколов и заметных пор; 5) поверхность ее д. б. не маслянистой и хорошо принимать карандаш, акварельную краску, тушь, чернила, допуская при этом стирание резинкой, а также по возможности выскабливание и смывание; 6) К. должна обладать достаточной механич. прочностью на разрыв, изгиб, загибание и достаточной гибкостью, допускающей накручивание на цилиндры малого диаметра; 7) К. не должна изменяться при длительном хранении (желтеть, делаться ломкой, утрачивать прозрачность); 8) К. должна иметь определенные геометрические размеры, без склеек; наконец, 9) от К. временного действия требуется точное восстановление первоначальных свойств исходного волокнистого основания — цвета, механической прочности, вида поверхности. Производство К. основано на заполнении воздухоносных пор между волокнами целлюлозного основания прозрачными веществами с показателем преломления не меньшим, чем у вещества самих волокон. Так как последнее само по себе (в массе) вполне прозрачно, то заполнение пор другим прозрачным наполнителем делает К. в достаточной мере прозрачной. Вместе с тем это *заполняющее вещество должно* устранять капиллярность волокнистого основания, делать поверхность К. гладкой, уничтожать гигроскопичность и предотвращать механич. и гигроскопич. изменения формы. Разнообразие видов К. вытекает из возможности весьма различно подбирать состав пропитывающих веществ и способы пропитки, а также из выбора того или другого волокнистого основания. По роду волокнистого основания кальки делятся на бумажные и тканевые. По пропитывающему составу— на смоляные, олифные, желатиновые, керосиновые и т. д. При функциональной классификации можно делить К.: а) на К. временного действия, прозрачные лишь в течение нек-рого срока и затем превращающиеся в исходное волокнистое основание (гл. обр. бумагу), и б) К. постоянного действия, навсегда сохраняющие свою прозрачность.

Производство К. требует прежде всего тщательного выбора волокнистого основания, так как последующей пропиткой нельзя исправить основных недостатков этого основания—недостаточной механической прочности, несоответственного цвета, неоднородности или грубости строения и т. д. Если волокнистое основание д. б. бумажное, то берется непроклеен. лучшая папиросная (шелковая) бумага белого цвета. Тканевое основание д. б. полотняного переплетения, все нити к-рого весьма тонки и однородны по толщине, без узлов и неровностей, белого цвета. Такая ткань д. б. достаточно плотна и вместе с тем тонка; наиболее пригодны для этой цели хлопковые ткани—тонкие сорта коленкора (хотя соответственная К. нередко называется «полотняной» или «восковым полотном»).

Процессы пропитки волокнистого основания довольно разнообразны. 1) Для выделки бумажной К. временной прозрачности за основание может браться бумага более толстая, чем папиросная. Для пропитки бумагу расстилают на вполне плоской доске (лучше всего на шлифованном стекле) и протирают под значительным давлением мягкой губкой, предварительно погруженной в керосин и затем выжатой; если бумага толста, то ее приходится, перевернув, протереть и с другой стороны. Такая К. восстанавливает свою непрозрачность через несколько недель; в случае надобности этот процесс м. б. задержан на целый год, если держать К. в герметически закрытой коробке. Для раскраски скопированного рисунка акварельными красками из К. предварительно удаляют керосин нагреванием на теплой плите. 2) Другой сорт бумажной кальки с временной прозрачностью получается покрытием основания с одной или с обеих сторон, смотря по толщине, смесью нефтяного осветительного масла (с $t°_{кип.}$ 150—200°) и тяжелого бензина

(с $t°_{кип.}$ 120—150°), или же других нефтяных или буроугольных фракций с $t°_{кип.}$ 100—170° или соответственно 160—195°. 3) Примером перехода к К. постоянной прозрачности может служить бумажная К. с временной (но уничтожаемой по произволу) прозрачностью. По К. Пушеру она изготовляется пропиткой бумаги раствором касторового масла в 1, 2 или 3 объемах абсолютного спирта, в зависимости от толщины бумаги; по испарении спирта бумага готова к употреблению и может быть сделана снова непрозрачной погружением в абсолютный спирт. Сохраняющаяся прозрачность бумажной или коленкоровой К. достигается пропиткой волокнистого основания смолами, восками, олифою, каучуком. В качестве смолы применяется гл. обр. хорошо отбеленный шеллак или копал, растворенный в спирте; однако, слишком большая хрупкость этой смолы вызывает необходимость добавлять к ней другие смолы — сандарак, мастику, венецианский терпентин. Лак наводится на волокнистое основание различными способами: вручную—посредством широкой мягкой кисти, слегка обжимаемой о край сосуда, или пропусканием бумаги через ванну, пропусканием через вальцы, смачиваемые лаком, с последующим распределением лака по волокнистому основанию щетками, и т. д. После покрытия и пропитки К. должна быть просушена, в нек-рых случаях—при умеренном нагревании. Отбелка шеллака для К. производится при помощи животного угля, к-рый предварительно обрабатывают соляной к-той (1 ч. к-ты на 2 ч. воды) в течение многих дней, а затем весьма тщательно омывают водою и просушивают. Спиртовый раствор шеллака пропускается через уголь, находящийся в воронке с крышкою; носик воронки вставляется в пробку приемника, а этот последний сообщается посредством трубки, проходящей через указанную крышку, с широкой частью воронки. Ниже приводятся рецепты лаков для производства К., при чем числа относятся к весовым частям соответственных веществ. 4) Коленкоровая К.: элеми 2—4, отбеленного шеллака 10, мастики 2, 96%-ного винного спирта 15; при желании получить более тонкий слой лак разбавляют винным спиртом; или: 5) отбеленного шеллака 20, мастики 3, венецианского терпентина 2—5, винного спирта 50, эфира 10. 6) Бумажная К.: отбеленного шеллака 15, мастики 5, 96%-ного винного спирта 100. 7) Восковая бумажная калька: отбеленного пчелиного воска 10, 96%-ного винного спирта 30, эфира 5; бутылку с этой смесью держат несколько дней в умеренно теплом месте и часто встряхивают. 8) Бумажная К. по Г. Э. Вагнеру: бумагу сначала пропитывают бензином, а затем специальной олифой, к-рая получается 8-часовою варкой: свинцовых стружек 1, окиси цинка 5, венецианского терпентина 0,5 с льняной олифой 20; после отстаивания в течение нескольких дней осветленную жидкость разбавляют копаловым лаком 5 и спиртовым или эфирным раствором сандарака 0,5—1. 9) Бумажная и коленкоровая К. [1]: бумагу покрывают вареным льняным маслом и, по удалении избытка масла бензином, промывают хлорной водой, а затем обрабатывают перекисью водорода; ткань перед покрытием льняным маслом д. б. покрыта крахмалом; обработка заканчивается вальцеванием. 10) Муслиновая К.: на муслин наносят губкой смесь из скипидара 8, касторового масла 8, канадского бальзама 2, копайского бальзама 1, после чего ткань скатывают и по прошествии 36 часов с нее снимают избыток масляной смеси. 11) Бумажная К. [2]: бумагу пропитывают раствором венецианского терпентина и канифоли в смеси скипидара и четыреххлористого углерода или пропитывают смесью [3] касторового масла и скипидара. 12) Полотняная К.: аппретированное полотно пропитывают составами, применяемыми для пропитки бумажной К. [4]. 13) Водонепроницаемая пергаментная К.: пергаментную бумагу покрывают тонким слоем лака, разведенного бензином [5]. 14) Бумажная К.: изготовляют сплавлением две смеси—одну из 5 ч. парафина, 10 ч. канадского бальзама, 50 ч. скипидара, а другую—из 7 ч. парафина, 20 ч. канифоли и 20 ч. элеми; затем их сливают и добавляют 120 $см^3$ скипидара. Полученным раствором покрывают бумагу 1—2 раза. 15) К. для окошек в конвертах: растворяют 37 ч. тонко измельченного даммара в 20 *г* скипидара; к отфильтрованному раствору добавляют 130 *г* макового масла [6]. 16) Воздухо- и водонепроницаемая К.: бумагу пропитывают коллоидным спиртовым раствором набухшей желатины или агар-агара в спирте и отверждают желатину формальдегидом или квасцами; затем ее покрывают раствором расплавленной смолы, воска и масла, желательно—с добавкой сивушного масла. Такая бумага применяется для обертки сигарет [7]. 17) Бумажная К.: бумагу покрывают смесью из 1 ч. вареного льняного масла и 7 ч. бензинового 20%-ного раствора каучука. 18) Бумажная К.: на непроклеенную или шелковую бумагу наносят при помощи каменного валика вареное льняное масло, подвергают ее прессовке и с обеих сторон покрывают смесью из 2 ч. раствора копала или янтаря в льняной олифе (экипажный лак) и 1 ч. чистого терпентина; после просушки ее обмывают мыльной водой, затем холодной водой, прессуют и сатинируют [8].

При пользовании К., особенно коленкоровой и больших размеров, возможны деформации ее от влаги и нагревания; поэтому К. следует натягивать на доску и хорошо прикалывать или приклеивать по краям. Черчение производят на глянцевой стороне К.; для лучшего приставания туши эту поверхность протирают порошком мела. Для той же цели иногда покрывают готовую бумажную К. раствором гуммиарабика или декстрина, куда полезно добавлять несколько капель раствора хлористого кальция (30° Bé) с целью воспрепятствовать чрезмерному высыханию слоя. Для лучшего приставания, к плиточной туши добавляют при натирании мыло, бычью желчь, а также ихтиол. Раскраска чертежа на коленкоровой кальке делается с матовой стороны. Чтобы скрыть поправки, протирают исправленное место минеральным маслом. В тех случаях, когда желают затруднить возможность снятия светокопий с копии на К., оборотную сто-

рону копии покрывают светонепроницаемой краской или краской, поглощающей актиничные лучи (напр. желтой, красной), или, наконец, подклеивают бумагой [9]. Использованные чертежи на коленкоровой К. могут быть экстрагированием пропитывающих веществ вновь превращаемы в ткани, к-рые идут на хирургические перевязки и т. п.

Лит.: [1]) Г. П. 17789; [2]) Г. П. 1419750; [3]) Г. П. 333987; [4]) Г. П. 277278; [5]) Г. П. 305712; [6]) Г. П. 260968; [7]) Г. П. 285978 и 291198; [8]) Г. П. 38479; [9]) Г. П. 262353.

Esslinger R., Die Fabrikation d. Wachstuches, 2 Aufl., W.—Lpz., 1906; Walther B., «Ch.-Ztg», 1921, p. 287; «Technische Rundschau», B., 1909, p. 665; ibid., 1913, p. 62; «Pharmazeutische Zentralhalle», Dresden, 1910, p. 738; «Papier-Zeitung», Berlin, 1912, p. 1794.

П. Флоренский.

КАЛЬКУЛЯЦИЯ, одна из ветвей хозяйственного учета, дополняющая бухгалтерский и статистич. учет. В отличие от бухгалтерии, имеющей дело с общими результативными итогами по всему предприятию, К. изучает отдельные объекты хозяйственной деятельности. Наиболее часто К. применяется при определении издержек производства, управления и обращения в предприятии. Цель ее—установление себестоимости и исчисление продажной цены продукта. Более широкие задачи К: заключаются в установлении контроля над работою предприятия, выявлении слабых мест и указании путей рационализаторских мероприятий. С другой стороны, К. является средством для установления правильной политики цен.

К. делится на предварительную, или сметную, и отчетную, или последующую К. (Vorkalkulation u. Nachkalkulation). Первая применяется при организации новых производств, при определении цены заказа, при построении бюджета предприятия и т. д. Вторая—при определении фактич. результатов работы предприятия. Одним из видов сметной К. является так наз. «восстановительная» К., имеющая целью определение цены изготовленного изделия, обеспечивающей воспроизводство его в следующем производственном цикле при изменившихся условиях (иные цены сырья, заработной платы, другая нагрузка и пр.). К. себестоимости является основанием для К. цены изделия. Отсюда различие цеховой себестоимости, включающей в себе издержки по изготовлению изделия, заводской себестоимости, начисляющей на цеховую себестоимость общезаводские расходы, и, наконец, коммерч. себестоимости, включающей в себе расходы финансовые, по содержанию торгового аппарата, уплате налогов и пр.

К. учитывает издержки предприятия по отдельным элементам. Издержки классифицируются, как общее правило, по следующим признакам: 1) по видам издержек, 2) по месту их затрат и 3) по носителям издержек. По видам (Kostenarten) издержки производства группируются по расходам, связанным: 1) с затратами в производстве вещественных благ, 2) с затратами труда, 3) с затратами на основной капитал. Отдельно д. б. упомянуты расходы публично-правового характера. Обычно в этом разрезе К. развертывается по следующим элементам: 1) сырье и основные материалы, 2) вспомогательные материалы, 3) упаковочные материалы, 4) топливо, 5) энергия, 6) зарплата рабочим, 7) содержание служащих, 8) социальные начисления на заработную плату, 9) накладные расходы на заработную плату, 10) амортизация, 11) страхование имущества, 12) налоги и сборы, 13) % за кредит, 14) денежные расходы. Калькуляционная теория, преследуя цель превратить К. в орудие сравнения хозяйственности работы отдельных предприятий, настаивает на включении в К. ряда издержек, уравнивающих условия работы разных предприятий. Сюда относятся: оплата за предпринимательский труд и % на собственный капитал. Такую условную себестоимость, включающую несуществующие в ряде случаев издержки, в немецкой литературе, в отличие от фактической, называют «объективной» себестоимостью. К., расчлененная по видам издержек, представляет большие удобства для анализа экономич. структуры предприятия и влияния на динамику издержек производства факторов общеэкономич. порядка (изменения сырьевых цен, политики заработной платы, изменения налогов и т. д.). Ее удобство заключается в том, что в каждом из элементов сконцентрированы все однородные издержки, производящиеся во всех пунктах предприятий (сырье, заработная плата, амортизация и т. д.). У нас часто ею пользуются для исследования чистой продукции, нормы прибавочной стоимости и продукта и т. д. По этим же данным определяют тип производства: материалоемкий, трудоемкий или капиталоемкий.

Для практич. руководства предприятием такого деления недостаточно, т. к. в этом случае затрудняется наблюдение за результатами работы отдельных частей и элементов предприятия. Чтобы обеспечить возможность такого наблюдения, исчисление себестоимости ведут по указанным выше элементам, местам расходов (Kostenstelle), по каждому из цехов и отделов предприятия, при чем не только по производственным, но и по вспомогательным. Наиболее крупные места производства расходов следующие: 1) работа по снабжению и заготовкам сырья и материалов, 2) производство, 3) сбыт. Довольно часто особо выделяют издержки по управлению предприятием. Внутри каждого из этих разделов учет расчленяется по ячейкам, на к-рые делится предприятие: цехи, отделы, бюро, фазы и т. д. В частности учет ведется отдельно по основным производствам (т. е. цехам, непосредственно занимающимся изготовлением изделий для выпуска в виде товаров), по вспомогательным (т. е. цехам, органически связанным с основным производством путем обслуживания его в процессе работы, напр. производство пара, энергии, водоснабжение, ремонтные мастерские, внутризаводский транспорт и пр.) и, наконец, по побочным производствам (т. е. предприятиям, существующим самостоятельно для обслуживания основного производства готовой продукцией, напр. производство тары, огнеупорных изделий, лесозаготовки и пр.). Организация калькуляционного учета тем совершеннее, чем точнее фиксируются издержки производства в каждом из указанных отделов предприятия. Наконец, третий вид учета издержек—по их носителям

(Kostenträger). Он сводится к распределению учтенных издержек по различным объектам, единицам изготовляемой продукции. Это наиболее сложная и условная часть калькуляционной работы.

Методы разнесения расходов. Каждый из видов издержек производства делится на две основные категории: расходов прямых и расходов косвенных. Под прямыми понимаются те из расходов, к-рые непосредственно входят в себестоимость определенной единицы изделия (сырье, полуфабрикаты, сдельная заработная плата, амортизация производственного оборудования и пр.). Под косвенными—сумма одновременных затрат при производстве комплекса изделий и их частей. Непосредственно определить долю издержек этой категории, падающую на единицу продукта, не представляется возможным, поэтому приходится прибегать к методу условного распределения этих издержек по заранее установленным принципам. Эти косвенные расходы м. б. произведены в масштабе данного цеха, напр. содержание цеховой администрации, освещение и отопление цеха, ремонт цеха и т. д., и в этом случае распределяются на продукцию только этого цеха; другие—в масштабе всего з-да, например общезаводская контора, общезаводский транспорт, лаборатории и пр.; третьи—в масштабе группы объединяемых предприятий (трестовские расходы); в обоих последних случаях расходы распределяются на продукцию или всего з-да или треста в целом. Основные признаки при разнесении косвенных расходов—самые разнообразные, в зависимости от характера расхода. Для цеховых расходов наиболее часто применяют распределение издержек или пропорционально весу или стоимости потребных материалов, или стоимости рабочей силы (производственной), или сумме обеих этих величин; для общезаводских расходов критерием для распределения наиболее часто служит цеховая себестоимость продукции, для трестовских расходов — общезаводская себестоимость ее. От детальности дифференциации признаков зависит степень точности К.

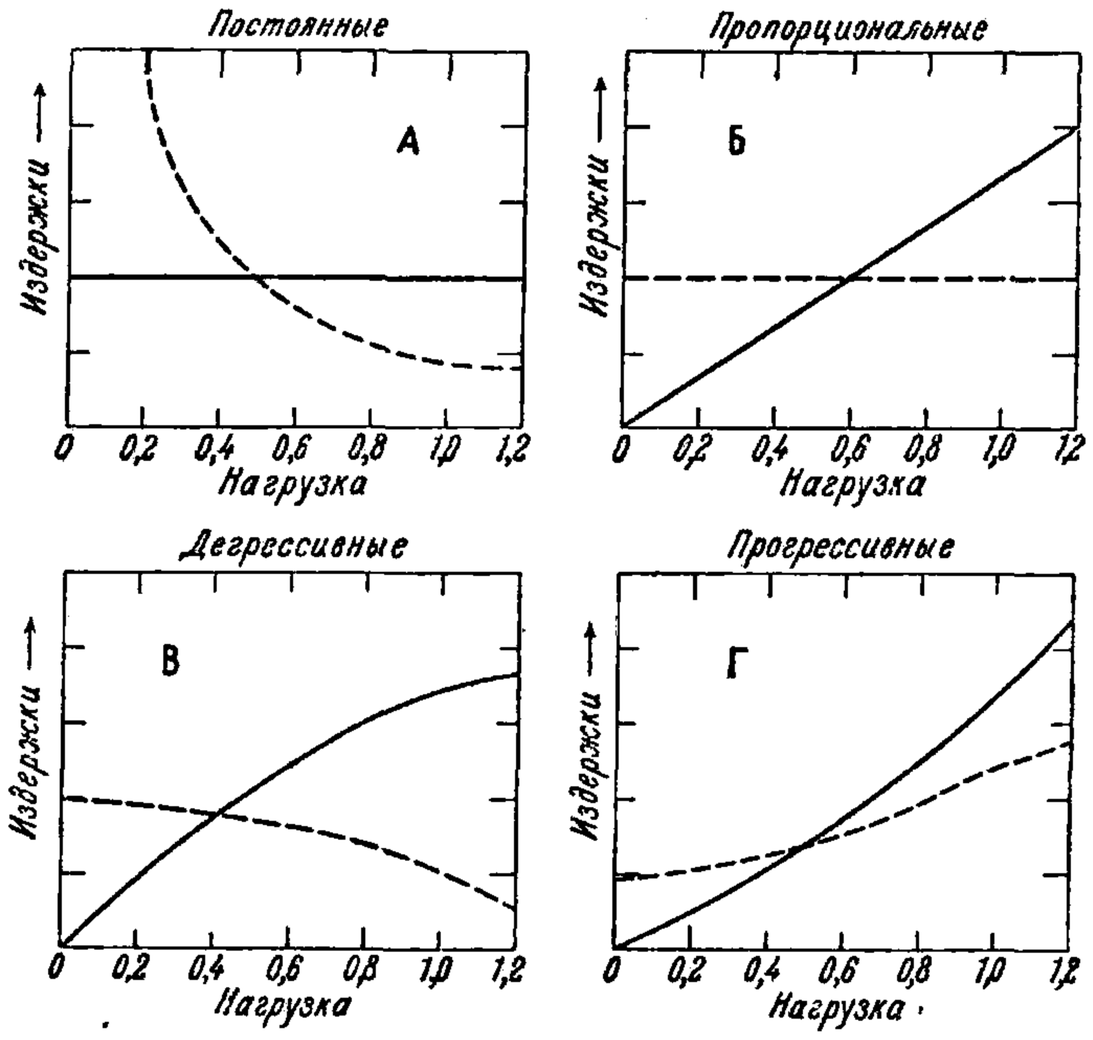
Наиболее правильные результаты дает принцип «локализации расходов». По формулировке Гадера это означает: «Накладные расходы должны для каждого места расхода (центра производства) вычисляться отдельно и на отдельные продукты должны начисляться в соотношении с временем обработки (машинное время) на станке». При определении стоимости машиночаса работы машины или станка рекомендуют, напр., следующие методы разнесения цеховых расходов: 1) расходы по прямому назначению, точно учтенные: производственная зарплата по обслуживанию машины, технологич. топливо, текущий ремонт машины, брак и простой; 2) расходы, поддающиеся точному учету при посредстве соответствующих измерительных приборов: пар, силовая энергия; 3) расходы, изменяющиеся пропорционально стоимости машин с относящимся к ним дополнительным оборудованием: амортизация, страхование; 4) пропорционально площади, занимаемой машинами, понимая под этим и площадь, необходимую для работы на них и их обслуживания: освещение, отопление (при одинаковой высоте помещения), содержание в чистоте помещения, охрана и остальное обслуживание помещений; 5) в соответствии со сферой действия, количеством времени обслуживания машины и весом выработанных ими изделий: работа подъемных кранов и транспортеров; 6) пропорционально весу изделий: общие транспортные расходы цеха; 7) пропорционально производственной зарплате: общий административный и технич. персонал (надзор) и вспомогательные рабочие, начисления на зарплату всех работающих в цехе, накладные расходы на рабочую силу цеха; 8) пропорционально затраченной силовой энергии на приведение машин в действие: содержание машин. Т. о., при определении себестоимости по методу «локализации расходов», таковая будет слагаться из основных материалов и стоимости затраченных часов работы машин, вырабатывающих данное изделие. Этот способ, несомненно, более точный, чем грубое разнесение цеховых расходов по какому-либо одному распределительному признаку (напр. производственная зарплата), в то же время очень сложен и дорог. Практически получаемое уточнение часто не окупает роста расходов по усложненному учету, и поэтому удовлетворяются б. или м. простыми признаками: напр., составители инструкции калькулирования в металлообработке в советской промышленности сочли необходимым пожертвовать точностью исчислений соображениям экономии в учете, и цеховые расходы, по этой инструкции, распределяются пропорционально затратам на производственную зарплату.

Сложным вопросом К. является определение себестоимости каждого из продуктов в тех случаях, когда в ходе одного и того же производственного процесса получается одновременно несколько продуктов (напр., растительное масло и жмыхи; соляная к-та и сульфат). В этих случаях для определения себестоимости каждого из изделий чаще всего приходится условно пользоваться ценностными соотношениями, существующими на эти продукты на рынке, или установлением цены на менее важный продукт (по условиям возможного использования его непосредственно путем продажи или потребления внутри собственного хозяйства или через посредство цены эквивалентных продуктов, аналогичных данному продукту по потребительской ценности). Установив цену одного из продуктов, дальше путем несложных подсчетов можно определить себестоимость и другого продукта.

Для иллюстрации приведем пример К. в металлообработке в том виде, в каком она установлена «Методами калькулирования» ВСНХ. Учет ведется по специальным формам для продукции: а) металлургических, б) литейных, в) кузнечных цехов и г) для металлообработки, сборки, испытания и окраски изделий машиностроения. Полная коммерч. себестоимость изделий слагается из расходов: основных, цеховых, общезаводских, специальных, расходов треста (административных, % за кредит и торговых). Основные расходы слагаются из производственной

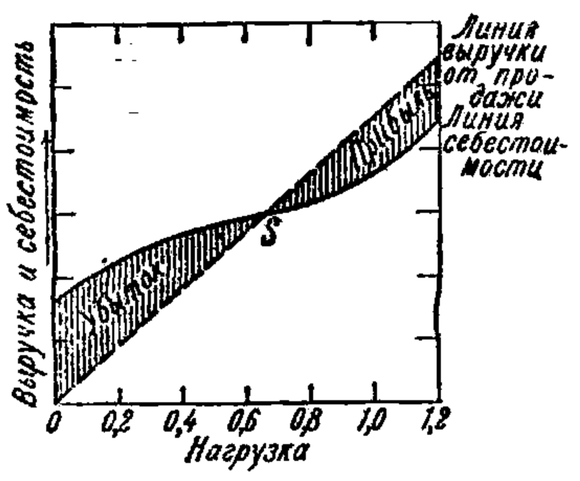
зарплаты и стоимости сырья, материалов и топлива. В состав цеховых расходов входят: энергия, содержание аппарата цехового управления, содержание имущества (в том числе зданий и сооружений), содержание машин, станков и оборудования (смазочные и обтирочные материалы, содержание и возобновление опок, изложниц, прокатных валов, приспособлений, моделей и формовочных досок, мелкого инвентаря), текущий ремонт имущества, охрана труда, убыток от брака, передвижение грузов, социальные расходы, амортизация. Как уже указывалось, все эти расходы распределяются пропорционально производственной зарплате. Общезаводские расходы по характеру распределения делятся на две группы: первая распределяется между всеми цехами непосредственно (металлургическое бюро, паровозное бюро, дизельное бюро и т. п.); вторая—пропорционально производственной зарплате. По чугунолитейному производству К. составляется отдельно на различные виды литья в зависимости от его технологич. особенностей (нормальная шихта, специальная шихта и пр.), а также в зависимости от веса одной штуки литья и от сложности формовки. К. сопровождается ведомостью технич. результатов, характеризующей состав работающего оборудования, его производительность, число рабочих, технич. коэфф-ты выхода, брака, расхода топлива, рабочей силы и др.

Анализ К.—важнейшее орудие для познания экономичности работы предприятия. При анализе следует различать материальные и ценностные элементы К. Для оценки работающего предприятия прежде всего важно выяснить общий итог изменения себестоимости за отчетный период. При разнообразном ассортименте вырабатываемых изделий это достигается путем параллельной оценки выработанной продукции по себестоимости отчетного периода и по себестоимости предшествующего периода или плана. После этого д. б. установлены причины изменения себестоимости, лежащие в технич. условиях производства (количественная характеристика использования сырья, полуфабрикатов, топлива, рабочей силы, норм накладных расходов на единицу продукции, количество брака и т. д.) и в ценностных условиях (изменение цен на заготовленные средства производства, движение зарплаты, ставок налогов и т. д.). Следующей стадией анализа К. является исследование технич. факторов работы предприятия—состояния оборудования, эффективности капитальных вложений, рационализаторских мероприятий, состояния нагрузки. Учетом и исследованием материальных факторов производства занимается техническая К., слагающаяся из К. материалов, К. раб. силы, К. времени и т. д. При анализе К. чрезвычайно большое значение имеет исследование различных элементов себестоимости в зависимости от нагрузки предприятия. Различные издержки м. б. в этом разрезе разделены на 4 группы: 1) постоянные, или фиксированные, издержки, остающиеся для предприятия в целом одинаковыми при всяком уровне нагрузки; в единице продукта они увеличиваются или уменьшаются пропорционально масштабу нагрузки (фиг. 1, А; сплошной чертой обозначены общие издержки по всему предприятию, пунктирной—издержки, к-рые приходятся на единицу продукции); 2) переменные, или пропорциональные, издержки, меняющиеся в прямой пропорции для предприятия в целом при изменении нагрузки и остающиеся в единице продукта неизменными (фиг. 1, Б); 3) дегрессивные издержки, увеличивающиеся для предприятия в целом при росте нагрузки, но в замедленном темпе; в единице продукции при увеличении продукции они падают, но в замедленной пропорции (фиг. 1, В); 4) прогрессивные издержки, увеличивающиеся для предприятия в целом более сильным темпом, чем



Фиг. 1.

нагрузка (фиг. 1, Г). Этот вид издержек появляется обычно при перенапряжении производительных сил предприятия. Сочетание указан. видов издержек чрезвычайно своеобразно в каждой из отраслей промышленности, при чем, как правило, постоянные издержки сильно возрастают по мере увеличения размеров предприятия, его механизации и вообще при росте технической части капитала. Исследование структуры издержек производства с точки зрения их изменения при различных масштабах производства приобретает исключительно большое значение при определении оптимальных размеров предприятия и хозяйственно допустимых колебаний в нагрузке предприятий при меняющейся конъюнктуре.



Фиг. 2.

Схематически соотношение себестоимости и выручки от продажи при разных степенях нагрузки представлено на фиг. 2. До точки *S* (в немецкой литературе называемой «мертвой точкой»), где пересекаются линии себестоимости и выручки, соответствующей 70 % нагрузки, предприятие работает в убыток. Затем рост нагрузки увеличивает рентабельность, пока не наступит новый перелом, так как «пере-

грузка» активирует «прогрессивные расходы». Задача конкретного анализа на данном предприятии — путем изучения структуры издержек определить эти критические точки экономичности работы предприятия.

Аналогичный метод исследования применяется при определении низшей границы цены при политике форсирования сбыта продукции за границей (политика «dumping»), при чем «рентабельной» ценой является не цена, покрывающая полную себестоимость, а обеспечивающая лишь покрытие пропорциональных издержек. При оценке работы предприятия, при проектировании мероприятий рационализаторского характера, при организации нового производства или нового предприятия исследование калькуляции, помимо анализа отдельных частей, должно вестись и в плоскости вскрытия взаимозависимости отдельных элементов. Технич. организация предприятия представляет собою сложный комплекс материально-технич. и экономич. факторов, оптимальное сочетание к-рых постоянно меняется. Соотношение в цене сырья, топлива, рабочей силы, % на капитал, стоимости тарифов и пр. предопределяет и определенную техническую физиономию предприятия, степень его механизации и т. д. Все это ставит науку о К. не столько в разряд бухгалтерских, сколько техно-экономических дисциплин.

Задачи К. определяют ее место в системе организации предприятия. Калькуляцион. отдел является связующим звеном между технич. и бухгалтерской частями предприятия. На практике структура калькуляцион. отделов и взаимоотношение их с др. частями предприятия чрезвычайно пестры. В одних предприятиях они целиком подчинены технич. части, в других входят в состав бухгалтерии, в третьих поделены между ними так, что технической К. (изучением норм расхода сырья, материалов, энергии, рабоч. времени и пр.) занимается технич. часть предприятия, ценностной—бухгалтерия. За границей отмечается определенная тенденция передачи К. из бухгалтерских ячеек в ведение технич. и производственных бюро (особенно в С.Ш.А).

Кроме анализа издержек производства по К. внутри предприятия, огромное значение приобретает анализ их путем сравнения К. между аналогичными предприятиями. Иностранная литература по вопросам организации и экономики предприятий уделяет очень большое внимание методике таких сравнений (работы Шмаленбаха, Шульце-Мерина и др.). С этой целью ведется большая работа по унификации методов калькулирования в различных отраслях промышленности. Характерно, что несмотря на коммерч. тайну, оберегающую данные о себестоимости, за границей создается ряд объединений по обмену между собою К. В Германии унификационная работа в области методики калькулирования ведется «Комитетом хозяйственности» (Ausschuss für wirtschaftliche Fertigung), издавшим «Grundplan der Selbstkostenrechnung», а также и другими организациями (в частности VDMA—Verein deutscher Maschinenbau-Anstalten). В Соед. Штатах Америки в 1919 г. была основана «National Association of Cost Accountant» (N.A.C.A.), созывающая по вопросам методики калькулирования международные съезды и издающая специальный журнал и труды. У нас этой работой занято «Бюро цен при президиуме ВСНХ СССР», периодически созывающее конференции по отраслям промышленности и выпустившее целую библиотечку (ок. 30 выпусков) «Методов калькулирования» по отдельным отраслям.

Лит.: Смит М. Н., Экономич. основы калькуляции, М., 1926; Никольсон Дж. и Рорбах Дж., Основы калькуляции, Москва, 1926; Тер-Акопьянц С. Г., Основы правильной калькуляции, Москва, 1925; Шперлих А., Накладные расходы в себестоимости производства, М.—Л., 1927; Фишер Р., Калькуляция и организация предприятия, Л., 1926; Методы калькулирования в промышленности, 30 вып. по отдельным отраслям, М., 1927—29; Молчанов С. А., Издержки производства промышленности СССР, М., 1926; Leitner F., Selbstkostenberechnung industrieller Betriebe, Frankfurt a/M., 1923; Schmalenbach E., Grundlagen der Selbstkostenrechnung u. Preispolitik, Leipzig, 1927; Lehman M. R., Die industrielle Kalkulation, Berlin, 1925; Rahm W., Die Unkosten im Fabrikbetrieb, Stg., 1927; ряд статей в Handwörterbuch der Betriebswirtschaft, Stuttgart, 1926—28; Atkins P., Industrial Cost Accounting for Executives, New York, 1924; Castenholz W., Cost Accounting Procedure, Chicago, 1925. **С. Молчанов.**

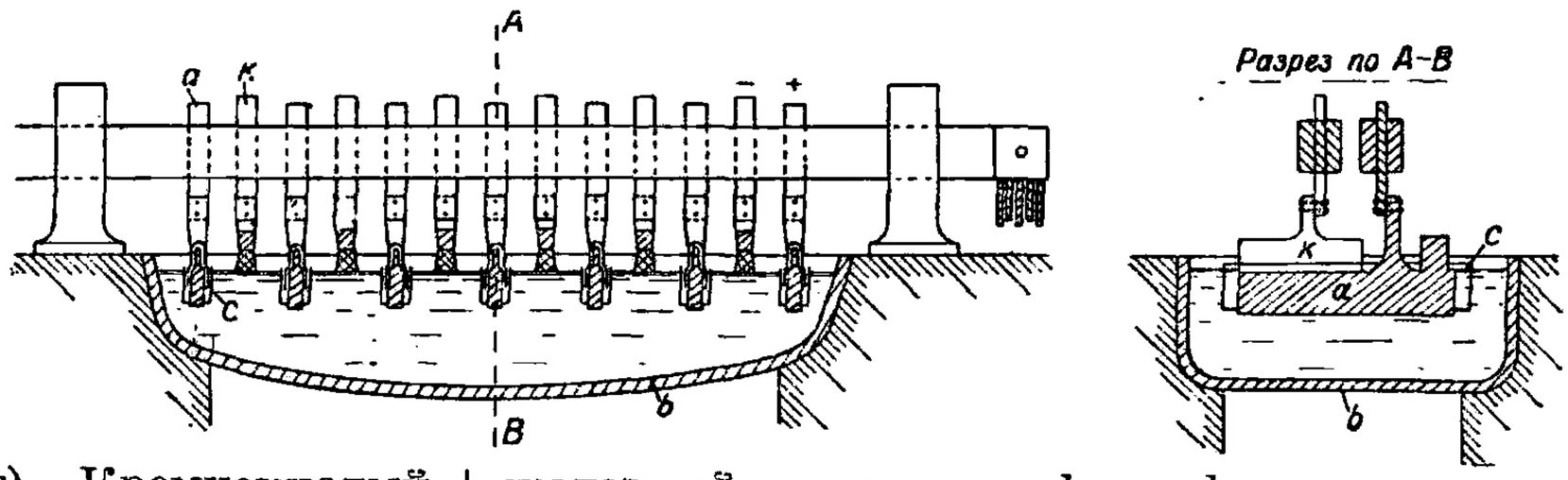
КАЛЬЦИЙ, Ca, химич. элемент II группы периодической системы, аналог Sr, Ba и Ra, составляющий вместе с ними подгруппу т. н. щелочноземельных металлов; ат. вес 40,07, ат. номер 20. В свободном состоянии К.—серебристо-белый металл, на воздухе быстро желтеющий (вследствие образования пленки азотистого соединения), довольно вязкий, способный коваться и вытягиваться; твердость его несколько выше, чем свинца. Кристаллизуется в ромбоэдрах или гексагональных табличках. Уд. вес 1,52—1,55 (различные образцы металла дают от 1,413 до 1,85); $t°_{пл.}$ 800—810°; $t°_{кип.}$ около 1 170°. Спектр К. характеризуется рядом ярких линий в оранжевой части спектра, несколькими линиями в фиолетовой и полосой в зеленой. В продажу К. выпускается в виде зерен или палочек; сохраняется лучше всего в легких минеральных маслах.

К. обладает ярко выраженными металлич. свойствами и высокой реакционной способностью. В совершенно сухом воздухе он устойчив, во влажном—быстро окисляется на поверхности. При нагревании до 300° загорается и горит ярким пламенем, соединяясь не только с кислородом, но и с азотом атмосферы, при чем образуется смесь окиси—CaO и нитрида—Ca_3N_2. При нагревании в струе азота или водорода до $t°$ красного каления К. соединяется с ними, образуя азотистый К. (Ca_3N_2) или водородистый К. (CaH_2). В аналогичных условиях К. легко соединяется с галоидами, серой, фосфором, мышьяком, висмутом, углеродом (образуя карбид, CaC_2) и кремнием; дает ряд сплавов с магнием, цинком, алюминием, оловом и никелем. При высоких $t°$ К. восстанавливает окислы многих металлов, а также и металлоидов, напр.: B_2O_3, SiO_2, CO_2 (образуя CaC_2 и CaO), CO (лишь частично), NO, P_2O_5 (со взрывом), SO_2 и SO_3. При $t° \geqslant 800°$ К. реагирует с фтористыми и хлористыми солями Na и K, восстанавливая свободный щелочной металл. Сероводород, аммиак и углеводороды при нагревании с К. разлагаются, при чем последний дает

соединения с элементами этих веществ. С аммиаком, при темп-ре не выше 15°, К. дает неустойчивое твердое соединение $Ca(NH_3)_4$ (кальцийаммоний), легко распадающееся с образованием кристаллического кальцийамида, $Ca(NH_2)_2$. К. энергично разлагает при обыкновенной $t°$ воду (но медленнее, чем калий или натрий), выделяя водород; бурно реагирует с разбавленными к-тами, с ангидридами и хлорангидридами кислот; конц. соляная к-та на него почти не действует; дымящая серная кислота разлагается с выделением SO_2 и S; обычная конц. H_2SO_4 выделяет также и H_2S. Валентность К. во всех устойчивых его соединениях равна 2.

По распространенности в природе К. занимает среди элементов пятое место; среднее содержание его в доступных исследованию слоях земного шара равно 3,25% по весу; в твердых частях земной коры К. составляет по весу ок. 3,5% (шестое место), в воде океанов—0,05%. Многие горные породы, образующие мощные залегания, состоят целиком или в значительной части из кальциевых солей: углекислого кальция (известняки, мел, мрамор, доломиты), сернокислого (гипс), фосфорнокислого (фосфориты, апатиты) и фтористого К. (плавиковый шпат). Кремнекислый К. является составной частью огромного большинства природных силикатов. Нерастворимые соли К. образуют основу костей животных и раковин моллюсков, а растворимые содержатся в воде природных бассейнов и в соках растений.

Получение металлич. К. в чистом виде представляет большие трудности. Впервые К. был выделен Деви в 1808 году, но добывание его в технич. размерах началось лишь с 1904—05 гг. Металлич. К. может быть получен двумя путями: чисто химическим и электрохимическим. Первый метод (восстановление солей К., напр. CaJ_2 или смеси $CaCl_2$ и KCl, металлич. натрием или магнием при высокой $t°$) не нашел применения в технике вследствие его дороговизны, плохих выходов (обратимость реакции) и нечистоты получающегося продукта. Электрохимические методы основаны на электролизе расплавленной соли; электролитом служит $CaCl_2$ ($t°_{пл.}$ 780°), или смесь из 100 в. ч. $CaCl_2$ и 16,5 в. ч. CaF_2 ($t°_{пл.}$ 660°), или же смесь 85% $CaCl_2$ и 15% KCl. Конструкция печи (ванны), предложенная в 1902 г. Борхерсом для промышленных целей, представляла собою цилиндрический сосуд, сложенный из угольных брусков или плиток и служивший анодом; дно его покрывалось набойкой из CaF_2, а остальное пространство заполнялось электролизируемой солью. Соль расплавлялась током при помощи тонкого угольного стержня—сопротивления, зажатого предварительно между анодом и катодом; в качестве последнего брали железный прут, расположенный вертикально по оси печи и своей нижней частью погруженный в электролит. К., отлагающийся на катоде в виде губчатой массы, вычерпывался ложкой и погружался в керосин. Горячим прессованием сырого продукта отжимали большую часть шлаков и получали металл примерно 90%-ной чистоты. Дальнейшая очистка (переплавление в закрытых железных или никелевых тиглях) давала 99—99,3%-ный К. Другой способ электролиза, принадлежащий Ратенау (1904 г.) и технически наиболее совершенный, характеризуется применением т. н. прикасающегося электрода: катод (железный или медный) поддерживается при возможно низкой $t°$ и не погружается в электролит, но лишь соприкасается с его поверхностью. Выделяющийся металл застывает на нижнем конце катода; последний в процессе электролиза постепенно приподнимают так, что К. нарастает на нем в виде столбика неправильной формы, поверхность которого защищается от окисления коркой шлака; этот столбик в дальнейшем сам служит электродом. Современный тип заводской ванны (см. фиг.):



железный резервуар b в форме корыта, вдоль к-рого, на подобие зубьев гребенки, расположены электроды — непогруженные железные катоды k чередуются с погруженными анодами a, угольными или графитовыми, обернутыми металлической сеткой c. Процесс ведется при температуре 660—800°, напряжении ванны 18—42 V и плотности тока 50—250 А/$см^2$; продукт содержит до 98% чистого К.

Примерный состав продажного электролитическ. кальция (в % по весу): 98,01 Ca, 0,94 Cl, 0,837 O, 0,14 Mg, 0,032 Si, 0,028 Al, 0,013 Fe. Выходы по току меняются в пределах 30÷82%; соответственно этому для получения 1 $кг$ К. требуется 42÷110 kWh. Весьма значительная часть энергии тока расходуется на нагревание электролита. По методу Ратенау до настоящего времени ведется техническое получение К. на электрохимич. заводе в Биттерфельде (Германия); продукция его, однако, незначительна.

Применение К. в промышленности пока еще очень ограничено. Он употребляется вместо щелочных металлов для обезвоживания некоторых органических соединений; по сравнению с калием и натрием, для него является большим преимуществом менее бурное реагирование с водой и меньшая щелочность его гидроокиси. Большие надежды возлагались на К. как на удобный аккумулятор водорода: водородистый К., CaH_2 (см. *Кальция соединения*), одно время готовился в Германии в техническ. масштабе для нужд воздухоплавания; производство это, однако, не развилось вследствие дороговизны К. Делались также попытки использовать К. в металлургии как восстановитель и как средство для удаления (связывания) серы и фосфора. Иногда К. при-

бавляют в небольших количествах (1—3%) к свинцу для придания последнему большей твердости. Наконец, в самое последнее время К. (в сплавах с другими легкими металлами) нашел применение в качестве газообразователя при изготовлении *газобетона* (см.). Специфич. областей применения для К. не найдено.

Лит.: Общая—см. *Кальция соединения.* Металлургия кальция — Изгарышев. Н А., Электрохимия и ее технические применения, Ленинград, 1929; Rathenau, «Zeitschrift f. Elektrochemie», Halle a/S., 1904, B. 10, p. 502; Billiter, Die elektrochemischen Verfahren d. chemischen Grossindustrie, B. 3, Leipzig, 1918: Regelsberger, Chemische Technologie d. Leichtmetalle u. ihrer Legierungen, Leipzig, 1926; Г. П. 96672, 144777, 153731, 155433.

В. Янковский.

КАЛЬЦИТ, известковый шпат, минерал, одна из полиморфных разностей углекислого кальция; принадлежит к ромбоэдрич. классу гексагональной системы; кристаллы имеют форму столбчато-призматическ. и вытянутых ромбоэдров; спайность по плоскостям ромбоэдра в высшей степени совершенная; прозрачен, или только просвечивает, или непрозрачен; бесцветен или окрашен примесями в зеленый, голубой, красный, желтый, бурый и черный цвета; блеск стеклянный, а на спайных плоскостях иногда перламутровый; хрупок; тв. 3; уд. в. 2,72; хим. состав—$CaCO_3$ (56% CaO и 44% CO_2). Перед паяльной трубкой не плавится, плавится только при высоких давлении (110 *atm*) и $t°$ (1 289°); при 825° начинает разлагаться на CaO и CO_2; растворяется в HCl даже на холоду. К. может находиться в двух формах—α и β; переход из одной формы в другую совершается при 970° ± 5° (форма α выше, β ниже этой $t°$); различаются эти формы термически; оптических и кристаллографич. различий в формах пока не установлено.

К. после кварца самый распространенный минерал, важная составная (иногда связующая) часть осадочных пород водного происхождения; в изверженных породах считают его продуктом вторичным, хотя в последнее время допускают магматическое его образование. Сложение К. различно: в известняках—плотное, в мраморах—кристаллическое, в мелу, натечных туфах, пещерных сталактитах—рыхлое, землистое. К.—важнейший петрофицирующий (вызывающий окаменение) минерал. Применение слагаемых им горных пород разнообразно: изготовление портланд-цемента, строительных и декоративных камней, флюсов в металлургии, искусственных удобрений. Совершенно прозрачная и бесцветн. разность К.—исландский, или удвояющий, шпат—обладающая сильным двойным лучепреломлением, применяется при изготовлении оптической системы многих приборов применяемых для поляризации света (призмы Николя). Главное месторождение этого шпата — о-в Исландия (близ Гельгустадира). Значительно уступающий по качеству материал добывается из америк. месторождений (Калифорния, Warner Range близ Cedarville, Modoc County). Данные поисковых работ 1926/27 г. подтверждают возможность нахождения и в СССР технически пригодного исландского шпата в промышленных количествах. В Сибири месторождение исландского шпата находится у с. Тамбар, Ачинского окр., на С. Алтае в горе Чебаниха, в Якутской автономной республике в Аламджахском месторождении. См. *Спр. ТЭ*, т. I.

Лит.: Годовой обзор минер. ресурсов СССР за 1926/27 г., Л., 1928; «НИ», т. 1, Л., 1926; Лебедев Г., Учебник минералогии, СПБ, 1907; Штини И., Мушкетов Д., Технич. геология, М.—Л., 1925; Fay A., A Glossary of the Mining a. Mineral Industry, Waschington, 1920; Ladoo R., Non-metallic Minerals, N. Y., 1925.

КАЛЬЦИЯ СОЕДИНЕНИЯ. В своих соединениях Ca фигурирует как двувалентный элемент и образует только один вид ионов, а именно бесцветный катион $Ca^{\cdot\cdot}$. Окись, CaO,—чрезвычайно прочное соединение, непосредственно дающее с водой гидрат окиси, $Ca(OH)_2$. Последний представляет собою вещество со свойствами основания, сильно ионизированное, но отличающееся от едких щелочей малой растворимостью в воде. Хлористая и азотнокислая соли легко растворимы в воде; фтористая, углекислая и сернокислая—мало или вовсе нерастворимы. Ион $Ca^{\cdot\cdot}$ не осаждается сероводородом. От своих аналогов, Sr и Ba, кальций отличается меньшей растворимостью гидрата окиси, большей растворимостью сульфата и хромата, растворимостью хлорида и нитрата в спирте и оранжевым окрашиванием пламени солями Ca. Способность к образованию комплексных ионов у Ca слабо выражена, но все же заметна: на это указывает, напр., значительное содержание кристаллизационной воды в его солях, образование двойных солей, гидратов и аммиакатов, а также часто наблюдаемое повышение растворимости солей Ca в присутствии других веществ.

Аналитич. определение Ca в солях производят чаще всего весовым путем, осаждая Ca-ион в виде углекислой или щавелевокислой соли; осадок после прокаливания дает CaO, которую и взвешивают. Иногда применяется осаждение Ca в виде сульфата (в водно-спиртовой среде). В промытых осадках углекислой или щавелевокислой соли можно определять Ca и объемным путем, растворяя их в соляной кислоте, после чего в первом случае избыток HCl оттитровывается щелочью, а во втором—свободная щавелевая к-та титруется при помощи $KMnO_4$ (в присутствии солей Mn). Предложенное Риглером газоаналитич. определение Ca состоит в том, что анализируемую соль переводят в мало растворимый иодат, $Ca(JO_3)_2$, который обрабатывают сернокислым гидразином и, исходя из ур-ия реакции

$$Ca(JO_3)_2 + 3N_2H_4 + H_2SO_4 = CaSO_4 + 2HJ + 6H_2O + 3N_2,$$

вычисляют содержание Ca по объему выделившегося азота.

Азотнокислый кальций, $Ca(NO_3)_2$, кристаллизуется с четырьмя, тремя и одной молекулами H_2O; хорошо растворим в воде и спирте. Безводный $Ca(NO_3)_2$ имеет уд. в. 2,36 и $t°_{пл.}$ около 560°; трехводная соль плавится при 51,1°; четырехводная соль плавится при 42,3° и имеет уд. вес 1,82. Растворимость в 100 *г* воды (для безводной соли) при 0°—93 *г*, при 18°—121,2 *г*. Насыщенный при 18° (54,8%-ный) раствор имеет уд. вес 1,548; раствор, насыщенный при кипении, содержит 351,2 *г* соли на 100 *г* воды и имеет $t°_{кип.}$ 152° (max); 30%-ный раствор име-

ет $t°$ замерзания −12,9°. При накаливании $Ca(NO_3)_2$ разлагается на NO_2, O_2 и CaO. Промышленное получение $Ca(NO_3)_2$ в большом размере осуществляется на з-дах, фиксирующих атмосферный азот по способу Биркеланда и Эйде (см. *Азотная кислота* и *Азотные удобрения*); выпускаемый ими продукт—«норвежская», или кальциевая, селитра—представляет собою технич. азотнокислый Ca с большей или меньшей примесью основной соли $3\,CaO \cdot N_2O_5\ (1 \div 6)H_2O$; используется как удобрительн. средство. Чистый $Ca(NO_3)_2$ получают растворением $CaCO_3$ в азотной кислоте и кристаллизацией; применяется в лабораториях для сушения двуокиси азота.

Гидрат окиси кальция, гидроокись кальция, $Ca(OH)_2$, белый порошок с уд. весом 2,08—2,34; растворимость при 0°—1,7 *г*, при 80°—0,9 *г* в 1 *л* воды; раствор (известковая вода) имеет щелочные свойства [см. *Известь* (гашеная)].

Гидрид кальция, водородистый кальций, CaH_2, землисто-серая кристаллич. масса с уд. весом 1,7, разлагающаяся во влажном воздухе, нерастворимая без разложения ни в одном растворителе. Получается технически пропусканием водорода в расплавленный металлический Ca; реакция идет с выделением тепла и заканчивается в несколько минут. Технич. продукт содержит около 84% чистого CaH_2; используется в небольших размерах для получения водорода, так как легко и быстро реагирует с водой по ур-ию:

$$CaH_2 + 2H_2O = Ca(OH)_2 + 2H_2.$$

Гидросульфит кальция, $CaS_2O_4 \cdot 1{,}5\,H_2O$, мелкие, растворимые в воде игольчатые кристаллы, при 120° частично теряющие воду. Получается: а) осаждением из крепких растворов гидросульфита натрия ($Na_2S_2O_4$) и $CaCl_2$ при 50—70° либо б) восстановлением концентрированного раствора бисульфита кальция, $Ca(HSO_3)_2$, цинковой пылью или электролитическим путем. CaS_2O_4 химически неустойчив; энергичный восстановитель (см. *Гидросульфит*). Применяется (под маркой «Редо») на сахарных заводах, для отбелки сиропов.

Гипохлорит кальция (полный), хлорноватистокислый кальций, $Ca(OCl)_2$, полученный впервые в 1875 году, только в самые последние годы был детально изучен и стал вырабатываться как технический продукт. Это вещество является сильным окислителем и белящим средством, действующим подобно *белильной извести* (см.), но с гораздо бóльшим содержанием активного хлора (до 95%). В С. Ш. А. $Ca(OCl)_2$ начали выпускать в продажу в форме прессованных таблеток, которые при растворении в воде дают готовый белильный раствор. Согласно Ам. П. 1481039 (1924 г.), гипохлорит Ca состава $Ca(OCl)_2\ 3\,H_2O$ получают, пропуская хлор при 0—5° в водную суспензию $CaCO_3$ (30 *кг* на 1 *т* воды) до насыщения; образовавшийся раствор хлорноватистой кислоты экстрагируют эфиром, хлороформом или CCl_4 при низкой температуре и обрабатывают вытяжку известковым молоком; осторожно выпаривая раствор, получают гипохлорит Ca в твердом виде. По японским данным, соединение гипохлорита Ca с известью дает устойчивый кристаллич. продукт—основной гипохлорит Ca состава $Ca(OCl)_2 \cdot 2\,Ca(OH)_2$, содержащий 40—48% активного Cl и также могущий служить белящим средством.

Кремнекислый кальций, силикат кальция (мета-), $CaSiO_3$, в чистом виде м. б. получен сплавлением порошка кварца с известью или $CaCO_3$; твердое нерастворимое вещество с $t°_{пл.} > 1\,400°$; в природе находится в виде редко встречающихся минералов: волластонита—$CaSiO_3$, пломбирита—$CaSiO_3 \cdot 2\,H_2O$ и друг. В то же время $CaSiO_3$ чрезвычайно распространен в земной коре как составная часть сложных силикатов, содержащих наряду с Ca другие металлы (Na, K, Mg, Al), а наряду с кремнием—иногда также F, Cl, P или B (см. *Силикаты*). Эти природные материалы частью имеют самостоятельное технич. применение (слюды, цеолиты), частью служат для изготовления пластических масс (алюмосиликаты). Искусственно получаемые Ca-содержащие силикаты (стекло, цементы) обладают специфическими ценными свойствами, которые и определяют их значение в технике (см. *Силикатная промышленность* и отдельные ее отрасли).

Марганцовокислый кальций, перманганат кальция, $Ca(MnO_4)_2 \cdot 5H_2O$, кристаллич. соль красного цвета, очень легко растворимая в воде; насыщенный на холоду раствор имеет уд. в. 1,8. Получается электролизом марганцовистощелочных солей на аноде (с диафрагмой) в присутствии хлористого Ca. Применяется для обеззараживания питьевой воды и для нек-рых реакций окисления; удобен тем, что при окислительном действии он переходит исключительно в нерастворимые вещества и не образует свободной щелочи:

$$Ca(MnO_4)_2 = 3\,O + MnO_2 + CaMnO_3.$$

Мышьяковокислый кальций, $Ca_3(AsO_4)_2 \cdot 3\,H_2O$, белый мелкокристаллич. порошок, очень мало растворимый в воде. Получается из мышьяковой кислоты или ее щелочных солей действием гашеной извести или крепкого раствора $CaCl_2$; аналогично м. б. получена и кислая соль $CaHAsO_4\ 2H_2O$. Технич. способ приготовления мышьяковокислого кальция состоит в осаждении его из раствора мышьяковокислого натрия известковым молоком (3—4 молекулы $Ca(OH)_2$ на 2 молекулы Na_3AsO_4); при 4 мол. $Ca(OH)_2$ получается основная соль $Ca_3(AsO_4)_2 \cdot CaO$, наименее растворимая. Перечисленные соли готовятся в промышленных размерах и применяются как инсектисиды для опыливания растительных культур. Продажный продукт содержит от 37 до 58% As_2O_5, при чем количество As_2O_5 в растворимой форме не должно превышать 0,75%. В Германии несколько фирм выпускают мышьяковокислый Ca под названием «эструмита». С. Щ. А. в 1924—26 гг. вырабатывали мышьяковокислый Ca на 18 з-дах с общей продукцией в 43 625 000 англ. фн. и выпускали его в продажу по цене 5—7 центов за англ. фн.

Окись кальция, CaO, в чистом виде—белая аморфная или кристаллич. масса с уд. в. 3,1—3,4; $t°_{пл.}$ ок. 2 570°, $t°_{кип.}$ ок. 2 850°. Реагирует с водой с образованием

гидрата окиси, $Ca(OH)_2$, и с кислотами—с образованием соответствующих солей. О получении и применении см. *Известь* (негашеная, жженая).

Перекись кальция, $CaO_2 \cdot 8\,H_2O$,—мелкие чешуйчатые кристаллы, очень мало растворимые в воде и спирте; при 130° теряет воду и дает безводную CaO_2. Получается: а) приливанием известковой воды к холодному раствору перекиси водорода (Монд) или б) прессованием смеси перекиси натрия, Na_2O_2, и сухой гашеной извести под высоким давлением, после чего масса выщелачивается водой при 0° для удаления NaOH и непрореагировавшей части (Joubert). Находит применение в некоторых косметических и гигиенических препаратах.

Свинцовокислый кальций, плюмбат кальция, Ca_2PbO_4, оранжевая или бурая кристаллич. масса, нерастворимая в холодной воде, разлагаемая горячей водой и кислотами. Получается прокаливанием смеси окиси свинца с $CaCO_3$ или известью при доступе воздуха. При нагревании в струе CO_2 плюмбат разлагается, образуя $CaCO_3$, PbO и кислород; твердый остаток, будучи прокален на воздухе, снова дает плюмбат; эти реакции предлагались в свое время для технического получения кислорода. Ca_2PbO_4 применяется в спичечном производстве как составная часть массы для спичечных головок.

Сернокислый кальций, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$,—см. *Гипс*; $CaSO_4\ 0{,}5\ H_2O$—см. *Алебастр*; безводный $CaSO_4$—см. *Ангидрит*.

Сульфит кальция, сернистокислый кальций, $CaSO_3 \cdot 2\,H_2O$, очень мало растворим в воде (1,2—2 *г* в 1 *л* при $t°$ 15÷100°); в растворах, содержащих SO_2, растворимость повышается вследствие образования кислой соли. При 150° сульфит Ca теряет всю кристаллизационную воду, при более высокой $t°$ разлагается на $CaSO_4$ и CaS; на воздухе легко окисляется, превращаясь в $CaSO_4$. Получается пропусканием сернистого газа через $CaCO_3$ или гашеную известь в свинцовых камерах. Технич. значение имеет гл. обр. кислый сернистокислый Ca, или бисульфит кальция, $Ca(HSO_3)_2$, известный только в растворах; он готовится пропусканием SO_2 (пиритных газов) через орошаемые водой башни, наполненные кусками известняка, или через батарею резервуаров с известковым молоком. Получаются растворы бисульфита Ca крепостью 4—7° Bé; при плотности 7° Bé в 1 *л* раствора содержится 30 *г* SO_2, непрочно связанного. Растворы бисульфита Ca вырабатываются и потребляются целлюлозными з-дами в процессе получения сульфитной целлюлозы (см. *Целлюлоза*); иногда они перерабатываются на гидросульфит кальция.

Сульфид кальция, сернистый кальций, CaS, аморфный тугоплавкий белый порошок или желтоватая спекшаяся масса; уд. в. 2,8. Почти нерастворим в воде, но медленно выщелачивается ею, вследствие происходящего гидролиза с образованием $Ca(SH)_2$ и $Ca(OH)_2$. Получается прокаливанием измельченного гипса с углем или сернистого натрия с углекислым кальцием; вторая из этих реакций осуществляется в процессе получения соды по Леблану, где CaS является побочным продуктом и составляет главную часть «содовых остатков» (иногда называемых «известковой серной печенью»). На газовых заводах CaS образуется в очистной массе при очистке газа известью или лямминговой массой. При кипячении с водой и серой CaS дает оранжевые многосернистые соединения (полисульфиды) CaS_4 и CaS_5, растворимые в воде. Влажный CaS при лежании на воздухе окисляется, переходя постепенно в гипосульфит кальция, $CaS_2O_3 \cdot H_2O$. В присутствии незначительного количества некоторых примесей прокаленный CaS способен фосфоресцировать (после предварительного освещения), вследствие чего он служит для изготовления фосфоресцирующих препаратов; яркость и оттенки свечения регулируются добавлением соединений некоторых металлов, например V, Bi, Mn. В кожевенной промышленности и в косметике CaS используется как депиляторий, т. е. как средство для удаления волосяного покрова с кожи. Нечистый CaS, содовые остатки и отбросы газовых заводов в некоторых случаях подвергаются переработке на серу, сернистый газ и гипосульфит натрия или используются как источник сероводорода (напр. при технич. получении метиленового синего красителя).

Сульфгидрат (гидросульфид) кальция, $Ca(SH)_2 \cdot 6\,H_2O$, бесцветная или желтоватая кристаллич. масса, легко растворимая в воде и спирте; в 100 *г* воды растворяется до 400 *г*; получается пропусканием H_2S в известковое молоко; содержится в «содовых остатках» (см. выше); в нагретых растворах постепенно разлагается с выделением H_2S; при выпаривании досуха или сплавлении отщепляет H_2S и переходит в сульфид, CaS. Применяется в текстильной промышленности для денитрации искусственного шелка. Основной сульфгидрат кальция, Ca(SH)(OH), применяется для очистки каменноугольного газа на газовых заводах (для удаления паров CS_2).

Углекислый кальций, $CaCO_3$, наиболее распространенное в природе К. с. Главнейшие минералогич. разновидности: известняки, мел, мрамор, известковый шпат (кальцит), арагонит. В чистом виде $CaCO_3$ получается осаждением из растворов хлористого Ca и соды или пропусканием углекислого газа в известковое молоко; этот продукт выпускается в продажу под названием осажденного мела. Осажденный $CaCO_3$—аморфный или очень мелкокристаллич. белый порошок, уд. в. 2,715—2,934, почти нерастворимый в воде (при 16° 1 *л* воды растворяет 13 *мг* $CaCO_3$); в воде, содержащей свободную углекислоту, заметно растворяется с образованием кислой соли $Ca(HCO_3)_2$: при парциальном давлении CO_2 0,0005 *atm*, 1 *л* воды растворяет 74,6 *мг* $CaCO_3$, при 0,984 *atm*—уже 1 086 *мг* ($t°=16°$); при кипячении раствора кислая соль диссоциирует и вновь выпадает $CaCO_3$ (см. *Накипь* котельная). При прокаливании $CaCO_3$ разлагается на CO_2 и CaO; в кислотах легко растворяется с выделением CO_2. Осажденный $CaCO_3$ используется для изготовления зубных порошков и как дешевая белая краска; ввоз его в Россию до войны (1913 г.) дости-

гал 300 *m*. Природный $CaCO_3$ является сырьем для получения всех других К. с.; огромные количества его расходуются в цементном, стекольном и керамич. производствах, в металлургии (плавень для кислых руд) и в качестве строительного материала (см. *Известняк*, *Мел*, *Мрамор*).

Уксуснокислый кальций, $Ca(C_2H_3O_2)_2$, кристаллизуется в мелких иглах: из горячих растворов—с 1 молекулой, из холодных—с 2 молекулами H_2O; $t°_{пл.}$ двухводной соли 100°. Хорошо растворим в воде, очень мало—в спирте. Растворимость безводной соли в воде (в *г* на 100 *г* H_2O): при 0°—37,40; 20°—34,73; 40°—33,22; 60°—32,70; 80°—33,50; 84°—33,80 (max); 100°—29,65. Уд. вес растворов (при 17,5°): 5%-ного—1,033; 10%-ного—1,049; 15%-ного—1,067; 20%-ного—1,087; 25%-ного—1,113; 30%-ного—1,143. Уксуснокислый Са дает кристаллические двойные соединения с уксусной к-той и с азотнокислым Са. Получается обычно действием извести на разбавленную уксусную к-ту. При действии концентрированной уксусной к-ты на твердую известь образуется аморфная кислая соль состава $Ca(C_2H_3O_2)_2 \cdot C_2H_4O_2$. При нагревании до 300—400° безводный уксуснокислый Са разлагается на $CaCO_3$ и ацетон; эта реакция служит одним из способов технического получения ацетона; нагревание с избытком гашеной извести дает метан CH_4. Нечистый (60—85%-ный) уксуснокислый Са, получаемый в технике нейтрализацией сырого древесного уксуса гашеной известью, с последующим выпариванием раствора, представляет т. н. древесный, или уксусный, порошок, идущий в переработку на уксусную к-ту (см. *Уксусная кислота* и *Ацетон*).

Фосфористый кальций, Ca_3P_2, красно-коричневая аморфная или мелкокристаллич. масса уд. в. 2,51 с $t°_{пл.} > 1\,600°$; с водой и разбавленными к-тами легко реагирует, выделяя PH_3. Получается, по Муассану, накаливанием смеси 76 ч. $Ca_3(PO_4)_2$ и 24 ч. угля в электрич. печи; служит для получения чистого (невоспламеняющегося) фосфористого водорода.

Фосфорнокислые соли кальция, фосфаты кальция (соли ортофосфорной кислоты H_3PO_4). 1) Трикальциевый фосфат, $Ca_3(PO_4)_2$, средняя соль, встречающаяся в природе в виде залежей фосфоритов, апатита $3\,Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaF_2$ и других минералов; содержится в костяной золе (83—85%). в золе растений и в гуано (около 25%); в чистом виде получается осаждением из растворов нейтральных кальциевых солей фосфорнокислым натрием (Na_3PO_4) и представляет собою аморфный белый порошок, нерастворимый в воде, но растворяющийся в разбавленных кислотах; уд. вес 2,5, температура около 1 550°. Природные фосфориты и костяная зола служат в качестве сырья для производства фосфора и суперфосфата; в молотом виде они используются и как самостоятельные удобрения. Основная соль, $Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaO$, является главной составной частью томасшлака. 2) Двукальциевый фосфат, $CaHPO_4 \cdot 2\,H_2O$, кристаллизуется в гексагональной или моноклинной форме (из горячих растворов—без кристаллизационной воды); уд. вес 3,18; растворимость при 25°—0,2 *г*, при 100°—0,8 *г* в 1 *л* воды; хорошо растворим в растворе лимоннокислого аммония. Технически получается: а) из трикальциевого фосфата—действием водяного пара и CO_2 при высокой $t°$:

$$Ca_3(PO_4)_2 + CO_2 + H_2O = CaCO_3 + 2CaHPO_4;$$

б) обработкой смеси нерастворимых фосфатов и карбоната Са соляной кислотой, после чего к полученному раствору снова добавляется $Ca_3(PO_4)_2$ в количестве, потребном для образования $CaHPO_4$; применяется как удобрение. 3) Однокальциевый фосфат, $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$, составляет главную часть технич. суперфосфата; кристаллизуется в ромбич. системе; уд. в. 2,3. Растворы имеют кислую реакцию; 1 ч. соли растворяется в 100 ч. воды целиком; при растворении в меньшем количестве воды (10—40 ч.) выпадает осадок $CaHPO_4$. Технически однокальциевый фосфат получается из $Ca_3(PO_4)_2$ путем холодной обработки камерной серной кислотой (не концентрированной):

$$Ca_3(PO_4)_2 + 2\,H_2SO_4 + 5\,H_2O = \\ = Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O + 2\,(CaSO_4 \cdot 2\,H_2O)$$

или действием избытка водяного пара и углекислого газа при нагревании:

$$Ca_3(PO_4)_2 + 2\,CO_2 + 2\,H_2O = Ca(H_2PO_4)_2 + 2\,CaCO_3;$$

в чистом виде может быть получен растворением $CaCO_3$ в теоретическом количестве фосфорной кислоты.

Фтористый кальций, CaF_2,—природный плавиковый шпат (флюорит); кристаллизуется в кубах или октаэдрах, бесцветных или различно окрашенных, с фиолетовой флюоресценцией; при нагревании люминесцирует; практически нерастворим в воде (15—16 *мг* в 1 *л*); $t°_{пл.}$—от 1 330 до 1 378°; уд. в.—от 3,01 до 3,25, расплавленного—3,16. Концентрированной серной кислотой, а также действием водяного пара (при температуре > 600°) CaF_2 разлагается с выделением HF. Применяется для получения *плавиковой кислоты* (см.) и других фтористых соединений; в металлургии—в качестве плавня.

Хлористый кальций, $CaCl_2$, кристаллизуется из воды с 6 молекулами H_2O, к-рые постепенно теряет при прокаливании, переходя в четырех-, двух-, одноводный и, наконец (выше 260°), в безводный $CaCl_2$, получаемый в виде пористой массы с кристаллич. структурой. Сплавленный $CaCl_2$ имеет слабо щелочную реакцию вследствие частичного разложения при высокой $t°$ на HCl и основную соль. Шестиводный $CaCl_2$ имеет уд. в. 1,65—1,69 и $t°_{пл.}$ 29,5°; безводный—уд. в. 2,20—2,26 и $t°_{пл.}$ 710—806° (для наиболее чистого 775—800°). $CaCl_2$ растворим в воде, спирте и ацетоне; со спиртами образует молекулярные химические соединения; поглощает аммиак, давая соединения $CaCl_2 \cdot 4\,NH_3$ и $CaCl_2 \cdot 8\,NH_3$; реагирует с сероводородом, выделяя HCl. Безводный $CaCl_2$ сильно гигроскопичен и энергично поглощает воду и водяные пары, образуя сначала кристаллогидраты, а затем расплываясь в жидкость. Растворимость $CaCl_2$ (безводного) в 100 ч. воды: при 0°—49,6;

10°—60; 20°—74; 30°—93; 40°—110; 60°—129; 80°—142; 100°—ок. 150. Уд. в. водных растворов (при 17,9°):

0%-ный	0,99869	25%-ный	1,22941
1% »	1,00703	30% »	1,28271
5% »	1,04089	35% »	1,33821
10% »	1,08467	40% »	1,39489
15% »	1,13067	45% »	1,45124
20% »	1,17910	50% »	1,50676

Крепкие растворы $CaCl_2$ имеют значительно повышенную $t°_{кип.}$ и пониженную $t°$ замерзания по сравнению с водой; $t°_{кип.}$ водных растворов м. б. вычислена по ф-ле:

$$\Delta t° = 0{,}0519\,p + 0{,}011163\,p^2,$$

где $\Delta t°$ есть повышение $t°_{кип.}$ воды, а p—%-ное содержание безводного $CaCl_2$ в растворе. 20%-ный раствор кипит при 105,5°, 50%-ный—при 130,5°, 70%-ный—при 158,4°; температура замерзания растворов различных концентраций:

% $CaCl_2$	1	5	10	15	20
$t°$ замерзания	−0,46°	−2,44°	−5,89°	−10,96°	−18,57°
% $CaCl_2$	25	*30*	35	40	50
$t°$ замерзания	−29,9°	*−40°*	−16,25°	+10,88°	+29,34°

Соль $CaCl_2 \cdot 6\,H_2O$ растворяется в воде (400 молекул H_2O) с поглощением 4,3 Cal тепла. При смешении со снегом (70 *г* на 100 *г* соли) достигается охлаждение до −50°; смесь 250 *г* соли и 100 *г* воды (при 10°) дает понижение $t°$ до −12,5°.

Растворы $CaCl_2$ являются побочными продуктами в ряде заводских химич. процессов—гл. обр. в производстве соды по аммиачному способу. Из щелоков, содержащих $CaCl_2$, твердая соль получается выпариванием. Для удаления примеси солей Mg, Mn и Fe, а также кремневой к-ты, эти щелоки предварительно кипятят с известью, затем фильтруют и нейтрализуют соляной к-той. Для более полного удаления Fe часто добавляют некоторое количество хлорной извести. В продажу $CaCl_2$ поступает в обезвоженном виде, зерненый и плавленый, в сортах, различающихся степенью очистки. Применение $CaCl_2$: 1) на з-дах и в лабораториях—для сушения газов (кроме NH_3 и H_2S) и нек-рых органич. жидкостей (исключая соединения со спиртовой ф-ией и амины); 2) в холодильных установках—в виде концентрированных растворов, не замерзающих при низких $t°$; 3) в выпаривательных устройствах (водяных банях), требующих нагрева выше 100°; 4) для получения осажденного $CaCO_3$ и других соединений Ca; 5) в производстве винной к-ты; 6) при фабрикации гидросульфита Ca (см. выше); 7) для получения металлич. Ca. Ввоз $CaCl_2$ в Россию до войны составлял ок. 600 *т*, при выработке внутри страны—ок. 20 *т*.

Хлорная известь, $Ca(OCl)Cl$,—см. *Белильная известь*.

Хромовокислый кальций, $CaCrO_4 . (2\,;\,1\,;\,0{,}5)H_2O$, кристаллическ. соль желтого цвета, плавящаяся в краснокалильном жаре. Растворимость при 0°—4,5 *г*, при 100°—0,4 *г* в 100 *г* воды; в водной хромовой к-те растворяется с образованием бихромата, $CaCr_2O_7$. Хромовокислый кальций является промежуточным продуктом при переработке хромистого железняка на щелочные хроматы (см. *Хрома соединения*).

Цианистый кальций, $Ca(CN)_2$, мелкие кубич. кристаллы с запахом синильной к-ты, легко растворимые в воде; растворы, вследствие гидролиза соли, имеют щелочную реакцию. К-тами и влажным CO_2 цианистый Ca легко разлагается с выделением HCN. Цианистый Ca м. б. получен пропусканием паров синильной к-ты в известковую воду, либо из $Ca_2Fe(CN)_6$—сплавлением без доступа воздуха и выщелачиванием плава водой. Растворы $Ca(CN)_2$ очень неустойчивы: лишь при концентрации ниже 15% и без доступа воздуха они могут сохраняться без изменения. При испарении раствора в вакууме $Ca(CN)_2$ частично разлагается, при чем выкристаллизовывается основная соль, $Ca(CN)_2 \cdot 3\,Ca(OH)_2 \cdot 12\,H_2O$, также непрочная. Технич. значение приобрела кислая соль, состава $Ca(CN)_2 \cdot 2\,HCN$, получаемая с 1923 г. в С. Ш. А. в заводском масштабе и выпускаемая в продажу под названием «порошкообразной синильной к-ты». Получение ее (по способу Метцгера) основано на взаимодействии жидкой синильной к-ты с карбидом Ca в присутствии небольшого количества (2%) воды, действующей как катализатор. Реакция идет при обыкновенной $t°$ по уравнению

$$CaC_2 + 4\,HCN = Ca(CN)_2 \cdot 2\,HCN + C_2H_2$$

с выделением ацетилена и заканчивается в течение 1 часа. Получаемый препарат—очень мелкий, легкий порошок желтоватого или коричневатого оттенка, сильно гигроскопичный, легко растворимый в спирте, разлагающийся при нагревании выше 120°; содержит 52—58% активного циана. Водой (и атмосферной влагой) он быстро разлагается, отщепляя весь циан в виде синильной к-ты:

$$Ca(CN)_2 \cdot 2\,HCN + 2\,H_2O = Ca(OH)_2 + 4\,HCN\,.$$

Вследствие этого $Ca(CN)_2$ 2 HCN нашел применение для целей дезинфекции и дезинсекции (окуривание помещений и растительных культур), заменяя свободную синильную кислоту, по сравнению с которой этот твердый продукт имеет преимущество в смысле большей безопасности и удобства перевозки, хранения и обращения.

Кальций цианамид—см. *Аммиак* и *Цианамид кальция*.

Кальция карбид, CaC_2, см. *Карбид кальция*.

Лит.: Менделеев Д. И., Основы химии, 9 изд., т. 2, гл. 14 и дополн. к ней, М.—Л., 1928; Оствальд В., Основы неорганич. химии, пер. с нем., 2 изд., М., 1914; Смит А., Введение в неорганич. химию, пер. с англ., 3 изд., вып. 2, М.—Л., 1929 (краткие сведения общего характера); Abegg's Handbuch d. anorg. Chemie, B. 2, Lpz., 1913—21; Gmelin-Kraut's Handbuch d. anorg. Chemie, 7 Aufl., Heidelberg, 1907—28 (полные физико-химич. данные); Ullm. Enz., 2 Aufl., B. 3, B.—W., 1929 (общие сведения и технология); «II годовой обзор минеральн. ресурсов СССР за 1926/27 г.» (сырье), Л., 1928. **В. Янковский.**

КАМВОЛЬНОЕ ПРЯДЕНИЕ, получение шерстяной пряжи в виде гладкой ровной нити, преимущественно высоких тонких номеров. Основным процессом камвольной обработки шерсти является гребенное чесание, имеющее целью механич. сортировку волокон по длине, окончательную очистку их от сора и посторонних примесей и параллелизацию. Получение тонких номеров пряжи достигается значительным количеством сложений и вытяжек шерстяных лент; число

сложений в процессе обработки от гребнечесальной машины до прядильной для мериносовой шерсти составляет приблизительно 17—18 млн., а число вытяжек значительно превышает эти цифры. Эти процессы *сложения* и *вытяжки* чередуются в продолжение всей обработки, начиная с поступления шерсти на кардмашину и кончая выходом готовой пряжи. Камвольный способ в смысле утилизации ценных качеств и свойств шерстяного волокна является наиболее совершенным из существующих способов обработки шерсти. Крепость пряжи, по Майеру, при камвольном способе обработки дает разрывную длину 5,95 *км*, шерстяное же волокно имеет разрывную длину 8,3 *км*. Из этого вытекает, что волокно в камвольной пряже использовано по крепости на 72%. Между тем пряжа аппаратного прядения дает разрывную длину 5,05 *км*, и, следовательно, использование волокна по крепости составляет 61%.

Для определения диаметра камвольной пряжи применяют две системы нумерации. По метрич. системе номер обозначает число мотков по 1 000 *м* каждый, заключающихся в 1 *кг* пряжи. По английск. системе номер показывает число мотков по 560 ярдов в 1 англ. фн. пряжи. Метрический номер равен 1,13 английского.

Способы камвольного прядения. Существуют три основных способа камвольного прядения: французский, или саксонский, английский, или бредфордский, и полукамвольный (практикуемый в Германии). По французскому способу обрабатываются более тонкие и, следовательно, более короткие шерстяные волокна; при этом число переходов больше, чем в других системах; гребнечесальные машины применяют периодич. действия; в приготовительном отделении лента и ровница подвергаются сучению (ложному кручению); прядильные машины бывают периодич. действия (сельфакторы) и непрерывного (кольцевые ватера); перед кручением две нити предварительно соединяются вместе на тростильной машине. По английской системе обрабатываются более грубые и длинные шерсти; для самых длинных шерстей вместо кардного способа прочеса применяется способ препарации на гилль-боксах; для гребенного чесания употребляются обычно машины непрерывного действия, редко—машины периодическ. действия; в банкаброшном отделе лента и ровница получают действительное кручение; прядильными машинами служат исключительно ватера—колпачные, кольцевые и рогульчатые. Полукамвольный способ прядения весьма близок к французскому: в нем отсутствует гребнечесальная машина и вводится дополнительно смесовая кардная машина (мишкремпель); число переходов в банкаброшном отделе значительно сокращено по сравнению с французским способом; прядение совершается на кольцевых ватерах. По своему характеру нить подходит ближе к аппаратной, чем к камвольной. По франц. способу выпрядается пряжа №№ 24—90 (метрическ.) иногда даже до № 100; по англ.—№№ 6—48; по полукамвольному—не выше № 32, обычно №№ 14—24.

Сырье для камвольного прядения. Камвольной обработке могут подвергаться шерсти от самых тонких мериносовых до самых грубых кроссбредных, диаметром волокна от 11,4 до 125 μ. Длина волокна играет для этого вида прядения существенную роль. От волокон мериносовой шерсти требуется средняя длина штапеля для утков 50—80 *мм*, а для основ 80—120 *мм* и выше, от кроссбредной шерсти для утков и основ 100—350 (изредка до 450) *мм*. В камвольном прядении могут употребляться лишь крепкие волокна, не подвергающиеся разрыву и не переходящие в очес при обработке кардой и гребнями. Мериносовые шерсти употребляются: австралийские, новозеландские, германские, венгерские, южнорусские, итальянские и друг. Тонкие кроссбредные: австралийские, новозеландские, южноамериканские (Ла-Плата, Аргентина, Пунта-Аренас) и др. Полугрубые кроссбреды: английские, голландские и др. Грубые шерсти и полугрубые русские (персидские): хорасанские, тушинские, донские и др. Наконец, для специальных целей употребляются: верблюжья шерсть, козий пух, могер, альпака, лама. Выход мытой шерсти из грязной для отечественных мериносов 25—40%, для заграничных 40—60%. Для камвольной обработки предпочтительна шерсть с нормальной или низкой извитостью, т. к. высокая извитость мешает параллелизации волокон. Для франц. способа употребляются почти исключительно мериносовые и в редких случаях метисовые шерсти, имеющие тонину 11—25 μ. Для английск. способа преимущественно употребляется кроссбредная шерсть, 25—62 и даже до 125 μ; указанные тонины соответствуют 90—28 качествам по бредфордской системе. Для полукамвольного способа употребляются преимущественно кроссбредные, а также русские и грубые шерсти.

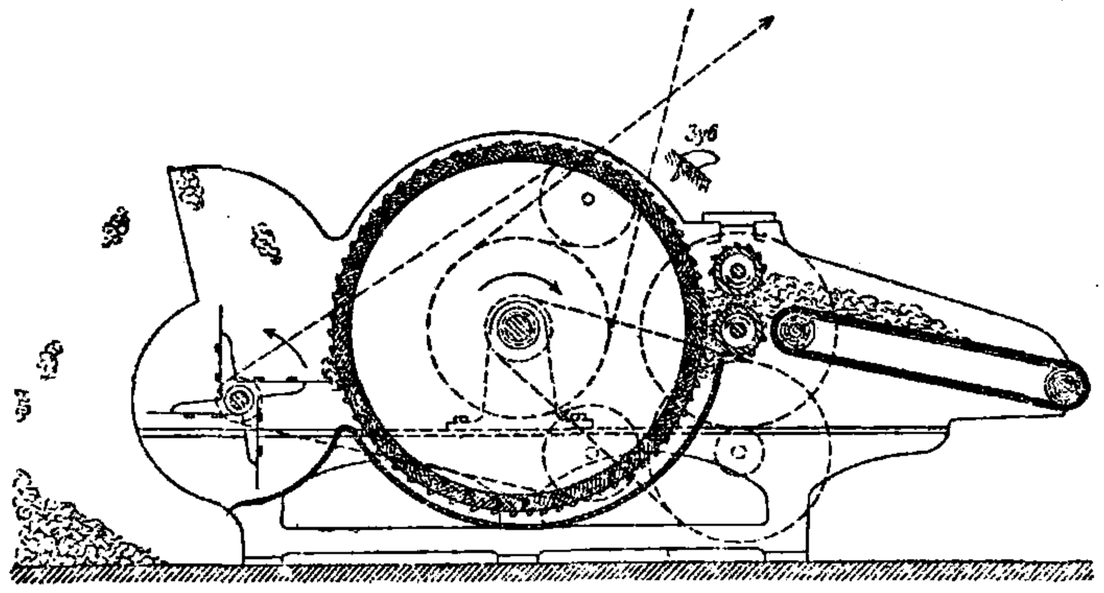
Назначение пряжи. Франц. камвольная пряжа идет для ткачества и трикотажа: основная—от № 52 и выше, обычно крученая, № 52 и ниже—в одну нитку; уток—в одну нитку, за исключением утка специального назначения, идущего в круглом виде; трикотажная пряжа—крученая. Англ. пряжа употребляется: основная пряжа—№ 36 и выше, крученая в 2 нитки, ниже этого №, а также уток—в 1 нитку; трикотажная пряжа—в 2, 3 нитки и более. Полукамвольная пряжа идет только для ткачества и заменяет в большинстве случаев аппаратный уток; основа бывает в одну нитку или крученая, а уток в 1 нитку.

Технологический ход обработки. Грязная шерсть при всех способах прядения сортируется на основу и уток в различных сортах, затем отсортировывается грубая, оборы, сорная, меченая, желтяк, порочная, клюнкер и пр. Наименование сортов и классификация различны. Различные системы классификации шерсти по тонине приведены в табл. 1. Большинство угаров в сортировке являются безвозвратными для камвольного прядения (сор, песок, мертвый волос, грязь); но часть угаров (клюнкер, провалившаяся сквозь сетку стола мелочь и проч.) идет после трепания и промывки в аппаратное прядение или в войлочно-валяльное производство.

Табл. 1. — Различные классификации шерсти по тонине.

Бредфордская	Французская	Германская	С.-Американская
90-е кач. . . .	140	Элекга	Суперфайн
80-е » . . .	130		
70-е » . .	120	ААА	»
	115—120		
66-е » . .	115	АА	»
	110—115		»
64-е » . .	110	АА/А	»
	105		»
60-е » супер.	100 прима мерино	А/АА	Файн-де-лен
60-е » ордин.			½ бред(½ bred)
58-е » . .	Прима	А	½ бред
	круазе		½ »
	Прима/I		⅜ »
56-е » . .	I	В	
	I/II		¾ »
50-е » . .	II	C^{I}	
	II/III	C^{II}	¾ »
48-е » . .	III	D^{I}	
	III/IV		¾ »
46-е » . .	IV	D^{IV}	
	IV/V		¾ »
44-е » . .	V	E^{I}	
	V/VI		¾ »
40-е » . .	VI	E^{II}	
	VI/VII		бред
38-е » . . .	VII	Лейстер	»

Рассортированная грязная шерсть протрепывается на трепальных машинах (фиг. 1). Перед промывкой протрепанная шерсть, собранная по сортам от различных партий,



Фиг. 1.

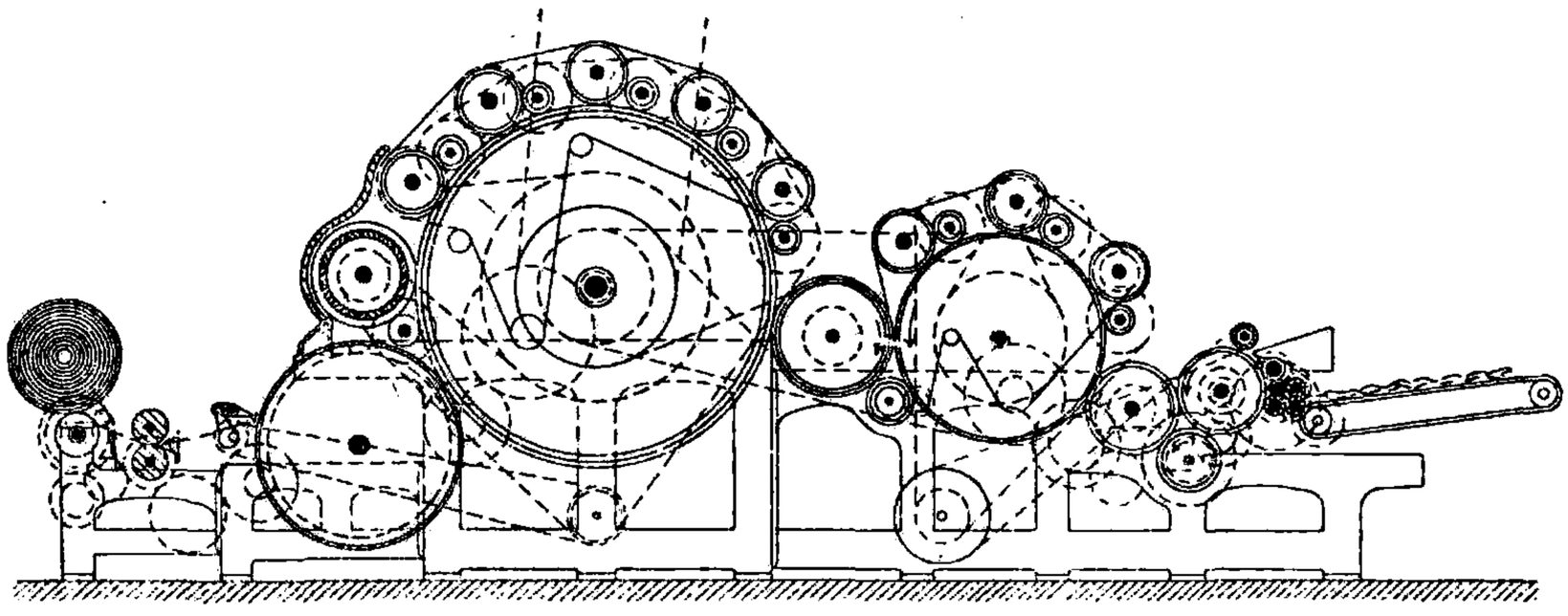
поступает в поташной аппарат (замочку), имеющий целью извлечь из шерсти растворимый в воде пот и размягчить слипшиеся концы штапелей. Фиг. 2 представляет замочку сист. Малярд: чистая вода поливает шерстяное полотно в *A* и, последовательно проходя сквозь шерсть, сливается в соответственное отделение барки, откуда поднимается

Фиг. 2.

насосом и по трубкам выливается на участок шерсти, непосредственно предшествующий этому отделению. Т. о., раствор направляется против хода шерсти и постепенно насыщается пóтом до крепости 15° Bé, отнимая его у шерсти. Из раствора пота путем обработки его серной к-той изготовляется поташ и поташное мыло. Из замочки шерсть поступает в моечный левиафан, состоящий из ряда последовательных промывных барок, чередующихся с отжимными валами. Давление валов на отжимаемую шерсть в новейших конструкциях достигает 16 *m*. Вся система барок и валов работает одновременно, и переход шерсти из одной барки в другую через валы производится автоматически, помощью особых грабель и бесконечных решеток. Все барки соединены между собою трубами, по к-рым растворы перетекают из одной барки в другую против хода шерсти. Передвижение шерсти в барках также производится механически при помощи грабель. Число барок левиафана обычно бывает для мериносовых шерстей 5, для кроссбредных 3—4, а в новейших мойках до 5. В моечных барках жир на шерстяном волокне под действием щелока (мыло и кальцинированная сода) эмульсируется и в таком виде легко растворяется в горячей воде. Вместе с жиром отходят грязь и тяжелые примеси земли и песка, чему способствует механическое воздействие грабель на шерсть при ее передвижении вдоль барки, а также отжимные вилы. Температура растворов в барках поддерживается помощью пара при 40—45°, обычно увеличиваясь от первой барки к последней.

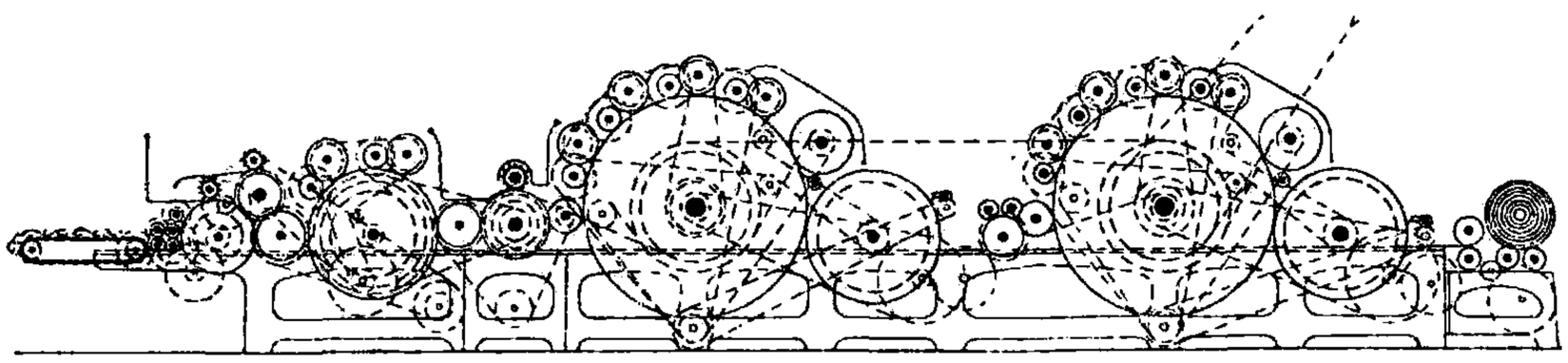
Промытая и отжатая шерсть поступает в с у ш и л к у. Сушилки обычно употребляются непрерывного действия, барабанные и с бесконечными полотнами. Ток горячего воздуха направлен обратно ходу шерсти. Темп-ра воздуха в сушилке 55—60°. Шерсть из сушилки выходит с содержанием 16—18% влаги для обычных шерстей, при чем более сорные шерсти просушиваются сильнее и при выходе замасливаются различными растворами, преимущественно оливковым маслом, олеиновой к-той в смеси с содой или нашатырным спиртом. Степень замасливания колеблется от 2 до 5%, при чем более тонкие шерсти замасливаются сильнее. Замасливающие приборы бывают двоякой системы: со щетками, разбрызгивающими смазку наподобие пульверизатора, или с откидными желобками, подающими смазку каплями на проходящую под ними шерсть. Замасленная шерсть (сильно репейные или сорные шерсти не замасливаются), еще теплая и влажная при франц. способе и остывшая—при английском, поступает для предварительного прочеса на к а р д м а ш и н у. Кардмашины бывают однобарабанные (фиг. 3) и двухбарабанные (фиг. 4). Они снабжены авантреном и в большинстве случаев автоматич. загрузочным приспособлением. Назначение кардмашины—образовать из массы шерстяного волокна, находящегося в бесформенном состоянии, шерстяное полотно определенной толщины, сообщить волокнам нек-рую параллелизацию, разделить волокна в штапелях, дав им направление в одну сторону, очистить их от посторонних примесей и спутанных волокон, далее, несколько уплотнить это полотно, образуя цилиндрич. ленту, которая навивается на шпулю крестовой намоткой или укладывается в таз (койлер). Полученные с ряда кардмашин

полотна соединяются, вытягиваются и наматываются на бобину. Для производства всех этих операций кардмашину обтягивают



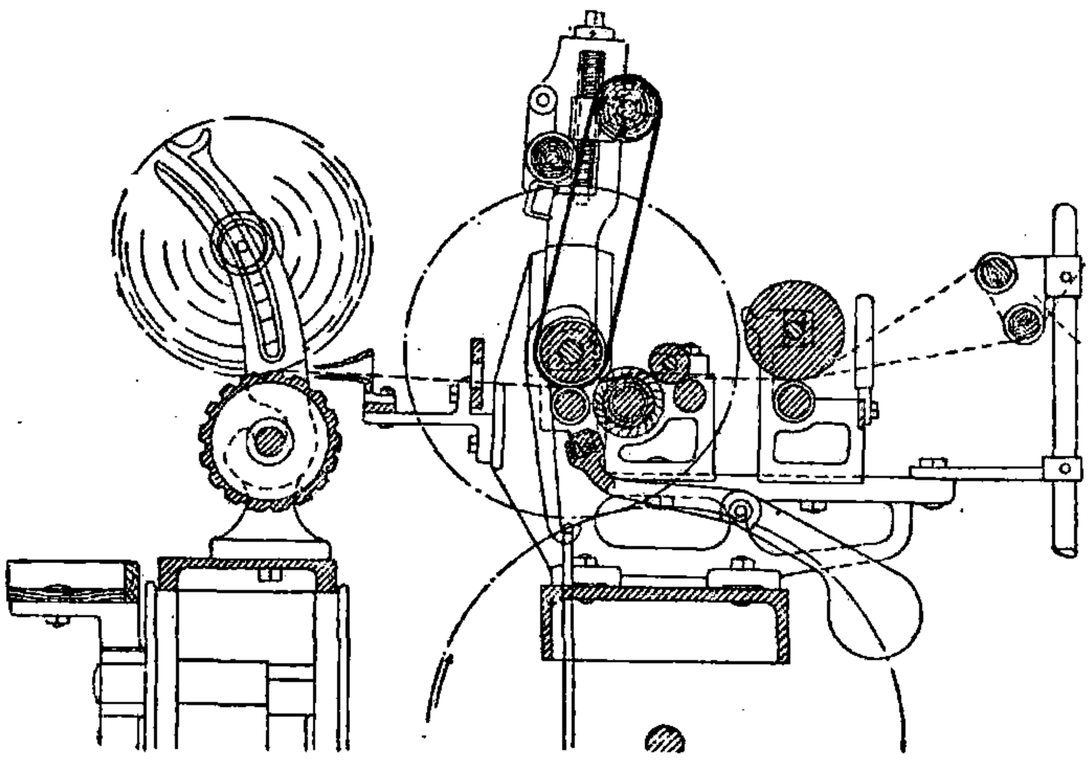
Фиг. 3.

пильчатой и кардной лентой №№ 12—14 в английской системе и до 28 во французской (см. *Кардная лента* и *Кардное производство*).



Фиг. 4.

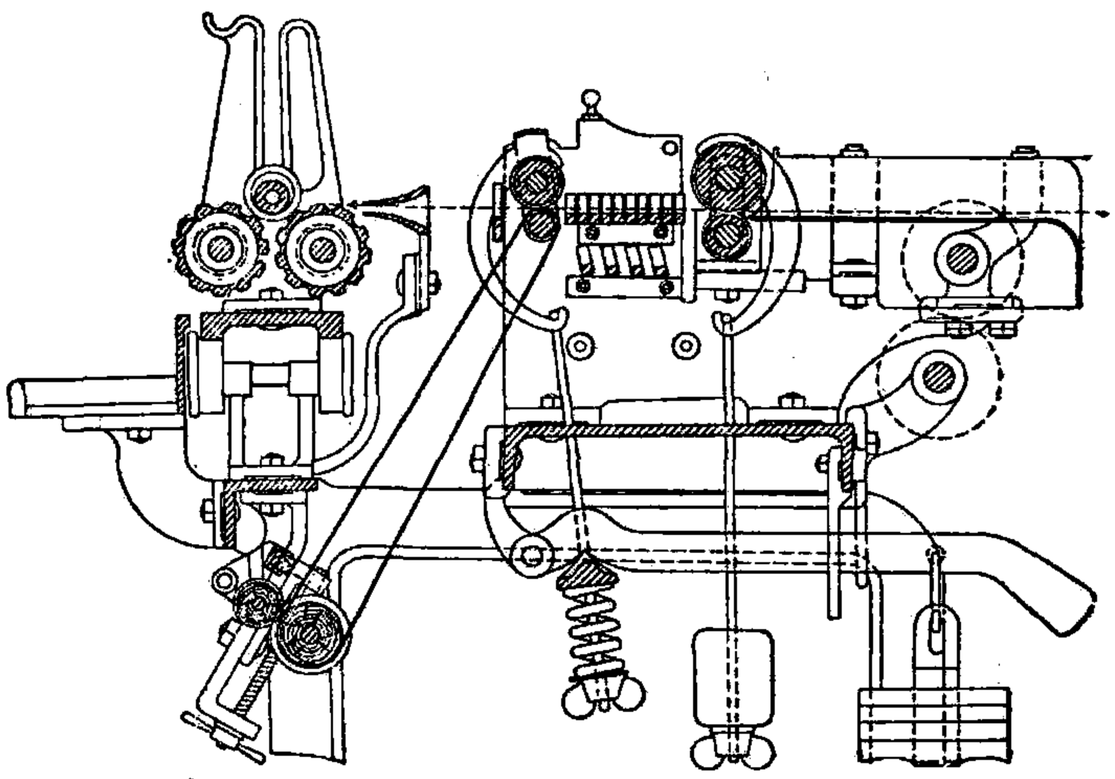
Дальнейшая работа машин заключается в подготовке лент к гребенному прочесу. Неравномерную по весу ленту с кардмашины необходимо путем сложений и вытяжек уровнить и несколько усилить параллелизацию волокон. Эти операции производятся гилль-боксами или интерсектингами. На фиг. 5 представлен гилль-бокс с круглым гребнем; на фиг. 6—гилль-бокс с одним полем падающих гребней; на фиг. 7—интерсектинг с двумя полями падающих гребней. Главными органами машин служат вытяжные пары валиков (питательные и вытяжные), гребни (круглые или плоские) и прижимающее ленту приспособление (наматывающее на шпулю или укладывающее в таз). Вытяжка совершается за счет большей окружной скорости вытяжных валиков по сравнению с питательными. На гилль-боксах



Фиг. 5.

допускается меньшая вытяжка, чем на интерсектингах. Изменение вытяжки производится путем соответственного подбора сменных шестерен и зависит от природы шерсти и положения машины в ходе технологич. процесса. Гребни двигаются в направлении движения ленты с помощью червяков, расположенных по сторонам, входя в ленту своей игольчатой поверхностью. Обратный проход гребней совершается после выхода их из ленты с помощью кулачков и червяков с обратным ходом и большим шагом. Скорость всяких гребней меньше окружной скорости передних вытяжных валиков, но может быть больше, или несколько меньше окружной скорости питательных валиков, или же равна ей. Разностью скоростей гребней и вытяжных валиков обусловливается параллелизация волокон. Лучшее смешение волокон происходит на интерсектингах, худшее — на гилль-боксах с круглыми гребнями. Во французской системе применяются все вышеуказанные виды машин, в английской — лишь гилль-бокс с одним полем падающих гребней.

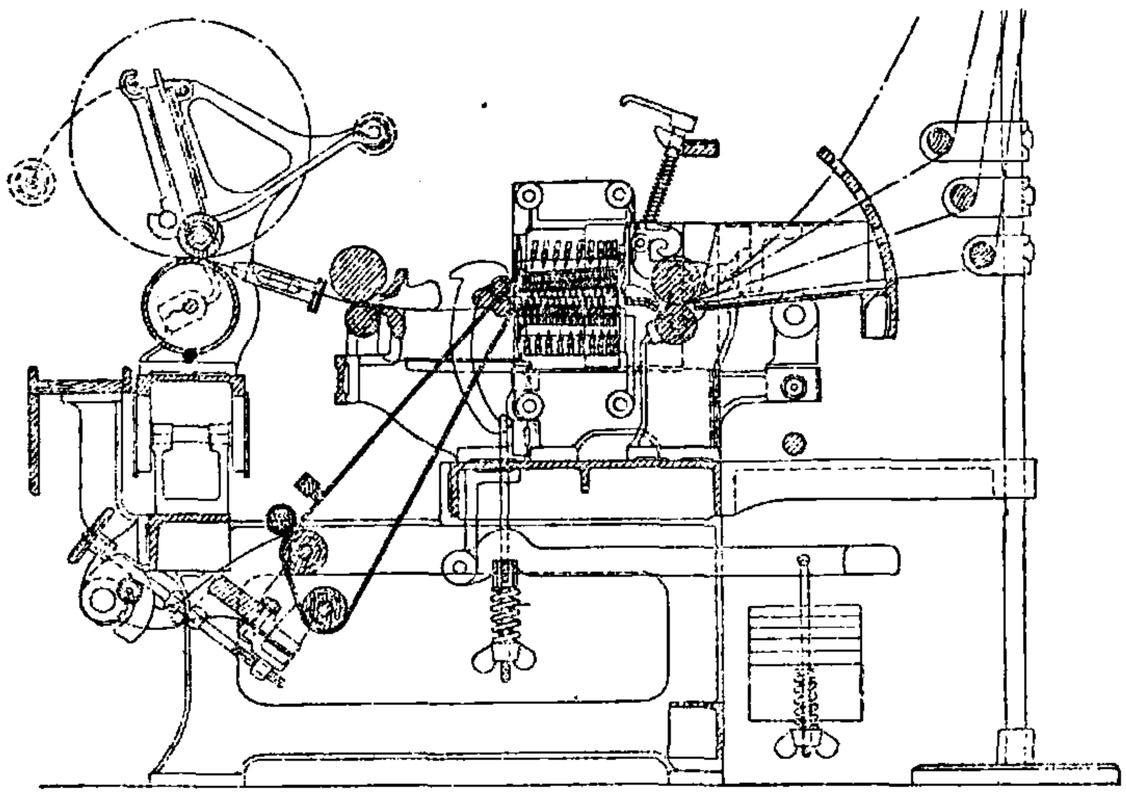
Основной машиной в К. п. считается гребенная машина, на к-рую шерсть поступает с гилль-боксов или интерсектингов. Для гребенной машины сист. Нобль



Фиг. 6.

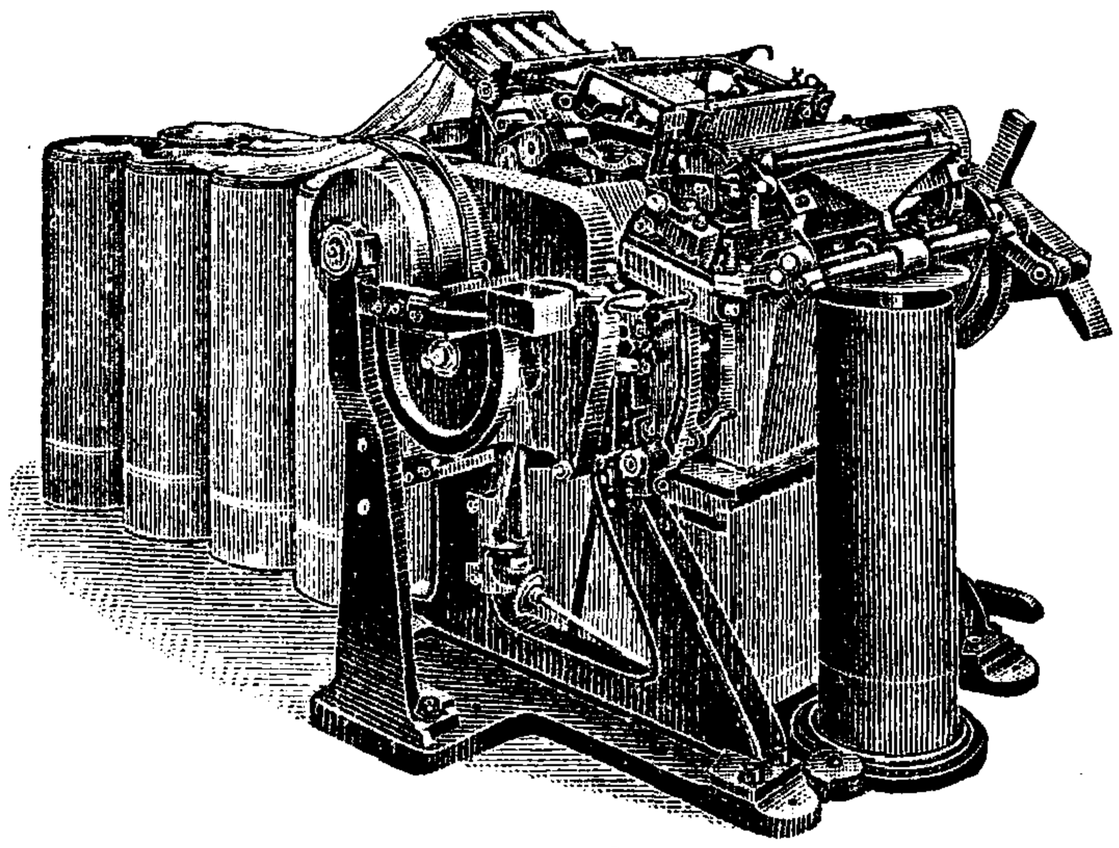
лента предварительно проходит через клубочную машинку, дающую плотный клубок, составленный из четырех лент, навитых рядом. Цель гребнечесания — превратить ленту с выпрямленными, параллельными, почти очищенными от сора и посторонних примесей волокнами различной длины, в чесаную ленту (топс) с окончательно параллелизованными и очищенными волокнами и механически отделить длинные волокна от более коротких, годных лишь для аппаратного прядения. Гребнечесальные машины разделяются на машины периодич. действия (Гейльмана, Гейльмана-Оффермана) и на машины непрерывного действия (Гольден-Листера, Нобль). Первые применяются гл. обр. при франц. способе прядения, вторые—при английском. На фиг. 8 изображена машина

Гейльмана-Оффермана, а на фиг. 9—машина Нобль. Все примеси, спутанные и короткие волокна отходят в очес, пух и прочие угары, оставляя в чесаной ленте совершенно очищенные волокна, начиная от определенной



Фиг. 7.

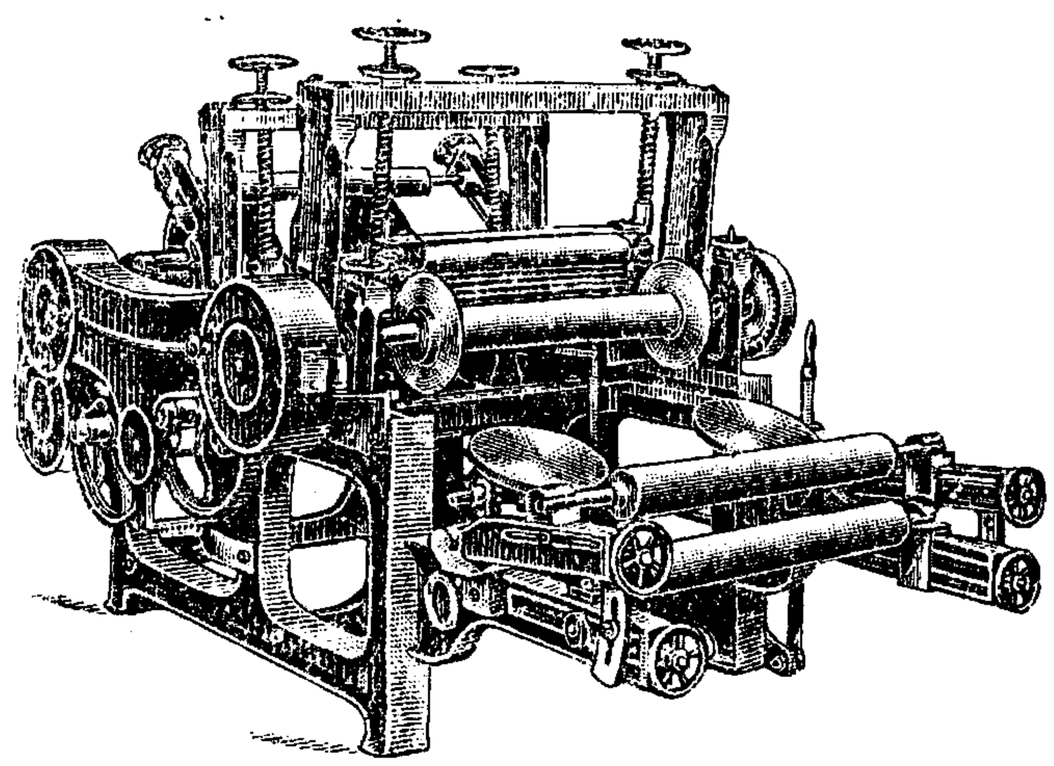
длины. Гребенный очес для мериносовых шерстей составляет 7—14%, иногда и выше; для кроссбредных шерстей 5—12%; для полугрубых русских шерстей и верблюжьей—до 22%. Как в очесе, так и в чесаной ленте могут случайно попадаться как более длинные, так и более короткие волокна. Гребенная машина периодич. действия работает следующими периодами: подача лент для прочеса, прочес хвоста штапеля круглым гребнем при защемлении головки штапеля в тисках, прочес головки штапеля плоским гребнем, подача прочесанных штапелей на бесконечный кожаный рукав и образование непрерывного полотна из прочесанных порциями штапелей. Соответственные органы машины вступают в работу в последовательном порядке и периодически. Прочесанная лента уплотняется воронкой и укладывается в таз. Очес снимается с круглых гребней щеткой, а с последней—качающейся гребенкой в специальный кожух. В машинах



Фиг. 8.

непрерывного действия все указанные выше операции совершаются также последовательно, но непрерывно. На гребнечесальных машинах происходят также сложение и вытяжка лент.

После гребенной машины ленты, для уравнения и получения определенного веса в метре, проходят через ряд тазовых, весовых, ленточных машин типа гилль-боксов или интерсектингов. Разглаживание извитков шерстяного волокна, фиксация волокна по длине и промывка лент от излишнего жира и загрязнения производится на глянцовках (гладилках, backwasher). Ленты пропускаются через ряд ванн с нагретым мыльным раствором, отжимаются после каждой из ванн в прессовых валах и затем огибают ряд сетчатых или глухих цилиндров, обогреваемых паром или горячим воздухом. В последнем случае эта часть машины заключена в кожух, в к-ром вентилятор создает циркуляцию воздуха, отнимая влагу у лент; темп-ра горячего воздуха 50—55°. При обработке очень сорной шерсти глянцовку помещают до гребенной машины, и в прочес поступает сухая лента, что дает лучшее отделение сора. Для обычных же шерстей глянцовку ставят после гребнечесания. Глянцовка соединена непосредственно с гилль-боксом с падающими гребнями или интерсектингом, к-рые уничтожают нек-рую свалянность волокон, создавшуюся в процессе промывки и отжатия на



Фиг. 9.

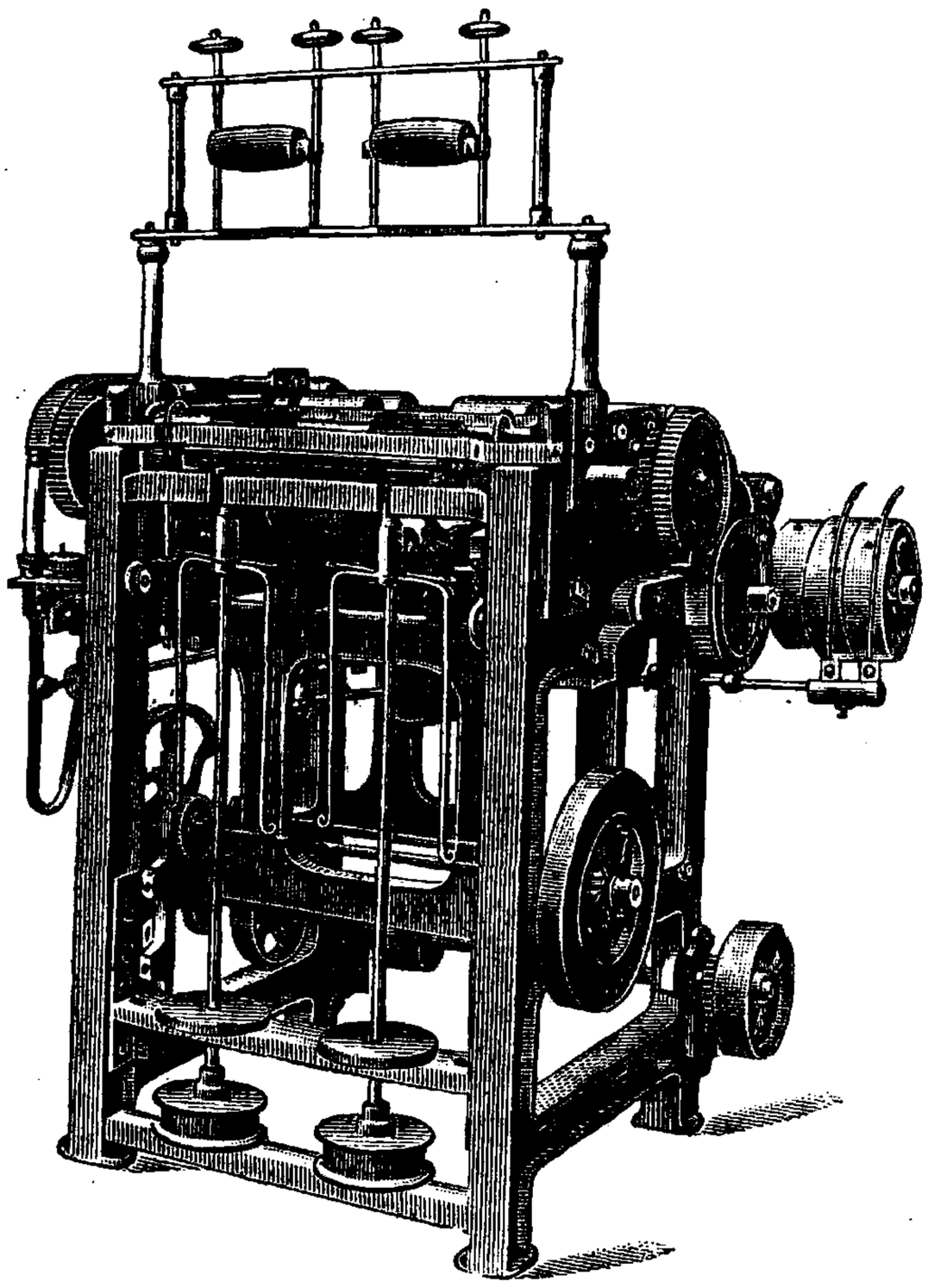
глянцовке. Шерсти русского происхождения обычно не пропускаются через глянцовку. Для иллюстрации работы чесального отдела может служить примерный план прядения (табл. 2).

При обработке длинных кроссбредных шерстей (длиною в массе от 225 *мм* и выше) англ. способом, во избежание разрыва длинных волокон, шерсть, вместо кардмашины, проходит через ассортимент (set) последовательных (5—7 *мм*) препер-боксов. Назначение этих машин—постепенно распрямить путем вытяжек и сложений волокна, очистить шерсть от сора и спутанных волокон и приготовить ленту для гребенного чесания. Препер-бокс состоит из бесконечного полотна, подающего шерсть, пары питающих рифленых валиков, падающих гребней, вытяжной пары рифленых валиков и прибора, принимающего шерстяную ленту. Каждый последующий препер-бокс имеет более тонкие иглы и меньшую разводку вытяжных цилиндров. Последовательная вытяжка шести препер-боксов примерно 45—32,5—26—21—14—10. Вес чесаной ленты 18—22 *г* в *м*. Производительность старых кардмашин 5—7 *кг* в час, новых 9—16 *кг*. Производительность гребенной машины—от 6 *кг* для ягнячьих шерстей до 14—15 *кг* в час для кроссбредных шерстей.

Табл. 2.—Примерный план камвольного прядения.

Для франц. системы (по Цехенеру)					Для англ. системы (по Барнеру и Пристмену)				
№ перехода	Название машин	Число сложений	Число вытяжек	Вес	№ перехода	Название машин	Число сложений	Число вытяжек	Вес
I	Кардмашина	1	60	13	I	Кардмашина	—	—	
II	Соединительная . . .	7	1,65	55	II	Глянцовка	10	8	
III	1-я вытяжная	2	4,58	24	III	Вытяжная	9	7,8	
IV	2-я »	4	5,65	17	IV	Гребенная (Нобль) .	72	—	
V	3-я »	3	5,1	10	V	1-я ленточная	20	6	
VI	Гребнечесальная . .	24	20	12	VI	2-я »	4	6	6 унций в 5 ярдах
VII	Тазовая	8	5,33	18					
VIII	Весовая	6	6	18					
IX	Гладилка с интерсектингом	6	6	18					
X	Ленточная	6	6	18					

Чесаная лента, после вылеживания в подвале, где она теряет приобретенное от трения статич. отрицательное электричество и отдыхает в смысле спокойного распределения волокон, поступает в приготовительное отделение, состоящее из ряда машин, через которые она последовательно переходит (переходы, пассажи). Число переходов обычно 6—11. Основными процессами работы приготовительного отделения являются сложение и вытяжка лент. При выходе из вытяжных



Фиг. 10.

валиков ленты проходят для уплотнения через воронку и сучатся кожаными муфтами (ложное кручение) во франц. системе или крутятся рогульчатыми веретенами (остающееся кручение) при англ. способе. Первыми переходами приготовительного отделения служат гилль-боксы с круглыми и интерсектинги с падающими гребнями при франц. сист. и гилль-боксы с падающими гребнями при англ. системе. Последующими переходами являются банкаброши с круглыми гребнями во франц. системе и без всяких гребней в англ. системе. Банкаброши франц. системы состоят из питательного прибора, двух пар питательных и вытяжных валиков, поддерживающих валиков между ними, круглого гребня перед вытяжными валиками, воронки, сучил и приспособления для намотки лент на крестовую бобину (фиг. 10). Нижние валики—рифленые; по ним проходят бесконечные кожаные рукава. Верхние валики—гладкие, при чем передние покрываются кирзой и пергаментом. Верхние питательные валики давят собственным весом, верхние вытяжные валики имеют прижим.

Приготовительное отделение служит для приготовления ровницы определенного номера из чесаной ленты. Обычно номер ровницы в 10 раз ниже вырабатываемой из нее пряжи. Для лучшего скольжения волокон при вытяжке ленты последнюю замасливают на первых переходах, и над проходящей лентой располагают ряд корытец, из которых по каплям стекает теплая смазка.

В табл. 3—5 приведены примерные планы прядения в приготовительном отделе для разных сортов пряжи.

Табл. 3.—Примерный план приготовительного отдела по французской системе для пряжи № 64.

№ перехода	Наименование машины	Число сложений	Число вытяжек	№ исходящей ленты
I	Гилль-бокс с пад. гребнями . . .	4	6	0,0937
II	Гилль-бокс с дв. выт. и кругл. гребнями . . .	4; 3	4; 3,9	0,0937; 0,1278
III	Гилль-бокс с кругл. гребнями	4	4,4	0,1340
IV	Грубый банкаброш	2	4	0,2681
V	Грубый банкаброш	3	4,8	0,4290
VI	Полугрубый банкаброш . . .	2	4	0,8580
VII	Средний банкаброш	3	4,8	1,3728
VIII	Средний банкаброш	4	5	1,7160
IX	Средний банкаброш	4	5	2,1450
X	Тонкий банкаброш	2	4,8	6,4350

Табл. 4.—Примерный план прядения приготовительного отдела английского прядения для тонких кроссбредов (пряжа Ботани), по Пристмену.

№ перехода	Наименование машин	Число сложений	Число вытяжек
I	Гилль-бокс	5	6
II	Гилль-бокс	5	6
III	Верет. гилль-бокс .	5	6
IV	Дроинг-бокс	5	6
V	Дроинг-бокс	4	6
VI	Дроинг-бокс	4	6
VII	Финишинг-бокс . .	4	6
VIII	Слаббинг-бокс . . .	3	6
IX	Редюсинг-бокс . . .	2	6
X	Ровинг-бокс	2	6

Примечание. Общее число сложений 480 000, общее число вытяжек 60 466 976.

Табл. 5.—Данные для полугрубых кроссбредных шерстей.

№ перехода	Наименование машин	Число сложений	Число вытяжек
I	Гилль-бокс	8	10
II	Гилль-бокс	8	10
III	Дроинг-бокс	8	10
IV	Дроинг-бокс	8	10
V	Дроинг-бокс	5	10
VI	Финишинг-бокс . . .	5	10
VII	Слаббинг-бокс . . .	5	10
VIII	Ровинг-бокс	2	10

Примечание. Общее число сложений 1 024 000, число вытяжек 100 000 000.

Расчет вытяжки на последнем банкаброше делается в зависимости от № пряжи, числа сложений и № входящей ленты по формуле:

$$E = \frac{N_{\text{втод.}} \cdot D}{N_{пр.}},$$

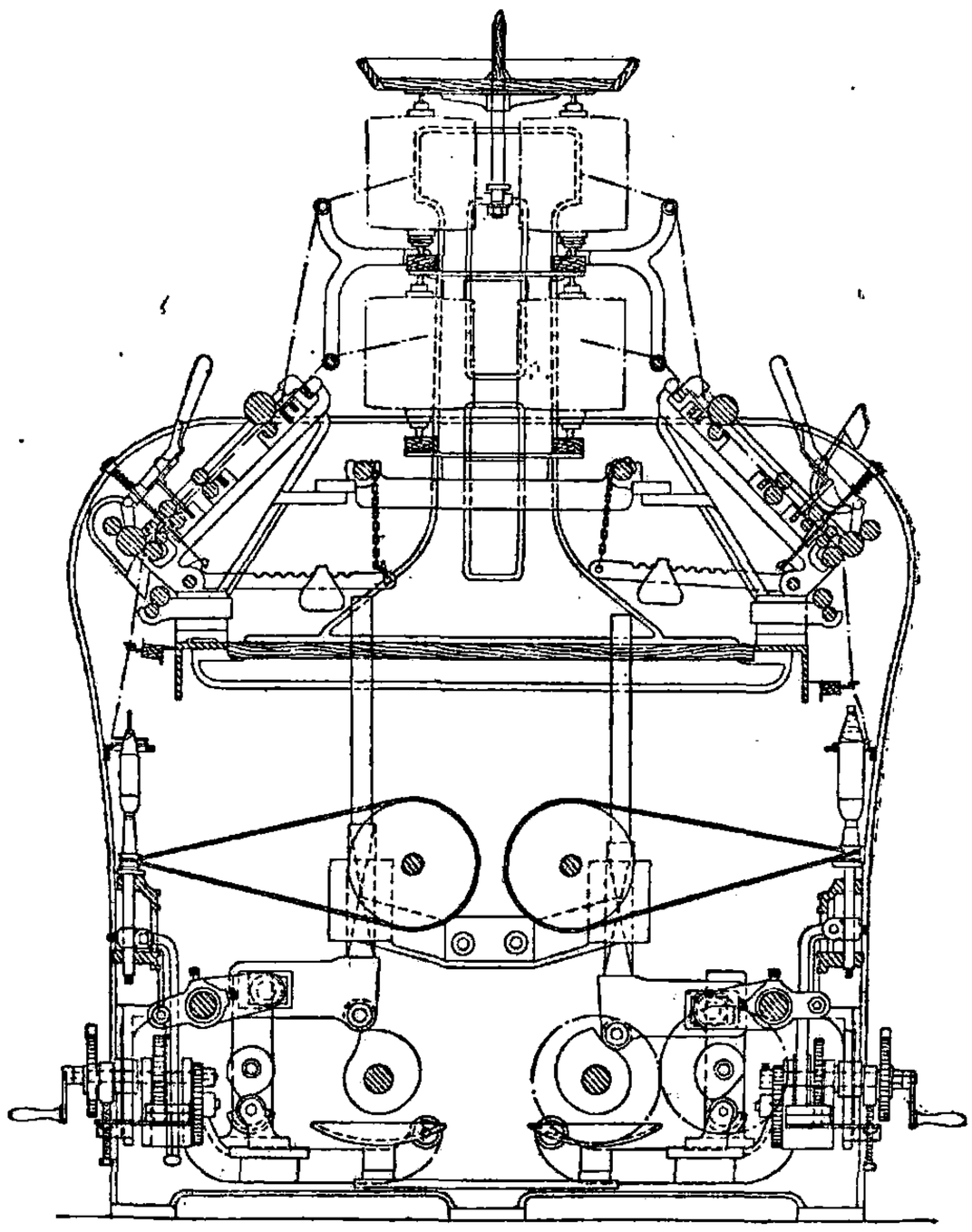
где E—вытяжка, $N_{\text{втод.}}$— номер ленты, входящей в машину, D—число сложений на банкаброше и $N_{пр.}$— номер вырабатываемой пряжи. В англ. системе обычно вместо номера указывается вес ровницы в драхмах (drs) на 40 ярдов, т. е. для $\frac{40}{560} = \frac{1}{14}$ мотка; тогда вес ровницы выразится:

$$\text{drs} = \frac{256 \cdot 40 \cdot \text{вытяжка}}{560 \cdot N_{пр.}} = 18{,}3\ \frac{\text{вытяжка}}{N_{пр.}},$$

где 18,3—постоянная величина.

Пример. Пряжа № 30 (англ.), вытяжка 12; вес ровницы (40 ярдов) $18{,}3\ \frac{12}{30} = 7{,}3$ drs (1 англ. фн.=16 унций=256 драхм).

Ровница также вылеживается в подвале при отсутствии естественного света в течение нескольких недель для удаления электричества и отдыха лент. Темп-ра подвала 8—12°; воздух д. б. достаточно влажен. После этого ровница направляется в прядильный отдел. Здесь работа машин заключается в трех основных операциях: вытяжке, крутке и намотке. Прядильные машины бывают 2 типов: периодич. действия — сельфакторы и непрерывного — ватера. Ватера, в свою очередь, разделяются по органам крутки на рогульчатые, кольцевые и колпачные. Во франц. системе прядения употребляются сельфакторы и кольцевые ватера. На фиг. 11 изображен кольцевой ватер. Сообразно поставленным задачам всякая прядильная машина состоит из трех основных механизмов: механизма для вытягивания, механизма для крутки и механизма для намотки. Вытяжной механизм аналогичен вытяжному механизму банкаброша, но не имеет гребней, которые заменяются промежуточными поддерживающими валиками; механизм расположен в неподвижной части машин—станине, горизонтально



Фиг. 11.

в сельфакторе и наклонно, под углом примерно 45° к горизонту, в ватерах. Крутящий механизм состоит из веретена в виде шпинделя или втулки (у колпачного ватера). В сельфакторах, а иногда в кольцевых ватерах франц. системы веретена располагаются наклонно, во всех прядильных машинах других систем—вертикально. Веретена помещаются на подвижных каретках у сельфактора и у колпачного ватера, при чем в первом каретка имеет движение в горизонтальном направлении, а у второго—в вертикальном; у кольцевого и рогульчатого ватеров веретена расположены на неподвижных частях. Давление питательных валиков производится собственным весом, вытяжных—нажимом грузов или пружин. Нижний вытяжной валик рифленый, верхний—во французск. системе деревянный, обтянутый кирзой и пергаментом; в английском прядении верхние ролики чугунные, покрытые двумя слоями кожи или снизу кирзой, а сверху кожей; бывают также пробковые и каучуковые ролики. Разводка вытяжных цилиндров устанавливается сообразно длине волокон, как и в приготовительном отделе. Крутка пряжи имеет целью расположить волокна в нити по винтовой линии, образуя по длине нити контур с входящими друг в друга витками, и

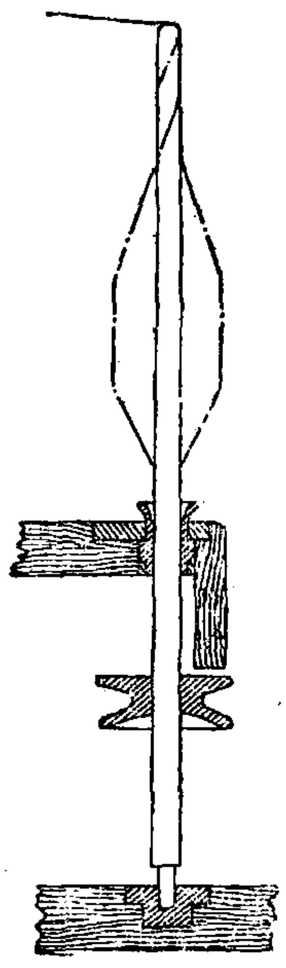
таким образом уплотнить нить. В зависимости от № прядильная крутка выражается следующей ф-лой:

$$T = \alpha \sqrt{N},$$

где α—коэфф-т крутки, N—номер пряжи. Коэфф-т α для различных видов пряжи:

Назначение пряжи	По Буркарду	В Германии	В СССР
Для основ из кроссбреда . .	0,77	—	—
» » » » . .	0,71	0,93	0,94
» п/основ » » . .	0,65	0,75	0,72—0,70
» утков » » . .	0,60	0,65	0,68

Число оборотов веретен в минуту для сельфактора—до 8 000, для кольцевого ватера франц. системы—10 000, для колпачного ватера—ок. 6 000, для кольцевого ватера англ. системы—ок. 4 000, для рогульчатого ватера—ок. 2 000. На фиг. 12 изображено веретено сельфактора, на фиг. 13—колпачного ватера, на фиг. 14—кольцевого ватера, на фиг. 15—рогульчатого ватера, при чем у колпачного ватера веретеном служит втулка, сидящая свободно на оси.



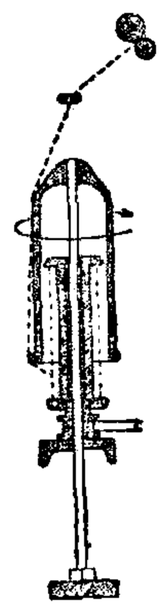
Фиг. 12.

Работа сельфактора совершается в четыре периода. Период I: работа вытяжных пар с одновременной выкаткой каретки и вращением веретен, дающим крутку, предохраняющую нить от разрыва; т. о. получается один виток нити определенного номера. В конце этого периода при остановившихся вытяжных валиках происходит добавочная вытяжка кареткой, размером в 3—7% от общей вытяжки, в зависимости от шерсти. Период II: веретена при остановившейся каретке делают обратное кручение для отмотки части нити с конца веретена; во время этого и последующего периодов натяжение нити поддерживается подниточником и наднаточником. Период III: при возвращении каретки к ее исходному положению происходит с помощью подниточника и наднаточника наматывание выпряденной нити снизу вверх на медленно вращающееся веретено; таким образом образуется конич. часть початка с плотно прилегающими друг к другу витками. Период IV: образование прослойки совершается в конце подхода каретки к брусу путем быстрого опускания подниточника. Витки прослойки образуют конческ. винт с большим шагом. Прослойка между витками намотки служит для удержания витков от сползания с конической поверхности при отмотке пряжи с початка при ткачестве. Обычное число веретен сельфактора—550 и 600. В период работы требуется 1 HP на каждые 100 веретен. Часовая производительность сельфактора (в *кг*) выражается ф-лой:

$$P = \frac{L \cdot h \cdot 60 \cdot n}{N \cdot 1\,000} \cdot \eta,$$

где L—длина отхода каретки в *м*, h—число веретен сельфактора, n—число отходов каретки в мин., N—номер пряжи (метрический), η—кпд сельфактора. Средняя производительность веретена—ок. 400 *м* в час.

Работа ватеров происходит непрерывно. Определенный участок ровницы вытягивается, затем крутится и наматывается на шпулю или катушку. Вытяжка производится с помощью вытяжных пар, крутка—с помощью веретен; при одном обороте веретена дается один оборот крутки, который распределяется на участок нити, выпущенный за этот промежуток времени вытяжными валиками. Намотка является у рогульчатого ватера следствием отставания скорости катушки от скорости веретена вследствие трения катушки о подложенный под нее суконный кружок; у кольцевого ватера — следствием отставания скорости бегунка, вращающегося по кольцу, от скорости веретена с плотно посаженной на него шпулей или катушкой; у колпачного ватера—отставания нити от веретена благодаря ее трению о край колпака. Намотка в вертикальном направлении происходит благодаря подъему и опусканию каретки с катушками у рогульчатого и колпачного ватеров и планки с кольцами и бегунками у кольцевых ватеров. Часовая производительность ватера (в *кг*) выражается формулой:

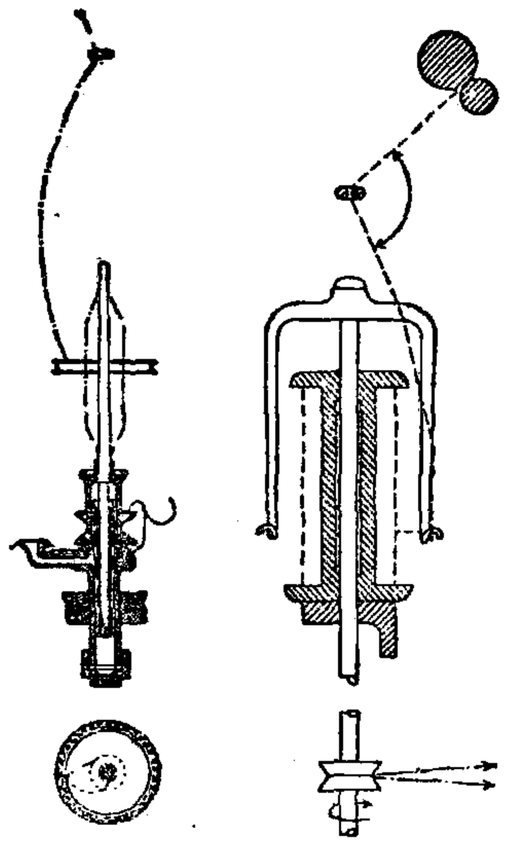


Фиг. 13.

$$P = \frac{\pi D \cdot n \cdot 60 \cdot h}{N \cdot 1\,000} \eta,$$

где D—диаметр вытяжных валиков в *м*, n—число их об/м., h—число веретен ватера. На 100 веретен требуется около 1,5 HP. Число веретен у кольцевого ватера для франц. прядения: односторонних — 200, двусторонних — 400; для английских ватеров двусторонних оно колеблется от 140 до 220. Средняя производительность веретена кольцевого франц. ватера до 600 *м* в час.

Спряденная нить обычно при франц. прядении запаривается в особых запарных камерах, где температура не должна превышать 60°. Пряжа находится в камерах в продолжение 1 ч. и более, после чего, если она не крутится, пакуется в ящики, а основа перематывается на клубки крестовой намотки на крейцшпульных машинах, в которых иногда имеется корыто с водой и валиком для увлажнения пряжи. Пряжа франц. прядения, предназначенная к крутке, предварительно спаривается (трощение) и в таком виде наматывается крестовой намоткой на бобины, которые и поступают на крутильный кольцевой ватер. При английском способе трощение не производится, а пряжа, предназначенная для крутки, поступает непосредственно на крутильные ватера, аналогичные тем, к-рыми она была спрядена. Крутильный ватер отличается от прядильного лишь отсутствием вытяжных пар валиков и особым приспособлением для автоматического останова поступления нити при обрыве



Фиг. 14. Фиг. 15.

одной из скручиваемых нитей. Размеры крутильных приспособлений несколько увеличены против аналогичн. приспособлений прядильных ватеров. Скрученная пряжа перематывается на клубки крестовой намотки или в мотки на соответственных машинах.

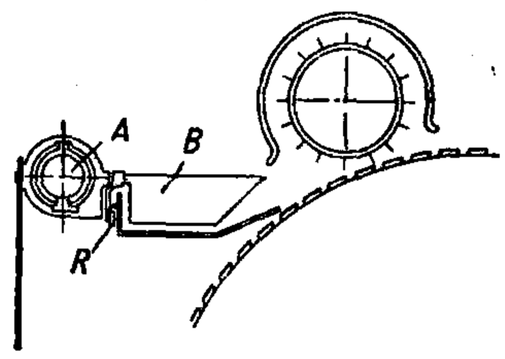
Для правильной работы в отделах необходимо поддерживать в них определенную $t°$ и влажность. Примерная $t°$, относительная влажность и необходимый минимальный обмен воздуха для прядения по франц. системе показаны в табл. 6.

Табл. 6. — Обстановка работы при французском камвольном прядении.

Отделы	Обмен воздуха в ч.	Темп-ра помещения	Относительная влажность в %
Кардный	33	22—24°	55
Гребенный	2	24—26°	80
Приготовительн.	1,5	22—24°	80—85
Прядильный . .	1,5	25—30°	85—90

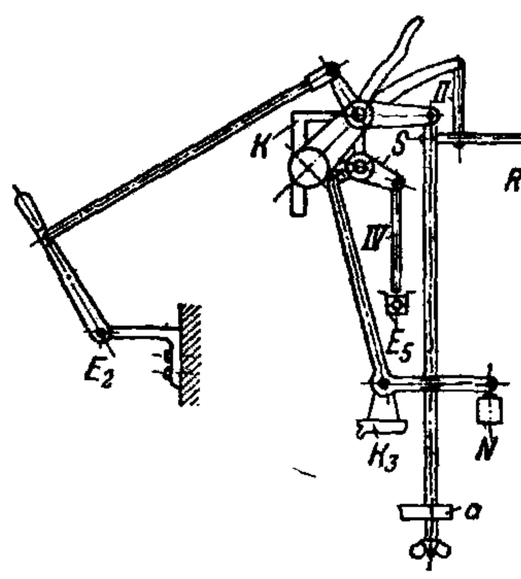
Лит.: Clapham J. H., The Woollen a. Worsted Industries, L., 1907; Barker A. F., Woollen a. Worsted Spinning, L., 1922; Barker A. a. Priestley E., Wool Carding a. Combing, L., 1919; Bradbury F. a. Buckley M., Worsted Preparing a. Spinning, 2 edition, v. 1—Wool Carding, L., 1920, v. 2—Wave Combing, London, 1923, v. 3—Spinning, London, 1922; Buckley M., Worsted Overlooker's Handbook, Halifax, 1923; Carter H., Combers a. Combing, L., 1915; Davies G., Worsted Drawing a. Spinning Calculations, L., 1923; Hawkins T., Woolwashing from a Mechanical Standpoint, Bradford, 1904; Priestman H., Principles of Worsted Spinning, London, 1921; Priestman H., Principles of Wool Combing, 2 ed., L., 1921; Smith G., Woollen a. Worsted Scribbling a. Carding, L., 1914; Turner H., Worsted Spinner's Practical Handbook, London, 1914; Booth N., The Ring-spinning Frame. A Guide for Overlookers a. Students, L., 1912; Mayer O. u. Zehetner J., Technik u. Praxis d. Kammgarnspinnerei, B., 1923; Preu R., Die Kammgarnspinnerei, Wollkämmerei, Webgarn, Strickgarnspinnerei, 2 Aufl., Berlin, 1928; Wolf H., Ueber d. geschichtliche Entwicklung d. Wollkämm-Maschine u. ihre technologische Arbeitsweise, Berlin, 1927; Zehetner J., Die Berechnung u. Lösung d. Grundrisses einer Wollwäscherei u. Kämmereianlage, Reichenberg, 1923; Ganswindt A., Wolle u. ihre Verarbeitung, W.—Lpz., 1919; Faux L., Principes et théorie de la transformation des laines brûtes en fils peignés, P., 1925. **Д. Баскаков.**

Техника безопасности. Кардочесальные аппараты. Пусковые механизмы должны давать возможность останавливать кардочесальный аппарат с любого места работы (при несчастном случае) и производить пуск только с одного определенного места (во избежание неожиданного пуска аппарата). В практике имеются устройства, которые дают возможность останавливать и пускать в ход с нескольких мест каждый из прочесов чесального аггрегата. Устройство состоит из цепочки, перекинутой через закрепленный на оси блок. На той же оси насажен блок с цепочкой, соединенный с пусковым механизмом. Если у последнего блока поставить храповичок с собачкой, то остановка аппарата возможна с трех-четырех мест, а пуск только с одного. Весьма опасны нормальные конструкции переводных вилок при обратном ходе аппаратов во время чистки, т. к. в этом случае для перевода ремня рабочий должен направлять ремень руками. Вполне правильно и надежно при прямом и обратном ходах аппарата работает переводная вилка системы В. А. Смелова (фиг. 1). Во время нормальной работы кардочесального аппарата вилка находится в положении B; для чистки и обратного хода барабана рабочий за ручку b перекидывает вилку в положение B'; A—дуга, при помощи которой переводный механизм крепится к машине. Большую опасность представляет отбрасывание валиком сора (засорение движущихся частей и чистка их рабочим на ходу). Во избежание этого д. б. устроен у валиков сороулавливающий жолоб с автоматич. скребками, сметающими сор в специальный ящик. Кроме того, отбойный валик д. б. защищен периферич. ограждением. На фиг. 2 показаны скребок и отбойный валик с футляром фирмы Гартман: винт A с правой и левой резьбой приводит в переменное поступательное движение скребок B; последний при обратном движении поворачивается рычагом R на 90° вокруг горизонтальной оси и, таким образом, проходит над сором. Такие скребки ставят и у курьерчиков, также в изобилии отбрасывающих сор.



Фиг. 2.

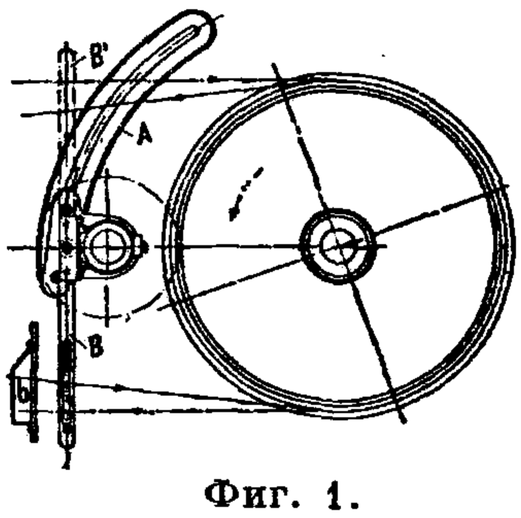
Вытяжные машины с падающими гребнями. Здесь опасн. моментом является срывание рабочими намотов шерсти с валиков и цилиндров во время вращения их (попадание пальцев). Фирма Крупп ввела в интерсектингах 1927 г. устройство, автоматически выключающее мотор при намоте шерсти (фиг. 3). Пусковой реостат R мотора может быть включен как спереди станка, где выходит ровница, так и сзади, откуда начинается заправка помощью рычагов E_2 и S, передаточного рычажного механизма и вала II. Автоматическое выключение при намотанной катушке происходит вследствие поднятия подшипника E_5, движение которого передается через систему рычагов IV рукоятке пускового реостата. У ряда других машин Круппа выпуска 1927 года имеется приспособление, регулирующее количество ровницы, навиваемой на катушки.



Фиг. 3.

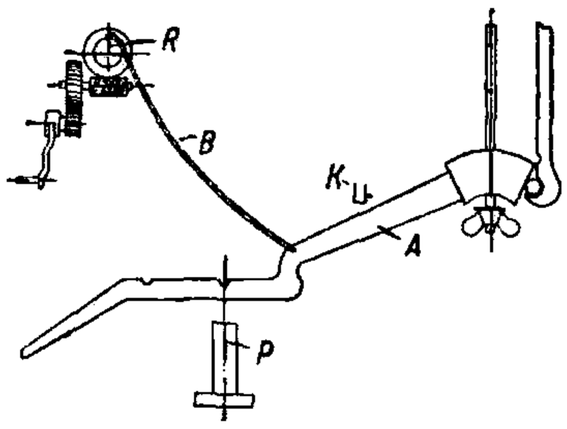
В ватерах опасным моментом является остановка веретена рукой для просучки при обрыве нити (порезы рук о блочки). Фирма Гартман снабдила ватера вып. 1928 г. индивидуальными фрикционными тормозами у каждого веретенного блока.

Опасной деталью на стуколках-гилль-боксах англ. и франц. прядения и банкаброшах франц. прядения являются нажимные грузы, прижимающие валики системою рычагов (повреждения рук или



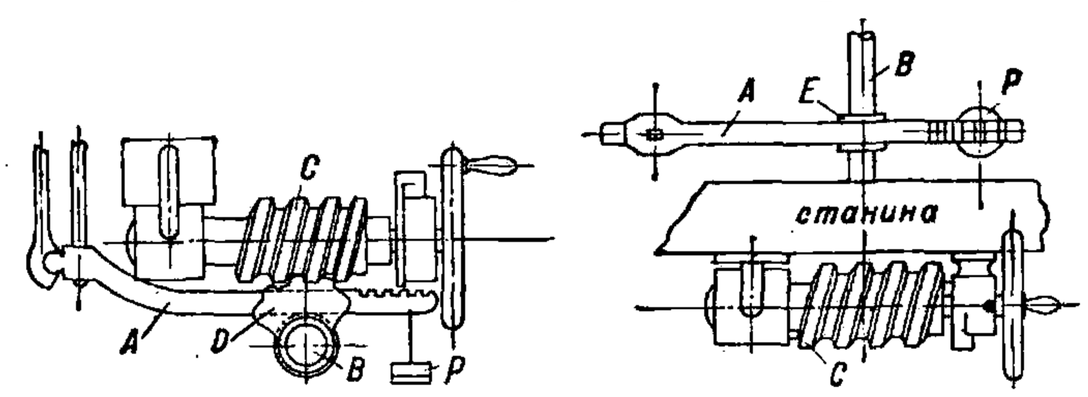
Фиг. 1.

ног при падении гирь). Конструкции Круппа (фиг. 4) и Гартмана (фиг. 5) у банкаброшей вполне отвечают своему назначению. В механизме Круппа все рычаги *A* (25 шт. при 50 катушках) с грузами *P* поднимаются одновременно цепочками *B*, навиваемыми на вал *R*; при поднятии одного рычага он удерживается крючком *K*.



Фиг. 4.

В системе Гартмана все рычаги *A* с грузами *P* поднимаются одновременно эксцентриками *E*, сидящими на общем валу *B*, вращаемом при помощи



Фиг. 5.

червячной передачи *C-D*; рычаги, поднятые одиночно, удерживаются крючками. Аналогичная система подъема рычагов введена Гартманом в настоящее время и в ватерах. **В. Попов.**

КАМЕДЕСМОЛЫ, продукты, выделяемые растительными организмами, близкие по своему составу к *смолам* (см.) и представляющие по общей классификации подгруппу последних. В рациональной, основанной на химич. составе, классификации смол Чирха К. не приводятся, т. к. не представляют продуктов, достаточно химически однородных со стороны строения их смоляной части. Под названием К. обычно понимают смеси смол, камедей и эфирных масел, получающиеся из растений путем высушивания млечного сока. В отдельных случаях в К. установлено присутствие ферментообразных продуктов и окрашенных соединений. Нормальными составными частями К. являются минеральные вещества, дающие до 7—10% золы, и вода (до 5—7%), обусловливающая влажность. Химич. состав К. изучен недостаточно, в особенности в отношении природы камедей, входящих в их состав. Смоляная часть содержит в большинстве случаев резинолы (мирра, оппопонакс, эвфорбий), резинотаннолы (аммиачная К., асафетида, гальбан, сагапен), резены (мирра, оппопонакс, ладан), высокомолекулярные кислоты типа смоляных (ладан, гуммигут), ароматич. кислоты (асафетида, гальбан). Во многих К. установлено присутствие характерных индивидуальных соединений: умбеллиферона (оксикумарина), эвфорбона и др. В отдельных К. находится каучук (эвфорбий, лактукарий), и, т. о., эти К. образуют переход к группе лакторезенов (по терминологии Чирха). Соотношение между смолами и камедями у различных К. колеблется, но в большинстве случаев наблюдается преобладание смол (50—75%) над камедями (18—34%), хотя имеются примеры и обратного соотношения: напр. мирра содержит 22—23% смол и 65—67% камедей. Содержание эфирного масла обычно не превышает 10%, хотя и в этом отношении имеются исключения: например сагапен содержит до 20% эфирных масел.

Добывание К. производится в огромном большинстве случаев кустарным способом и состоит в собирании млечного сока растений, вытекающего произвольно или вследствие поранений, наносимых сборщиками. Дальнейшая обработка сводится к упариванию и подсушиванию. Вследствие того что получение К. ведется кустарным способом, они почти всегда загрязнены частями растений, песком и т. п. Наиболее характерным является свойство К. давать с водой довольно стойкие эмульсии, что является следствием одновременного присутствия в К. смол и камедей.

Методы испытания К. разработаны мало: к общим методам относится определение влаги (высушиванием при $t°$ не выше $t°$ размягчения К.), золы (сжиганием), нерастворимого в кипящем крепком спирте остатка, способности давать эмульсии с водой. Более детальные способы испытания являются для отдельных К. специфическими и в большинстве случаев представляют качественные реакции, например окраска при действии крепкой серной кислоты и ванилина (мирра), микроскопич. исследование, соединенное с окраской иодом (гуммигут), и др. По предложению Дитриха, в практику начинают вводиться и количественные определения, аналогичные применяемым при работе со смолами, т. е. определение ряда химических констант. К и с л о т н о е ч и с л о (количество *мг* едкого кали, потребное для нейтрализации свободных к-т в фильтрате, полученном последовательным извлечением водой и спиртом 1 *г* К.), с м о л я н о е ч и с л о (количество *мг* едкого кали, потребное для омыления 1 *г* К. на холоду в течение 24 час. спиртовым раствором едкого кали), о б щ е е ч и с л о о м ы л е н и я (количество *мг* едкого кали, потребное для омыления 1 *г* К. при обработке последовательно по 24 часа спиртовым и водным растворами едкого кали), г у м м и-ч и с л о (разность между общим числом омыления и смоляным числом) рекомендуются Дитрихом как характерные константы.

К. находят применение в медицине, в парфюмерном производстве, для приготовления курительных ароматическ. смесей, в незначительных количествах в лаковом производстве и при выработке специальных замазок. Об отдельных К. см. *Аммиачная смола*, *Асафетида*, *Бделий*, *Гальбан*, *Гуммигут*, *Мирра*, *Оппопонакс*, *Эвфорбий*.

Лит.: В о л ь ф Г., Бальзамы, смолы, П., 1923; W o l f f H., Die natürlichen Harze, Stg., 1928; W i e s n e r J., Die Rohstoffe d. Pflanzenreiches, B. 1, 3 Aufl., Lpz., 1914; D i e t r i c h K., Die Analyse d. Harze, Balsame u. Gummiharze, B., 1900; T s c h i r c h A., Die Harze u. Harzbehälter, Lpz., 1906. **Б. Рутовский.**

КАМЕДИ, продукты растительного происхождения, находящие практич. применение вследствие способности давать вязкие, клейкие водные растворы. Образование К. в растениях может происходить в порядке нормально протекающего процесса (ф и з и о л о г и ч е с к и е К.) или в результате

травматич. или болезненных изменений (патологические К.). Большинство технически применяемых камедей относятся к последнему типу. Процесс образования К. (гуммоз) имеет регрессивный характер, т. к. при этом клеточные стенки и содержимое клеток под действием особого фермента (гуммазы) превращаются в К., которая растением в дальнейшем не используется. Причиной образования К. могут быть различного рода повреждения камбиального слоя (трещины, уколы насекомых, поранения), принимающие иногда характер болезни — камедетечения (гуммозис). Повидимому, главной функцией К. является заполнение и защита ран.

Обращающиеся на рынке сорта К. имеют вид неправильных комков величиной от капли до кулака, с гладкой блестящей или шероховатой поверхностью, редко бесцветных, большею же частью окрашенных в желтый или бурый цвет. Обладая малой твердостью и хрупкостью, К. легко поддаются порошкованию, давая при этом б. ч. бесцветные порошки, отдельные частицы которых при рассматривании в лупу имеют стеклянный блеск. Большинство К. не имеют запаха, многие из них обладают сладковатым или вяжущим вкусом. К. нерастворимы в обычных органич. растворителях: спирте, эфире, бензоле, но с водой образуют растворы коллоидального характера или только разбухают в ней; в 60%-ном растворе хлоралгидрата К. растворяются легко. Чем выше вязкость водных растворов К., тем они считаются лучше; однако, вязкость не всегда увеличивается параллельно с другим ценным качеством К.—клейкостью. Водные растворы К. имеют слабо кислую реакцию и вращают плоскость поляризации б. ч. влево.

По химич. составу К. не представляют однородного продукта; в большей своей части они состоят из углеводов и их калиевых, кальциевых и магниевых производных. Кроме того, в составе К. обнаружены пентозаны, сахары, дубильные и красящие вещества, но об их химич. природе и количественном содержании в К. имеется чрезвычайно мало данных. В числе азотсодержащих соединений главное место занимают постоянно присутствующие в К. ферменты—гл. обр. оксидаза и амилаза, присутствие которых м. б. обнаружено лишь в К., не подвергавшихся нагреванию до 120°. При гидролизе К. серной к-той получаются по преимуществу пентозы или галактоза. Перегонка К. с 12%-ной соляной к-той приводит к образованию фурфурола и метилфурфурола. При окислении К. образуется слизевая к-та наряду с сахарной и щавелевой (в отличие от декстрина, к-рый дает гл. обр. щавелевую и совершенно не дает слизевой к-ты). Весьма характерным свойством К. является их способность давать нерастворимый осадок с основным уксуснокислым свинцом, при чем реакция эта настолько чувствительна, что позволяет открывать присутствие К. в разбавлениях до 1 : 50 000.

Принимая за основу отношение К. к воде, различают: а) собственно К., понимая под ними вещества, дающие растворы с водой, и б) растительные слизи, которые в воде только разбухают. К. в узком понимании классифицируются на основе свойств главной их составной части—углевода. Различают К.: 1) арабиновые, содержащие гл. обр. арабин, или арабиновую кислоту, 2) церазиновые, главной составной частью к-рых является церазин, идентичный с *м*-арабином, 3) бассориновые, характеризуемые присутствием бассорина, и 4) смешанного, церазино-бассоринового характера. К первой группе относятся все *акациевые камеди* (см.). К камедям, содержащим церазин, принадлежат: *вишневый клей* (см.) и К., выделяемые сливовыми, абрикосовыми и т. п. деревьями. Близкой по характеру, но не идентичной с предыдущими, является свекловичная К., содержащаяся в нормально развивающейся сахарной свекловице. Церазин нерастворим в воде, при кипячении с раствором поташа он переходит в раствор при одновременном выделении углекислого кальция, при растворении в щелочах переходит в арабин. Бассорин также нерастворим в воде, но разбухает в ней очень сильно; реакция воды остается нейтральной; бассорин не содержит металла, но в нем установлено присутствие метоксильной группы (—OCH_3); в едких и углекислых щелочах он растворяется без выделения углекислого кальция, фелингов раствор не восстанавливает, как и церазин. Главнейшими представителями бассориновой группы К. являются *трагант* (см.) и *бассорская камедь* (см.). К четвертой группе относятся мало распространенные сорта камедей, близкие к траганту, например кутера-камеди.

Методика исследования К. очень мало разработана, и испытание их сводится к проверке отсутствия обычных фальсифицирующих примесей (крахмала, декстрина и т. п.). Помимо оценки по внешнему виду, проверяются растворимость в воде и количество золы, получающейся при сжигании К. Важное значение имеет количественное определение арабина в акациевых К., основанное на выделении его из водного раствора К. при помощи спирта и уксусной к-ты. Практически ценное свойство К.—клейкость—может определяться, по Гиршсону, путем испытания на разрыв брусков, приготовленных из 10%-ного раствора К. и гипса. Вязкость растворов К. определяется вискозиметрами различных конструкций. Помимо перечисленных выше сортов К., на европ. рынке почти не встречается других. В пределах СССР получение К. типа вишневого клея м. б. развито широко; в отношении же К. типа акациевых и траганта нет почти никаких данных, хотя, по исследованиям, можно ожидать получения, например из лиственницы, Larix, продукта, близкого к аравийской К.

Применение К. весьма разнообразно: в медицинской практике они применяются как обволакивающие вещества или для приготовления пилюль, в кондитерском производстве—для изготовления специальных сладостей «восточного» типа. Пищевое значение имеют некоторые сорта К. на местах сбора, где местное население пользуется ими как съедобным продуктом. Технич. применение К. основано исключительно на их связываю-

щей и клеящей способности: они служат для изготовления нек-рых сортов клея, употребляются при печатании, при изготовлении акварельных красок и копировальных чернил, в спичечном производстве, в текстильной промышленности (как аппретурное средство) и в ситцепечатании.

Растительные слизи, близкие по свойствам к К., широко распространены в растительном мире, но мало исследованы. По химич. характеру они близки, с одной стороны, к арабину, а с другой—к целлюлозе. При гидролизе разбавленной серной к-той растительные слизи дают, наряду с незначительными количествами пентоз, в качестве главного продукта гексозы: галактозу, глюкозу, маннозу. Растительные слизи редко поступают на рынок в выделенном состоянии; обычно в продажу поступают богатые слизью части растений. Кроме *агар-агара* (см.), к числу торговых продуктов относится *караген* (см.) В семенах льна также содержится слизь, дающая при гидролизе глюкозу, галактозу и арабинозу; применение ее ограничено медицинскими целями. Из семян айвы, Cydonia vulgaris, выделено до 20% слизи, напоминающей по свойствам трагант и содержащей по преимуществу пентозаны. Богатым слизями сырьем являются также семена Plantago Psyllium, Trigonella Foenum-graecum, корни и листья Althaea officinalis, листья и цветы Malva silvestris, цветы Tilia ulmifolia и др. Под названием салепа известны клубни различных видов Orchis, содержащие до 48% арабина и декстрина. Применение этих видов ограничено медицинским назначением.

Еще менее исследована природа *пектиновых веществ* (см.), широко распространенных в природе и близких по своим свойствам к К.

Лит.: Wiesner J., Die Rohstoffe d. Pflanzenreiches, B. 1, 3 Aufl., Lpz., 1914; Tschirch A., Handbuch der Pharmakognosie, B. 2, Leipzig, 1912; Schmidt E., Ausführliches Lehrbuch der Pharmazeutischen Chemie, 6 Auflage, B. 2, Abt. 1, Braunschweig, 1922.

Б. Рутовский.

КАМЕННАЯ СОЛЬ, см. *Поваренная соль.*

КАМЕННОУГОЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ. Все современное мировое хозяйство в основном покоится на широком применении каменного угля как главнейшего источника двигательной силы. До тех пор, пока почти единственным видом топлива для промышленности были дрова, технич. прогресс был ограничен весьма узкими рамками. Лишь после того как было найдено дешевое и обильное топливо в виде каменного угля, была создана почва для быстрого роста машинного производства. По определению В. Зомбарта, «уголь является материальным центром современной техники, из которого во все стороны распространяются согревающие и ос вещающие лучи». По выражению проф. Н. Курбатова, каменный уголь представляет «естественный склад тепла, света и энергии». Уголь может заменить собой все осветительные и отопительные материалы животного и растительного происхождения. В прямой зависимости от наличия в стране этого вида горючего находится развитие в ней индустрии. Поэтому богатство страны углем является важным измерителем ее экономическ. мощи. В частности, без каменного угля не мыслим был бы колоссальный рост ж.-д. и морского транспорта, металлургии и целого ряда отраслей химич. промышленности, для к-рых он служит необходимым сырьем (искусственные минеральные краски, фармацевтические препараты, бензол, толуол, лаки и т. д.).

Развитие мировой добычи каменного угля (включая бурый уголь) характеризуется следующими цифрами:

Годы	В млн. *m*	В % к 1900 г.
1900	700,0	100,0
1913	1 216,3	173,8
1923	1 173,2	167,6
1924	1 178,8	163,4
1925	1 183,0	169,0
1926	1 189,2	168,5
1927	1 276,4	182,3
1928	1 248,3	178,3

Упадок мировой добычи по сравнению с 1913 г. объясняется хронич. кризисом перепроизводства, переживаемым К. п. под влиянием целого ряда факторов. Важнейшими из них являлись: длительная депрессия мирового хозяйства за период 1913—27 гг. и изменения в структуре энергетич. хозяйства, выразившиеся в быстром росте применения гидравлич. энергии, в замене угля нефтью в морском транспорте и в рационализации топливного хозяйства, уменьшающей спрос на уголь. Изменение добычи в важнейших странах характеризуется табл. 1.

Для характеристики процессов, совершающихся в К. п., интересны табл. 2 и 3. Они показывают, что удельный вес С. Ш. А., Англии, Германии и Франции, занимающих преобладающее место в мировой К. п., обнаруживает заметную тенденцию к сокращению, хотя общая добыча этих стран возросла на 55%. Более всего возросла за этот

Табл. 1.—Добыча угля (включая бурый уголь) в важнейших странах (в млн. *m*).

Страны \ Годы	1900	1913	1924	1925	1926	1927	1928 абс.	1928 в % к 1900
С. Ш. А.	244,6	517,1	518,6	527,9	596,7	542,4	516,6	211,2
Англия	228,8	292,0	241,4	247,1	128,3	253,3	241,5	105,6
Германия	101,3	140,8	118,8	132,6	145,3	153,6	150,9	138,1
Франция	33,4	43,8	44,0	47,1	51,4	51,8	51,4	153,9
Итого	616,1	993,7	952,8	954,7	921,7	1 003,1	960,4	155,9
В % к мировой добыче	88,0	81,7	88,3	80,7	78,1	78,6	76,9	—

Табл. 2.—Участие важнейших стран в каменноугольной промышленности (в % к мировой добыче).

Страны \ Годы	1900	1913	1928
С. Ш. А.	34,9	42,5	41,4
Англия	32,7	24,6	19,3
Германия	15,6	11,6	12,1
Франция	4,8	3,6	4,1
Итого . . .	88,0	81,7	76,9

Табл. 3.—Среднее годовое число рабочих, занятых в каменноугольной промышленности.

Страны \ Годы	1913	1924	1925	1926	1927	
					абс.	в % к 1913
Англия *1	1 127 890	1 230 248	1 117 823	1 128 209 *2	960 826	85,2
С. Ш. А.	747 627	779 613	748 805	759 003	—	—
Германия	490 709 *3	558 938	557 087	514 807	542 062	104,9
Франция *4	203 208	295 213	309 447	316 009	324 018	155,5

*1 С 1924 г. без Ирландии. *2 Март. *3 В современных границах. *4 Без Саарского района.

период добыча в С. Ш. А. Преимущества С. Ш. А. заключаются в богатстве угольных пластов и удобстве разработки (неглубокое залегание), в высокой технико-организационной стороне американской промышленности, обеспечивающей высокую производительность труда америк. углекопов, и в значительно меньших вследствие этого издержках производства (вдвое ниже английских). Так, по данным 1924—25 гг., производительность труда в угольной промышленности на одного занятого рабочего составляла: в С. Ш. А. 734, в Германии 262, в Англии 243, во Франции 170 *m* за год. Несмотря на такие преимущества, американский уголь может конкурировать с английским только на немногих рынках. Это объясняется тем, что угольные бассейны Америки (главный из них, бассейн Аллеганских гор, тянется от штата Пенсильвании до штата Алабамы) расположены далеко от морского побережья (1 200—1 500 *км*). Главным рынком америк. угля служит Канада. На положении К. п. С. Ш. А. тяжело отразилась забастовка американских углекопов, происходившая в 1927 году вслед за знаменитой стачкой английских углекопов.

Второй по своему удельному весу страной в К. п. является Англия. Из 4 стран, имеющих преобладающее значение в добыче угля, удельный вес Англии обнаружил наибольшее понижение во всех отношениях, причем значительно сократилось и число рабочих, занятых в К. п. Это свидетельствует о значительном упадке английской К. п., причиной к-рого, помимо сокращения внутреннего потребления угля, является значительное сокращение угольного экспорта, всегда игравшего весьма важную роль в мировом снабжении углем: в 1913 г. экспорт англ. угля составлял 52,7% мирового угольного экспорта и равнялся (без бункерного угля) 74,6 млн. *m*; в 1927 г. он упал до 51,9 млн. *m*. Этот упадок объясняется как депрессивным состоянием мирового угольного рынка, так и ростом добычи угля во внеевропейских (Япония, Британская Индия, Китай, южная Африка и др.) и в нек-рых европейских (Голландия, Испания) странах. Восстановлению англ. угольного экспорта и ослаблению угольного кризиса в Англии препятствует высокая цена на уголь, являющаяся результатом технич. отсталости и организационной раздробленности английской К. п. (1 500 владельцев). Кроме того, издержки по добыче угля увеличиваются вследствие необходимости разрабатывать все более глубоко залегающие угольные месторождения. Снижение высоких издержек производства англ. углепромышленники стремятся осуществить не путем технико-организационного улучшения производства (как то делают С. Ш. А. и Германия), а путем сокращения заработной платы и удлинения рабочего дня, что вызывает значительные социальные и экономич. осложнения. Между тем К. п. имеет громадное значение в народном хозяйстве Англии. В прямой зависимости от нее находится не менее $^1/_{12}$ населения Англии; уголь не только необходим для внутреннего потребления, составляя основу всей английской промышленности (гл. обр. железоделательной, судостроительной и металлообрабатывающей), но составляет около $^1/_{10}$ ценности англ. экспорта. Кроме того, экспорт угля, требуя большого тоннажа, обусловливает дешевые фрахты, имеющие для Англии самое жизненное значение. Поэтому упадок К. п. тяжело отражается на всем народном хозяйстве страны, вызывая длительный кризис последнего. Что касается территориального распределения К. п. Англии, то главнейшими районами ее являются: Южный Уэльс, Дургем, Шотландия, Южный Иоркшир, Ланкашир и Чешир.

Третье место в мировой К. п. занимает Германия. Своим быстрым развитием в конце 19 и в начале 20 в. герм. промышленность в громадной степени обязана была своим каменноугольным месторождениям, наиболее крупным в континентальной Европе. В результате войны 1914—18 гг. Германия лишилась 3 крупных каменноугольных бассейнов: 1) Верхнесилезского (добыча в 1913 году 33 млн. *m*), перешедшего в 1922 году к Польше, 2) Саарского (добыча—13 млн. *m*) и 3) Лотарингского (добыча — 4 млн. *m*), перешедших к Франции. Несмотря на значительные разрушения, причиненные войной, Германия постепенно стала восстанавливаться и, в противоположность тому, что наблюдалось в английской К. п., в 1926 г. превысила довоенный уровень. Тем не ме-

нее вследствие несоответствия между восстанавливающейся производительной способностью и уменьшением емкости рынка, а также вследствие трудности расширения угольного экспорта К. п. Германии переживает кризис, к-рый сопровождается ростом безработицы в Рурском районе, увеличением угольных запасов, и т. п. Стачка англ. углекопов в 1926 г. и последовавшее затем улучшение герман. конъюнктуры облегчили несколько положение (в частности, англ. стачка помогла Германии расширить свой угольный экспорт и занять англ. рынки сбыта). Однако, это облегчение было лишь временным. Рост добычи каменного угля в Германии с 1900 по 1928 год на 38,1% сопровождался увеличением числа занятых ею рабочих всего на 4,9 %, что свидетельствует о значительном технико-организацион. прогрессе. Главнейшими каменноугольными районами Германии являются: Рурский, Рейнский, Силезский и Саксонский; из них первые два дают ок. $^4/_5$ всей герм. добычи угля. В послевоенные годы в Германии расширилась добыча бурого угля, частично заменившего каменный уголь в производстве электрич. энергии, в домашнем употреблении и в химической промышленности. В частности, в связи с открытием проф. Бергиусом способа получения из угля синтетического жидкого топлива, могущего заменять природные нефтепродукты и обходящегося в производстве дешевле последних,—в 1927 году в Германии стали работать два завода по производству синтетических нефтепродуктов: один в средней Германии—на бурых углях, другой в Руре — на каменном угле. Изобретение проф. Бергиуса открывает углю новые сферы сбыта.

В сравнении с тремя рассмотренными странами, К. п. Франции значительно меньше по своему значению. Темп ее роста за период 1900—28 гг. составил 53,9%, превысив, т. о., темп Англии и Германии. Несмотря на это, французская К. п. недостаточна для удовлетворения нужд промышленности страны. Недостаток в угле обострился с присоединением Эльзас-Лотарингии, к-рая производит только половину угля, потребного для ее промышленности. Вследствие этого потребность Франции в привозном угле, в особенности в коксе (для металлургии), возросла. Уголь и кокс поставляются Франции Германией (в порядке репарационных поставок), Бельгией, Люксембургом и Англией (последняя доставляет высокие сорта угля для нужд ж. д. и флота). Значительный рост числа рабочих в К. п. Франции (с 1900 по 1928 г.—на 55,5%) объясняется распространением 8-часового рабочего дня на всех поверхностных рабочих и введением $6^1/_2$-часового дня для подземных рабочих. Недостаточностью К. п. Франции для удовлетворения всех ее потребностей в угле, несмотря на присоединение к ней Саарского бассейна, объясняются ее притязания на Рурский угольный бассейн и оккупация его. Присоединение Рура к Франции значительно усилило бы ее экономич. мощь; отсюда противодействие этому со стороны Англии, не желающей такого усиления Франции.

Для более полной характеристики мировой К. п. в табл. 4 и 5 приведены данные о мировой продукции бурого угля и кокса.

Табл. 4.—Мировая продукция бурого угля (в тыс. *m*).

Страны \ Годы	1913	1924	1925	1926	1927		В % к мировому итогу	
					абс.	в % к 1913	913	1927
Германия	87 233	124 637	139 725	139 151	150 806	172,9	70,3	78,7
Венгрия	5 954	5 751	5 329	5 822	6 243	104,9	4,8	3,3
С. Ш. А.	470 *1	1 993	2 125	2 091	1 795 *2	381,9	0,5	0,9
Франция	800	939	1 007	1 056	1 067	133,4	0,6	0,6
Общий мировой итог	124 988	164 862	177 869	178 013	191 127 *2	152,9	—	—

*1 1914 г. *2 Предварительные данные.

Табл. 5.—Мировая продукция кокса (в тыс. *m*).

Страны \ Годы	1913	1924	1925	1 26	1927		В % к мировому итогу	
					абс.	в % к 1913	1913	1927
С. Ш. А.	42 002	40 161	46 509	51 589	46 199	110,0	39,1	40,8
Германия	34 630 *1	24 885	28 397	27 297	32 261	93,2	32,3	28,5
Англия	13 004	12 357	11 186	4 790	12 000 *2	92,3	12,1	10,6
Франция	4 027	4 600	3 070	3 767	4 068	101,0	3,8	3,6
Бельгия	3 523	4 160	4 108	4 956	5 387	152,9	3,3	28,5
Чехо-Словакия	2 562	2 219	1 558	1 524	2 477	96,7	2,4	2,2
Общий мировой итог	107 285	94 737	101 798	103 305	113 146 *2	105,4	—	—

*1 В старых границах. *2 Предварительные данные.

Каменноугольная промышленность в СССР. Каменный уголь является и в СССР важнейшей народнохозяйственной базой. Табл. 6 характеризует его

Табл. 6.—Удельный вес различных видов топлива в топливоснабжении СССР (в %).

Виды топлива \ Годы	1913	1925/26	1926/27	1927/28
Каменный уголь . .	57,3	54,1	59,0	59,4
Древесное топливо .	27,3	23,7	21,4	17,6
Нефть	13,5	17,5	14,4	18,2
Торф	1,9	4,7	5,2	4,8
Итого . . .	100	100	100	100

роль в топливоснабжении страны и постепенное усиление его значения за счет древесного топлива. Но экономич. роль каменного угля не исчерпывается применением его в качестве топлива. Кроме того, имеет важное значение ряд побочных продуктов, получаемых при переработке угля: светильный газ, сернокислый аммоний, нашатырный спирт, бензол, тяжелые масла, пек, каменноугольная смола, искусственные краски, фармацевтич. препараты. Добыча каменного угля (включая бурый уголь) выразилась в СССР в следующих цифрах:

Годы	В млн. *m*	В % к 1913 г.
1913	29,09	100,0
1923/24	16,22	55,8
1924/25	16,47	56,6
1925/26	25,53	87,8
1926/27	31,99	110,0
1927/28	36,13	124,2

Т. о., несмотря на громадные разрушения, произведенные в важнейших каменноугольных районах СССР (Донецкий, Уральский) гражданской войной и интервенцией, СССР к 1926/27 г. не только восстановил свою довоенную добычу, но даже значительно превысил ее. Рост добычи вызывался ростом промышленности, транспорта и электроснабжения. Роль СССР в мировой добыче каменного угля сравнительно с довоенным временем не изменилась, составляя 2,2—2,4%. Существовавшая в довоенное время зависимость топливоснабжения страны от импортного угля (в 1913 г. ок. 10 млн. *m*) прекратилась: иностранный привоз незначителен и покрывается вывозом донецкого и дальневосточного угля. Рост добычи угля по отдельным районам показан в табл. 7.

Как видно из этой таблицы, главную роль в К. п. СССР играет Донецкий бассейн, но по темпу своего роста он уступает всем другим районам. Ни на одном районе гражданская война и интервенция не отразились так тяжело: многие шахты были совершенно разрушены, оборудование было вывезено, кадры горнорабочих резко сократились, и т. д. Поэтому советской власти пришлось разрешать исключительно трудную задачу по технической и хозяйственной организации путем сосредоточения добычи на сравнительно небольшом числе наиболее выгодных производственных единиц, по восстановлению основного капитала и организации управления этого района. «История подъема хозяйства Донецкого бассейна представляет поистине одну из самых блестящих страниц нашего послеоктябрьского строительства» (Г. М. Кржижановский). Положительными особенностями Донецкого бассейна являются: развитая сеть ж. д., значит. запасы и выгодное залегание угля, а также крайнее разнообразие сортов угля, из к-рых многие являются коксующимися. В довоенный период на развитие этого района, начавшееся в середине прошлого столетия, обращалось главное внимание, при полном игнорировании других районов. Этому развитию содействовало проведение ж. д., являвшихся, с одной стороны, потребителями донецкого топлива, а с другой,—дававших выход донецкому углю к Азовскому и Черному морям, в районы свеклосахарного производства и т.д. Громадную роль сыграла также южная металлургия. Потребителями донецкого угля являются ж. д., металлургич. з-ды, сахарные з-ды, пароходства Черного и Азовского морей, заводы механич., газовые и др. Уменьшение удельного веса Донецкого бассейна шло за счет быстрого роста Подмосковного и Кузнецкого районов.

Кузнецкий район занимает в настоящее время второе место в К. п. Союза. Он является величайшим каменноугольным бассейном в мире и обладает углем чрезвычайно высокого качества (прекрасно коксующимся). Главная причина пока еще недостаточной эксплоатации этого бассейна—плохие пути сообщения. Соединение его с районами потребления угля значительно усилит его значение. Уже теперь уральские металлургич. з-ды частично работают на кузнецком коксе, и экономически это оправдывается. Так, при расстоянии от Кемерова (Кузн. бассейн) до Нижне-Салдынского з-да на Урале в 1976 *км*

Табл. 7.—Добыча угля в СССР.

Районы \ Годы	1913		1925/26		1926/27		1927/28		1927/28 в % к 1913
	млн. *m*	%	млн. *m*	%	млн. *m*	%	млн. *m*	%	
Донецкий бассейн	25,29	86,9	19,58	76,8	29,60	76,9	27,86	77,1	110,2
Урал	1,22	4,2	1,57	6,1	1,85	5,8	2,06	5,7	168,8
Восточная Сибирь	1,22	4,2	1,56	6,1	1,86	5,9	2,04	5,6	167,2
Зап. Сибирь (Кузн. бассейн)	0,77	2,6	1,69	6,6	2,42	7,6	2,63	7,3	341,6
Подмосковный	0,30	1,1	0,93	3,6	0,97	3,0	1,20	3,3	400,0
Средняя Азия	0,13	0,5	0,12	0,5	0,19	0,6	0,24	0,7	184,6
Кавказ	0,07	0,2	0,08	0,3	0,08	0,2	0,10	0,3	142,9
Прочие	0,09	0,3	—	—	—	—	—	—	—
Итого	29,09	100	25,53	100	31,99	100	36,13	100	124,2

и при тарифе 13,8 коп. с 16 *кг*, кокс обходится приблизительно в 33 коп. за 16 *кг*, а на Надеждинском з-де, при расстоянии 2 205 *км* и при тарифе 15,25 коп.,—в 32—35 коп., т. е. немногим больше того, во что обходится южным металлургич. заводам донецкий кокс. Громадное значение для Кузнецкого бассейна будет иметь постройка Телбесского з-да. Развертывание этого района осуществляется в предположении, что часть кузнецкого угля будет вывозиться в Приволжье, Московскую область и Ленинград.

Сравнительно малая роль Уральского района в добыче каменного угля при значительных его запасах объясняется свойствами уральского угля, в большинстве непригодного для коксования, конкуренцией древесного топлива, благодаря обилию лесов, и недостаточностью путей сообщения.

Самый интенсивный рост обнаружила К.п. Подмосковного района: добыча его в 1927/28 г. в 4 раза превысила добычу 1913 г. В период гражданской войны этот район долгое время был единственным районом, снабжавшим углем Советскую Россию, т. к. другие бассейны были отрезаны от центра. Для развития этого района имеет важное значение выгодное географич. расположение его в центре РСФСР, а также сравнительно легкие условия добычи угля. С целью устранения неблагоприятных свойств подмосковного угля, не выдерживающего длительных перевозок и хранения, применяется сжигание его в местах добычи на крупных электростанциях, передающих вырабатываемую энергию промышленным центрам (Москва, Тула, Брянск). По своему географич. положению подмосковный уголь может обслуживать гл. обр. Московскую область. Важнейшими потребителями его являются: районные электростанции, жел. дороги, проходящие через Подмосковный бассейн (Сызрано-Вяземская, Рязано-Уральская и Московско-Курская), и промышленность. Ж. д. потребляют крупные сорта угля в отличие от промышленности и прочих потребителей, берущих почти исключительно сорта О (орех), С (семячко) и МС (мелочь с семячком). Главнейшими промышленными потребителями подмосковного угля являются промышленности: по обработке минеральных веществ (цементные и силикатные з-ды), бумажно-полиграфическая, пищевая и металлическая.

Довольно значительный рост обнаружила каменноугольная промышленность Восточной Сибири. Уголь в этом районе находится в разных местах. Особенно богатые месторождения высокосортного угля имеются на острове Сахалине. В остальных районах добываются главным образом низкосортные угли, имеющие местное значение, и удельный вес их в каменноугольной промышленности СССР незначителен.

Из общего количества добываемого угля часть его употребляется на собственные нужды каменноугольных предприятий и местного населения, часть идет для производства кокса, а остальная — наиболее значительная—идет на иное технико-промышленное потребление. Количество угля, которое отпускается на коксование, видно из следующих чисел (в тысячах *т*):

Районы	1926/27 г.	1927/28 г.
Донецкий бассейн	348,4	372.6
Зап. Сибирь	21,9	19,3
Урал	—	1,9
Вост. Сибирь	—	0,9
Подмосковный	—	—
Всего по СССР	370,3	394,7

Крайне характерным и важным для К. п. СССР является уменьшение расхода топлива на собственные нужды каменноугольных предприятий: в 1923/24 году на эту цель расходовалось 15,3% всей валовой добычи, в 1924/25 году—13,2%, а в 1926/27 году—8,9%. Благодаря рационализации сжигания топлива, развитию электрификации и концентрации производства относительный расход угля для технико-промышленных целей должен сокращаться.

К. п. СССР имеет целый ряд не только количественных, но и качественных достижений в виде увеличения производительности труда, большей нагрузки шахт, большего использования низкосортного угля, организационных улучшений, механизации производства (в Донецком бассейне), рационализации паросилового хозяйства, улучшения жилищных условий и т. д. Изменение себестоимости угля в течение 1923—28 гг. дано в табл. 8, а количество рабочей силы, занятой в К. п. СССР, показано в табл. 9.

Табл. 8. — Относительная себестоимость угля за период 1923—28 гг.

Трести \ Годы	1923/24	1924/25	1925/26	1926/27	1927/28
Донуголь	100	87,2	84,7	86,2	82,8
Кузбассуголь	—	100	99,7	98,2	96,8
Кузбасстрест	—	100	93,8	113,0	113,5
Москвуголь	100	67,2	81,3	89,5	84,7
Кизилтрест	100	74,4	83,4	88,4	90,5
Черембатрест	100	76,2	60.0	69,4	69,1
Средазуголь	—	—	100,0	96,6	88,8

Табл. 9.—Число рабочих в К. п. на 1 октября 1928 г. (в тыс.).

Районы	Общее число рабочих	Число забойщиков в % к общему числу
Донецкий бассейн	197,0	17,9
Зап. Сибирь (Кузн. басс.)	13,6	20,6
Урал	10,1	24,6
Вост. Сибирь	6,7	26,0
Подмосковный бассейн	6	19,0
Всего по СССР	233,4	18,6

Лит.: Ден В. Е., Курс экономич. географии, 2 изд., Л., 1925; Тимофеев П. Г., Экономич. география СССР, 5 изд., Л., 1928; Батуев М., Мировые источники сырья, М.—Л., 1928; Горфинкель Е. С., СССР в системе мирового хозяйства, Москва, 1929; «Весь мир». Всемирно-политический, экономический и финансовый справочник, под ред. М. Г. Бронского, Н. Н. Деревенко, М.—Л., 1928; Каменноугольная промышленность. Пятилетние гипотезы по отраслям промышленности, под ред. Г. Л. Пятакова, сер. 1, кн. 13, Москва, 1926; Пятилетний план нар.-хоз. строительства СССР, М., 1929; Кржижановский Г. М., Десять лет хозяйственного строительства СССР, М., 1928; «ГЖ»; Reichwein A., Die Rohstoffwirtschaft d. Erde, Jena, 1928; «The Engineering a. Mining Journal», N. Y. **Н. Деревенко.**

КАМЕННОУГОЛЬНЫЙ ГАЗ, газообразный продукт сухой перегонки (пиролиза) каменного угля. В зависимости от конечной $t°$ этого процесса К. г. имеет различный состав. О методах получения и технической обработки К. г. см. *Газовое производство*, *Коксование* угля, *Коксобензольное производство* и *Каменный уголь*, сухая перегонка. К. г. бесцветен, с характерн. запахом; плотность его колеблется, в зависимости от условий получения, в очень широких пределах— от 0,4 до 1,0 (за единицу принята плотность воздуха). Главными составными частями К. г. являются водород и метан, CH_4, содержание которых (по объему) колеблется в зависимости от условий пиролиза в следующих пределах: 21÷55% H_2, 25÷60% CH_4; предельные и непредельные углеводороды, CO и CO_2 присутствуют в К. г. в небольших количествах. Средний состав К. г., получаемого при процессе коксования, следующий: 3% CO_2, 0,5% O_2, 2% непредельных углеводородов, 4÷7% CO, 50% H_2, 25% CH_4, 12,5% N_2. Газ, полученный при низких температурах перегонки, отличается повышенным содержанием углеводородов за счет уменьшения количества свободного водорода. Приведенный выше состав К. г. выражен в объемных %; при расчете по весу для коксового газа получается такое соотношение составных частей: 10,6% CO_2, 1,4% O_2, 5,0% непредельных углеводородов, 15,5% CO, 8,0% H_2, 32% CH_4 и 27,5% N_2. Хим. свойства К. г. целиком обусловливаются свойствами газов, его составляющих: частично последние являются весьма реакциеспособными (непредельные углеводороды, CO, CO_2), но в большей своей части К. г. состоит из веществ инертных или мало активных. Теплота горения К. г. варьирует, в зависимости от состава, в пределах 3 500 ÷ 10 000 Cal/$м^3$.

Главным источником К. г. является коксовое производство, дающее в среднем ок. 300 $м^3$ газа на каждую m коксуемого угля. Использование К. г. ограничивается гл. обр. применением его в качестве источника тепловой энергии. К. г. всегда считался одним из лучших видов газообразного топлива, наряду с естественными газами. В промышленности главная масса К. г. сжигается для обогрева коксовых печей, потребляющих до 50% всего производимого ими газа. Наиболее целесообразным надо считать сжигание К. г. в промышленных печах специального назначения и в устройствах для коммунальных целей (нагревательных и осветительных). Коэфф-ты стоимости тепловой продукции К. г. для различных целей в С. Ш. А., стоящих по производству и потреблению топлива на первом месте, приведены в табл.

Эта таблица дает ясное представление о наиболее выгодных путях использования К. г. как топлива. Условия этого использования для СССР несколько иные, и соответствующие коэфф-ты получаются ниже, но все же для коммунальных целей они поднимаются в среднем до 4. Применение К. г. для отопления котельных (наиболее широко практикуемое у нас) надо считать безусловно нецелесообразным. Утилизация К. г. в качестве сырья для химич. промышленности, имеющая в будущем широкие перспективы, ставит

Коэффициенты стоимости тепловой продукции К. г. в С. Ш. А.

Использование газа	1923 г.		1925 г.	
	цена 1 $м^3$ в центах	коэфф.	цена 1 $м^3$ в центах	коэфф.
В топках паровых котлов	0,38	1,00	0,38	1,00
В металлургич. печах	0,82	2,15	0,79	2,08
Для специальных промышленных целей	1,43	3,90	1,15	3,03
Для коммунальных целей	2,54	6,70	2,36	6,20

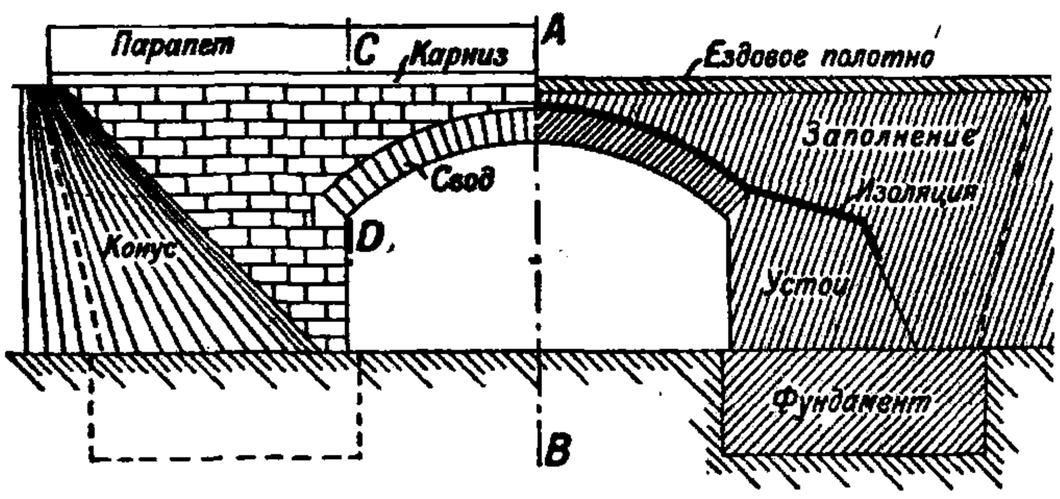
перед техникой проблему разделения его на отдельные компоненты, что м. б. достигнуто физич. или же химич. методами (основным методом пока является первый). Применением сильного охлаждения (см. *Сжижение газов*) удается разделить вещества К. г. на две группы: 1) H_2, CH_4, CO и N_2 и 2) углеводороды (кроме метана). Разделение CH_4, H_2, CO, CO_2 и N_2 осуществляется труднее; CO_2 легко удаляется путем промывки водой и щелочью. Из всех составных частей К. г. промышленность полностью использует H_2, CO и N_2, к-рые идут для синтеза метанола и аммиака (см. *Катализ* в технике). Метан К. г. пока используется как топливо, хотя в последнее время намечаются пути технич. превращения его в ацетилен, к-рый может служить сырьем для получения ряда важных продуктов (винный спирт, уксусная к-та). Остальные углеводороды К. г., получаемые при выделении H_2, м. б. последующей фракционной перегонкой разделены на соединения, содержащие 2, 3 и 4 углеродных атома. Наиболее важным из них (в качественном и количественном отношениях) является этилен, содержащийся в К. г. в количестве около 1,5% (объемных) или 3,5—4% (весовых), из к-рого м. б. получены самые разнообразные органич. продукты (см. *Этилен*). Приведенные примеры с достаточной ясностью говорят о значении, к-рое приобретает К. г. как химич. сырье. **И. Караваев.**

КАМЕННОУГОЛЬНЫЙ ДЕГОТЬ, см. *Коксобензольное производство*.

КАМЕННЫЕ МОСТЫ, возводимые гл. обр. из камня, по сравнению с конструкциями из металла и железобетона обладают нек-рыми преимуществами, к числу к-рых относятся: монументальность сооружения, обеспеченная, доказанная опытом долговечность, при почти полном отсутствии расходов по содержанию, и красота форм. Железнодорожные К. м., кроме того, дают следующие выгоды: 1) путь получается непрерывно однообразным и спокойным, вследствие того что он уложен на балласте и обыкновенных шпалах; 2) место моста не зависит от профиля и плана пути, тогда как для металлич. мостов существуют на этот счет ограничения, стесняющие трасировку ж.-д. пути; 3) расход на возобновление моста почти равен нулю— не только по причине стойкости материала, но также и вследствие малой чувствительности моста к возрастанию веса подвижного состава. Последнее обстоятельство является у нас главной причиной перестройки ж.-д.

мостов. При массовом возобновлении мостов по указанной причине на швейцарских ж. д. железные мосты заменялись во всех случаях каменными, где это только позволяла конструктивная высота; в результате общая длина К. м. составляет в настоящее время ок. 80% всей длины мостов, при чем на некоторых линиях (Albulabahn) осталось только 3% железных мостов.

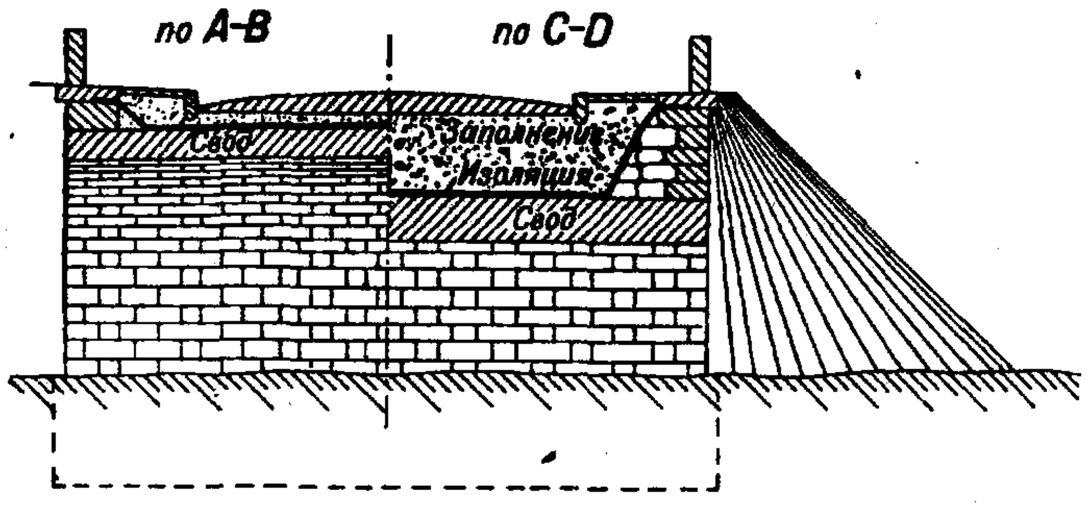
В отношении стоимости К. м. малых пролетов (до 10—12 *м*), на основании сравнения, произведенного Г. П. Передерием для Сев.-Кавказских и Восточно-Китайской ж. д., дешевле железных; разница в пользу К. м. тем значительнее, чем меньше высота насыпи



Фиг. 1.

и меньше отверстие. При пролетах свыше 10—12 *м* железные мосты несколько дешевле, но не на столько, чтобы предпочесть их каменным, игнорируя их технич. недостатки. Если для сравнения взять железные мосты с балластным корытом, то первоначальная стоимость тех и других мостов получается почти одинаковой; капитализируя же ремонт и смену, получим преимущество на стороне К. м. Решающее значение, однако, должны иметь не стоимость, а технические свойства моста.

Конструкция. Пролетным строением К. м. является свод с радиальными швами; свод своими пятами опирается на устои, или быки (см. фиг. 1 и 2). Для поддержания ездового полотна необходимо устройство надсводного строения, состоящего из заполнения в виде тощего бетона, а всего чаще из засыпки гравелистым песком. С боков заполнение поддерживается щековыми стенками,



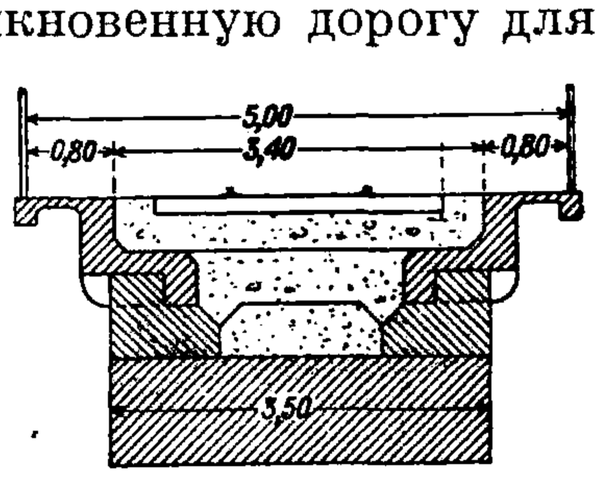
Фиг. 2.

переходящими в устоях в обратные стенки; последних может и не быть в тех случаях, когда откосы насыпи подпираются откосными крыльями. Для предохранения свода от просачивающейся через полотно дождевой воды его покрывают водонепроницаемыми материалами—просмоленным джутовым полотном, рубероидом, асфальтом, а в акведуках—свинцовыми листами.

Очертания моста. Боковые очертания моста (по фасаду) определяются длиной устоя, назначаемой таким образом, чтобы вдоль его обратных стенок поместился конус, к-рым кончается насыпь; длина устоя, следовательно, зависит от заложения образующей конуса. При насыпях высотой до 6—7 *м* этот уклон дается 1 : 1, при насыпях выше 6—7 *м* нижняя часть конуса делается более пологой. Кроме того, вверху и внизу выдвигают устой за края конуса на величину 0,25—0,50 *м* (в акведуках и мостах-каналах—до 1,00 *м*). Для сбережения кладки следует хвост обратной стенки делать вертикальным на 1—1,5 *м* сверху и далее вести его с уклоном в $^1/_8$—$^1/_{12}$ в сторону моста. Верхнее очертание моста определяется продольным профилем полотна. Отмечая затем высоту балластного слоя или мостовой, легко получить верхний предел для наружной поверхности свода.

Профиль пути в мостах под железную дорогу—обычно горизонтальная или наклонная прямая. Толщина балласта, считая от ключа свода до подошвы рельса, не должна быть менее 1,2 *м*, что необходимо для смягчения действия динамической нагрузки на свод и возможно более равномерной передачи ее. На каменных мостах под обыкновенную дорогу, при сыпучем заполнении пазух, мостовые делаются булыжными, щебеночными и брусчатыми; торцовые и асфальтовые мостовые требуют бетонного основания, а следовательно, и такого же заполнения. Толщина мостовых перечисленных типов колеблется в пределах от 0,25 до 0,5 *м*. Поверхности моста под обыкновенную дорогу для

Фиг. 3.



Фиг. 4.

отвода дождевой воды придают продольные и поперечные уклоны; последние берут от 1 до 2% в зависимости от рода мостового полотна; продольный уклон в коротких мостах часто не делается, вода же стекает по жолобу, к-рому дается уклон от $^1/_{200}$ до $^1/_{400}$, и отводится трубами.

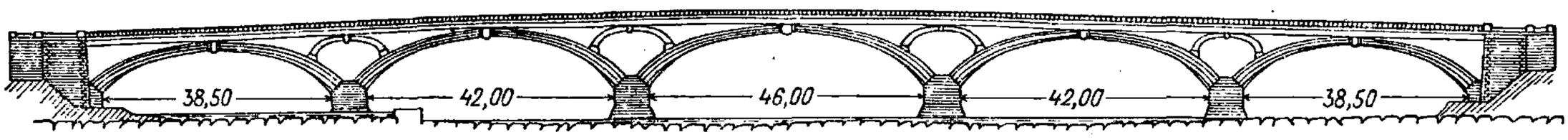
Нижнее очертание моста зависит от основания опор, выбор к-рого всецело определяется напластованием грунтов и той глубиной воды при меженнем горизонте, при к-рой придется производить работы по заложению оснований. В простейших случаях, при сооружении мостов на суходолах или неглубоких речках, глубина заложения фундаментов от поверхности земли составляет 2—3 *м*; другие основания (бездонные ящики, колодцы, кессоны) опускаются на потребную глубину в зависимости от качества грунта и от получающихся в подошве напряжений на грунт.

Ширина моста, измеряемая между перилами, определяется для ж.-д. пути габаритом приближения строений и для мостов под обыкновенную дорогу—размерами стандартных габаритов проезда (см. *Мосты*).

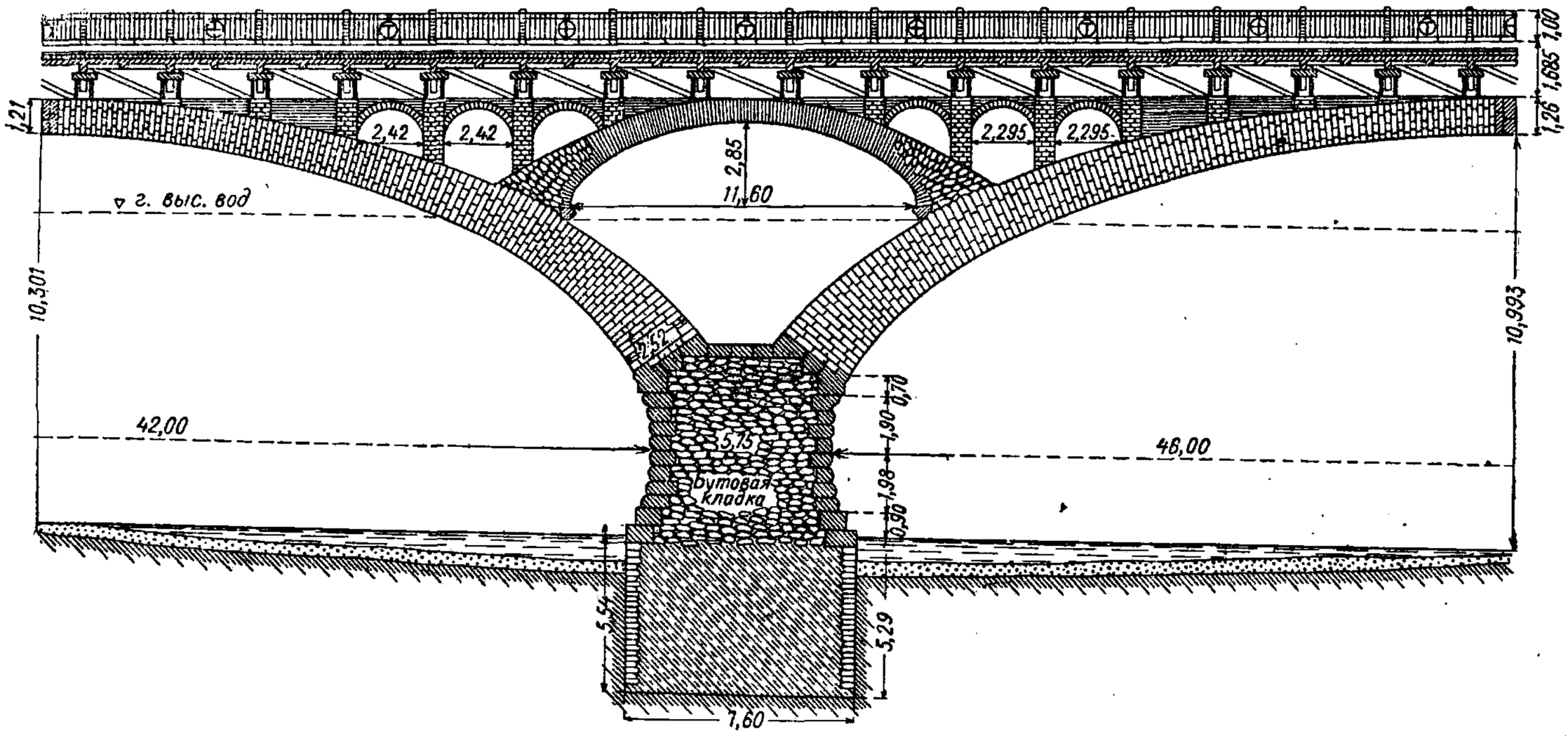
Ширина свода назначается несколько меньше ширины моста вследствие выпуска карнизов, на к-рых можно установить перила или парапет, при чем перильные стойки можно также помещать и за карнизными камнями (фиг. 3). Постановка парапета, помимо ухудшения внешнего вида моста, требует добавочного его уширения, а следовательно, и увеличения стоимости. Для уменьшения ширины свода применяется конструкция железобетонного ящика со свешивающимися боками (фиг. 4). Несколько новейших К. м. построено с разделением свода на две отдельные арки, поставленные по краям, вследствие чего действительная ширина свода может быть сокращена в два раза и более.

На фиг. 5—7 представлен мост des Amidonniers в Тулузе, законченный постройкой в 1910 году. Мост имеет 5 пролетов, от 38,5 до 46,0 *м*, со сводами, очерченными по эллипсу, при подъеме от 1 : 4,17 до 1 : 4,08; над быками для увеличения отверстия моста в высокую воду и для красоты сделаны просветы, перекрытые сводиками с пролетами в 10,1 и 11,6 *м*. Основания быков заложены в несжимаемом водонепроницаемом туфе, местами прикрытом наносами, с помощью перемычек, которые устроены затопляемыми высокими водами Гаронны. Полотно моста, шириной 22 *м*, поддерживается двумя сводами по 3,25 *м* с просветом между ними в 10,0 *м*. Толщина сводов в замке—1,26, 1,21 и 1,18 *м*, в пятах—2,59, 2,52 и 2,42 *м*. Соответственно двум полосам свода быки состоят из двух совершенно отдельных частей; туф в промежутке между ними прикрыт ростверком из каменной кладки с защитными поперечными стенками. Для поддержания полотна моста поставлены поперечные железобетонные балки (в виде безраскосных ферм) через каждые 3 *м*; балки опираются на своды по их продольной оси и имеют, т. о., пролет в 13,15 *м*. Тротуары расположены на свесах длиной 4,72 *м*; свесы усилены на сжатие спиральной арматурой. На плите толщиной 12 *см*, покрытой несколькими слоями смолы, положен слой бетона в 5 *см*, слой смазки в 1 *см* и деревянная мостовая. По сравнению с мостом со сплошными сводами на всю ширину моста этот мост дешевле на 30%.

Такого же типа К. м.—мост Адольфа в Люксембурге—имеет пролет в 84,6 *м*. Ширина каждого из сводов-близнецов в замке—5,34 *м*; к пятам она увеличивается, так как боковые грани свода находятся в наклонных плоскостях с уклоном в 1 : 40. Толщина свода в замке—1,44 *м*, в пятах—2,16 *м*. Каждый свод имеет на берегах отдельные фундаменты. Последним словом в этом направлении является мост через реку Лот в Вильневе (Villeneuve), который построен из бетона в 1914—21 гг. Длина пролета—96,25 *м* при стреле 15,4 *м* (1 : 6,3); ширина арки—3,0 *м*, т. е. 1 : 32 пролета, что представляется совершенно исключительным явлением, объясняемым способом производства работ. Отношение длины к ширине поперечного сечения свода таково, что арка, рассматриваемая как сжатый стержень, подлежит проверке на продольный изгиб. В этих условиях требуется весьма точное размещение оси свода. Строитель моста инж. Фрейсине предложил способ выравнивания положения оси свода заложенными в замке гидравлич. домкратами, при помощи которых можно парализовать начинающиеся уклонения, когда свод еще не совсем снят с кружал.

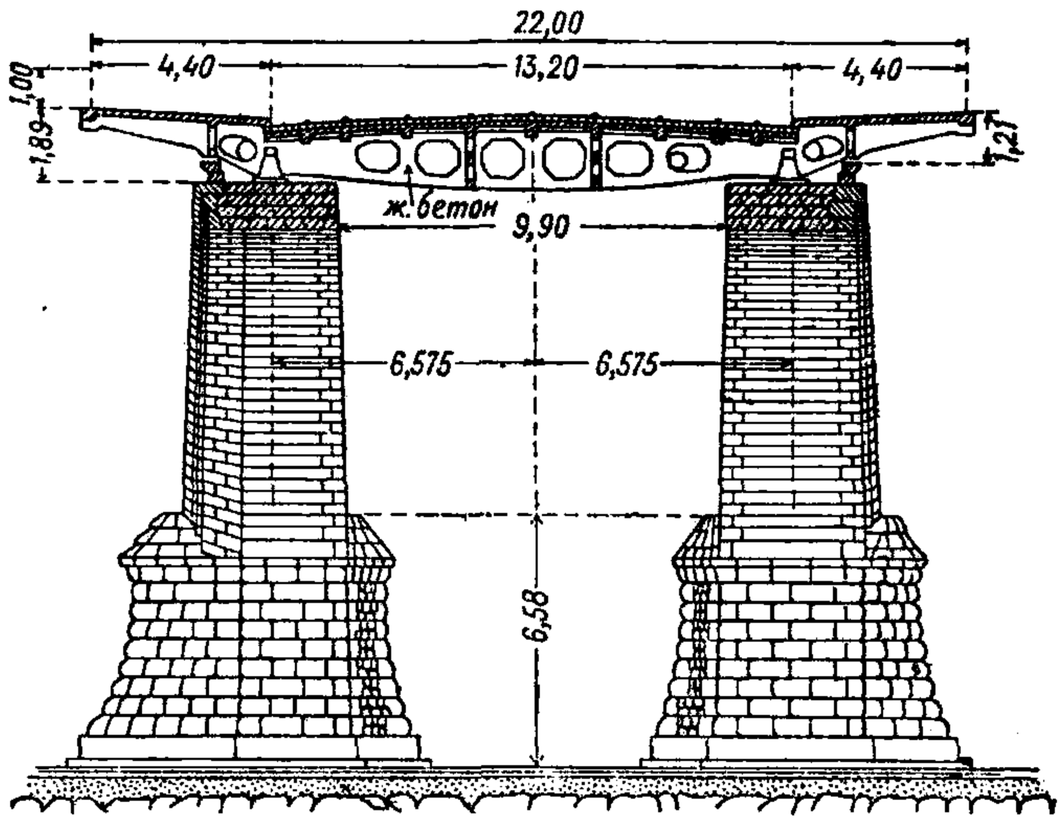


Фиг. 5.



Фиг. 6.

По соображениям устойчивости Сежурне (Sejourné) брал ширину отдельной каменной арки не меньше $^1/_{14}$ пролета; по технич. условиям, при пролетах до 100 *м* ширина свода не д. б. менее $^1/_{15}$ пролета, если она

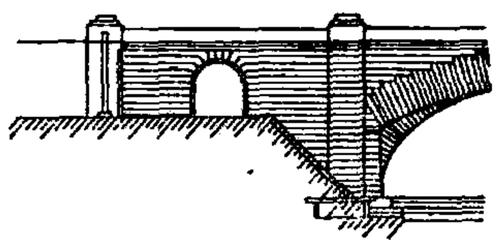


Фиг. 7.

сохраняется по всему пролету. При уширении свода к опорам до $^1/_{10}$ пролета, ширина в замке не д. б. менее $^1/_{20}$ пролета.

Положение пят свода определяется чаще всего условиями возвышения пят

над горизонтом в. вод (см. *Мосты*), хотя своды, сложенные на портланд. цементе, могут смачиваться без вреда для прочности. Правильнее было бы ограничивать наибольшее понижение пят свода горизонтом ледохода или судоходным горизонтом. При расположении пят свода ниже горизонта ледохода, в целях уменьшения ударного действия плывущих тел или льда, применяют так называемые «коровьи рога» (фиг. 8) независимо от устройства ледореза.



Фиг. 8.

Общее очертание главнейших масс сооружения влияет на назначение величины пологости, т. е. определяет положение пят. По художественным соображениям желательно иметь бóльшую пологость арки, отчетливо отделяющейся от опор. Нужно иметь в виду, однако, что пологость арок обусловливает значительные напряжения материала и, кроме того, повышает стоимость опор, но при этом уменьшается длина свода и объем кладки в нем. Наименьшая стрела м. б. принята в $^1/_{12}$ пролета, хотя существуют мосты (напр. de Nemours), имеющие стрелу в $^1/_{15}$ и даже $^1/_{17}$ пролета. В общем, в особенности при высоких быках (в виадуках), следует стремиться к возможно низкому положению пят, причем в крутых сводах следует действительные пяты назначать несколько выше видимых; верхняя часть быка в таких случаях будет ограничена кривыми поверхностями. Положение пят не м. б. установлено независимо от соображений о форме устоя и сопряжения его с берегом. При сооружении многопролетных мостов на уклонах, желательно удерживать пяты на всех опорах на одном уровне. Это может быть достигнуто, если стрелы будут относиться, как квадраты пролетов, ибо только в этом случае распоры от постоянной нагрузки на быках уравновесятся.

Толщина свода задается по различным эмпирич. ф-лам, лучшей из к-рых является ф-ла Сежурне:

$$d = a(1 + \sqrt{l})\mu,$$

где d—толщина свода в замке, l—расчетный пролет свода, a—коэфф., назначаемый в зависимости от рода пути, μ—коэфф., учитывающий пологость свода; для полуциркульного очертания $\mu = 1$, для кругового пологого $\mu = \frac{4}{3}\left[1 - \frac{f}{l} + \left(\frac{f}{l}\right)^2\right]$, для эллиптического $\mu = \frac{4}{3 + 2\frac{f}{l}}$, где f—стрела свода. Коэфф. a для мостов под обыкновенную дорогу колеблется в пределах от 0,12 до 0,18 и для мостов под ж. д.—от 0,15 до 0,21. Толщина свода от замка к пяте может оставаться постоянной при пролетах до 15 *м*, т. к. в малых пролетах прочность свода не м. б. полностью использована при наименьшей толщине свода, которая допускается конструктивными соображениями. При пролетах свыше 15 *м* толщина свода к пяте увеличивается таким образом, что вертикальная проекция толщины свода в каком-нибудь сечении его равна толщине в замке: $d_0 = \frac{d}{\cos\varphi}$, где d—толщина в замке, d_0—толщина в пяте. Можно рекомендовать изменение толщины от замка к пяте по параболическому закону:

$$d_1 = d + (d_0 - d)\frac{s^2}{S^2},$$

где s—длина дуги по оси свода от замка до рассматриваемого сечения и S—длина дуги по оси свода от замка до пяты.

Очертание оси свода, т. е. линии центров тяжести радиальных сечений свода, в зависимости от требований прочности и устойчивости при наименьшем расходе материала, выбирается по кривой давления, построенной для постоянной нагрузки в предположении, что свод снабжен тремя шарнирами; при проверке предварительно заданного очертания свода отклонением до $^1/_{15}$—$^1/_{20}$ толщины свода можно пренебречь, т. к. действительное совпадение кривой давления с осью свода невозможно из-за неизбежных упругих деформаций. При значительной временной нагрузке (напр. в ж.-д. мостах) следует пользоваться предложением Толкмита придавать кривой оси свода очертание по кривой давления при загружении всего свода нагрузкой $g + \frac{p}{2}$, т. е. постоянной и половиной временной. При выборе очертания по кривой давления нужно иметь в виду следующее обстоятельство, указанное проф. Тимошенко. Если ось свода очертить выше кривой давления в предположении 3 шарниров, то действительная кривая давления бесшарнирного свода поднимается выше, чем при совпадении оси с кривой давления трехшарнирного свода. Этим путем можно за счет увеличения эксцентриситета в замке уменьшить эксцентриситет в пятах и устранить растягивающие напряжения в пятах, если они были, или уменьшить их. Сначала очертание свода можно назначить по параболе, а для пологих сводов—и по дуге круга; при неудовлетворительных результатах проверки вычерчивают коробовую кривую, возможно более близко проходящую к полученной кривой давления. Для сводов больших пролетов рациональное очертание оси м. б. задано уравнением кривой, очень мало отличающейся от цепной линии (см. *Своды*, *Катеноид*). Преимущества, которыми обладают функциональные кривые, в том числе и катеноид, заключаются в непрерывном изменении их кривизны, чего нет в случае коробовой кривой. Катеноид проще строить не по уравнению Легея, а приближенно, по Сежурне, который дает уравнение:

$$y = \frac{b(n^2 - a^2)}{a^2} \cdot \frac{x^2}{n^2 - x^2};$$

n определяется по условию, чтобы кривая проходила через какую-нибудь промежуточную точку $M(x_1, y_1)$,

$$n^2 = \frac{a^2 x_1^2 (b - y_1)}{b x_1^2 - a^2 y_1},$$

где a—полупролет и b—стрела. Франц. инженеры часто очерчивают своды по внутренней кривой, а ось получают, откладывая от нее по радиусам половину толщины свода.

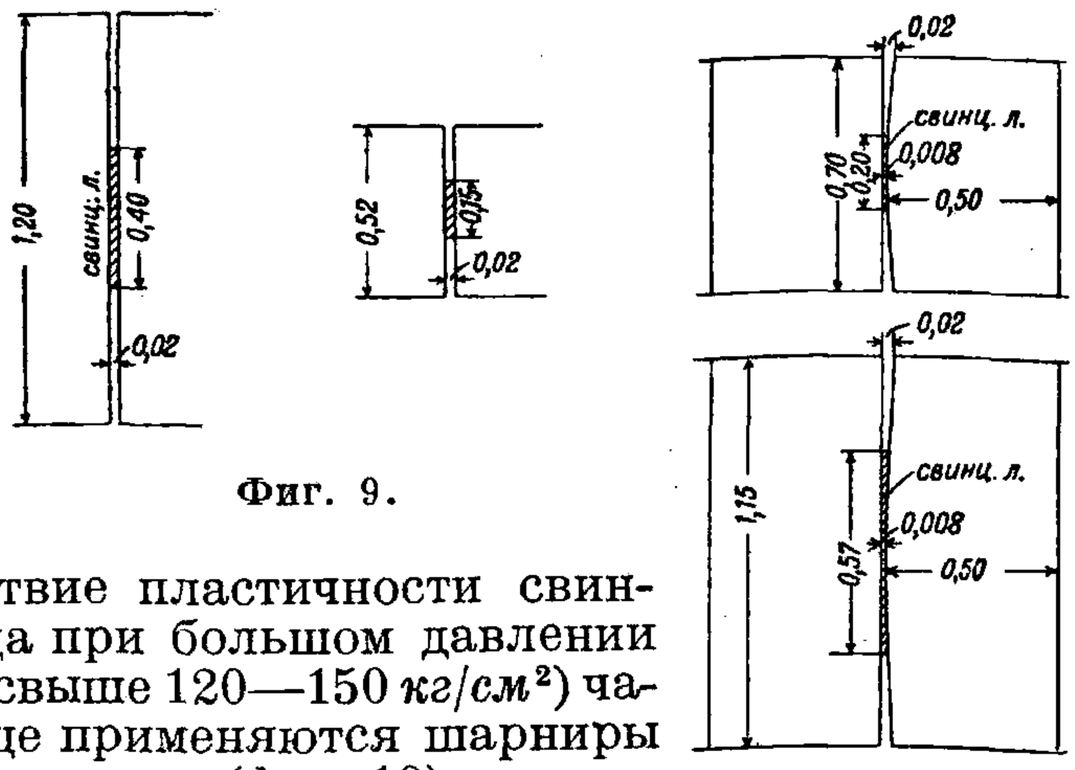
Напряжения от изменения $t°$ в бесшарнирн. пологих и больших сводах достигают большой величины, почему исследование влияния колебаний $t°$ д. б. произведено обязательно. С целью уменьшения $t°$-ных напряжений в своде необходимо производить

замыкание его при возможно низкой $t°$. Для устранения влияния колебания $t°$ на напряжения в сводах (в особенности в пологих) применяются шарниры в пятах и замке.

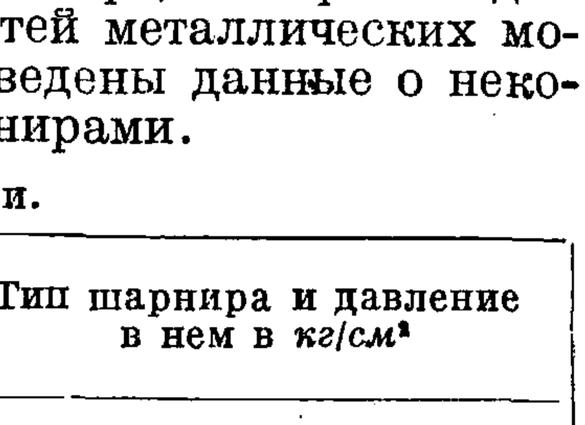
Идея применения шарниров к К. м. принадлежит французск. инж. Дюпюи (Dupuit, 1870 г.), предложившему переместить давления в центр шва при помощи устройства, к-рое заключается в скашивании шва со стороны внутреннего очертания свода с закруглением точки перелома шва. Таким путем получается обязательная для кривой давления точка, к-рую можно расположить, как угодно, а следовательно, становится возможным бороться с часто замечаемым при раскружаливании явлением раздробления кромок камней в швах перелома, когда кривая давления перемещается к внутреннему очертанию свода. Помимо этих выгод от установки в сводах трех шарниров, имеются и еще некоторые: простота расчета и устранение трещин в пятах и в замке свода от осадки при раскружаливании или сдаче устоев. Шарниры в своде м. б. применены постоянного устройства и временные, при постройке и раскружаливании. Простейшим типом временного шарнира является узкая свинцовая прокладка (фиг. 9); по раскружаливании и устройстве надсводных частей моста шарнирные швы заделываются раствором. Вследствие пластичности свинца при большом давлении (свыше 120—150 *кг/см²*) чаще применяются шарниры чугунные (фиг. 10) и стальные. Для сводов небольших пролетов иногда ставят шарниры из камней, соприкасающихся по цилиндрич. поверхностям разных радиусов. На фиг. 11 показана конструкция шарниров, состоящая частью из искусственных (бетонных) камней, частью из естественных (песчаника). Гранитные шарниры рассчитываются по ф-ле Герца:

$$P = \sigma_{max} \cdot 2\pi a\left(1 - \frac{1}{m^2}\right) lr,$$

где P—полное давление одного камня на другой, l—длина цилиндрич. поверхности, r—радиус направляющей окружности цилиндрич. поверхности, $a = \frac{1}{E}$ (где E—коэфф-т упругости), σ—напряжение материала в месте касания и m—пуассоново число. Допускаемые напряжения в шарнирах из свинца с примесью сурьмы назначаются не более двойного допускаемого напряжения для кладки свода и во всяком случае не более 120 *кг/см²*. Для гранитных и бетонных шарниров допускаемые напряжения устанавливаются на основании лабораторных испытаний, причем для предварительного задания можно принимать: для гранитных шарниров—не свыше 300 *кг/см²* при $E = 300\,000$ *кг/см²*, а для бетонных—не свыше 150 *кг/см²* при составе бетона 1 : 2 : 2 и $E = 210\,000$ *кг/см²*. Для определения напряжения в металлических шарнирах, балансирах и подушках пользуются формулой Герца и нормами для расчета опорных частей металлических мостов. В табл. 1 приведены данные о некоторых мостах с шарнирами.



Фиг. 9.



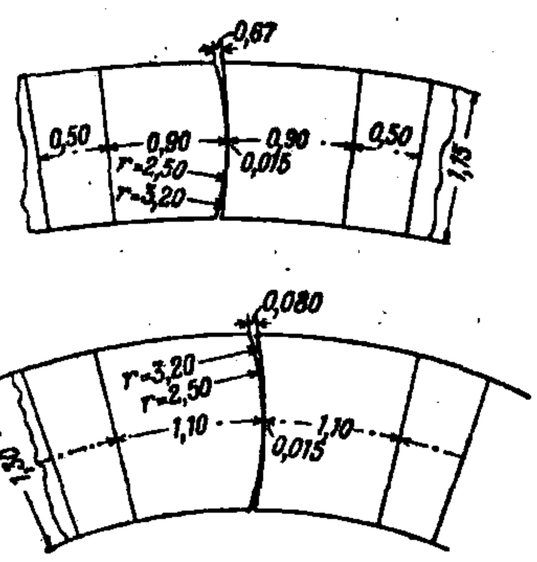
Фиг. 10.

Табл. 1.—Данные о мостах с шарнирами.

Наименование моста	Дорога	Пролет по шарнирам в *м*	Пологость	Толщина свода в *м*		Тип шарнира и давление в нем в *кг/см²*
				в замке	в пяте	
Marbach	Обык. д.	32	1 : 10,3	1,2	1,5	Врем. свинц. пластинка, 55
Garching	Ж. д.	38,5	1 : 5,3	1,1	1,75	Пост. свинц. пластинка, 80
Göhren	Обык. д.	60,6	1 : 8,9	1,1	1,2	Катучий, гранит, 3 850 *кг* на 1 *см* длины шарнира
Sauvage	» »	34	1 : 8,3	0,7	0,8	Катучий, бетон, 1 500
Gräveneck	» »	48,4	1 : 6,2	0,6	0,75	Катучий, железобетон, 1 680
Morbegno	Ж. д.	66	1 : 7	1,5	2,2	Стальной, на жел. короб., 6 000 *кг* на *п. см* длины

На основании данных о существующих мостах можно прийти к заключению, что для мостов под обыкновенную дорогу толщина сводов с тремя шарнирами на 10—15% меньше, чем для сводов без шарниров.

Разбивка на пролеты. Наметив на профиле перехода через реку верхнюю границу полотна моста, задав при этом подходящие продольные уклоны, а также вычертив горизонты воды, ледохода и судоходные габариты, ставят вопросы о разбивке отверстия моста на пролеты, о величине пролетов, о положении быков и пр. Чтобы намеченная величина пролета м. б. осуществлена, необходимо располагать достаточной высотой моста для задания соответственной стрелы свода. Положение замка определяется уровнем полотна моста; если нужно, полотно моста приподнимают над берегами, иногда на очень большую высоту. К судоходному пролету можно поднять полотно, придавая ему продольный уклон. Положение пят намечается сообразно местным условиям. В стремлении получить более подъемистый свод возможно



Фиг. 11.

опустить пяты в высокую воду, но не ниже горизонта сплошного ледохода. У многих европейских мостов пяты погружены в высокую воду на 3—4 *м*.

Выделив судоходные пролеты, остальные пролеты назначают свободно, подчиняя их величину прежде всего эстетич. соображениям, затем соображениям технич. целесообразности и, наконец, соображениям стоимости. В художественном отношении три и пять пролетов, по симметрии и по положению среднего пролета над серединой реки, дают более благоприятную картину, чем два или четыре пролета; особенно неблагоприятно деление на два пролета. При бóльшем числе пролетов разница между четным и нечетным числом мало заметна для глаза. Горизонтальность полотна в мостах под обыкновенную дорогу дает очень красивый силуэт моста, но она редко осуществима по местным условиям.

В технич. отношении может возникнуть вопрос об уравновешивании распоров от постоянной нагрузки на каждом быке, когда к нему примыкают неодинаковые своды. Выбирая по произволу пролеты, можно удерживать распор без изменения, меняя соответственно стрелу или нагрузку или то и другое. Можно располагать пяты с меньшим распором на большой высоте от обреза фундамента, чтобы кривая давления в быке в ответственных сечениях проходила удовлетворительно. Наконец, возможно допустить и неравенство распоров, что вызовет утолщение быка и одностороннее уширение фундамента, для того чтобы давление от постоян. нагрузки на грунт получить равномерным.

Обычно отверстие длинных, низких мостов разбивается на равные пролеты при горизонтальном положении полотна, или на мало разнящиеся—в мостах с уклонами, чтобы уменьшением пролета соответственно уменьшению стрелы удержать распоры одинаковыми. В экономич. отношении правило наивыгоднейшего деления моста на пролеты требует, чтобы стоимость одного быка равнялась стоимости пролетного строения (без проезжей части). Чем основание опоры дороже, чем выше она и чем больший имеет объем и количество облицовки, тем больше д. б. пролет. Затем, чем дороже кладка свода, тем меньше д. б. пролет; с уменьшением стоимости основания опор при хорошем грунте пролет тоже можно уменьшить. Отступления от указанного условия не только возможны, но и необходимы как в силу соображений о местных условиях, так и в силу переменной стоимости быков, толщина к-рых должна изменяться с изменением пролета свода. Выбор окончательного решения зависит от результатов сравнительного подсчета стоимости сооружения по вариантам, от субъективных стремлений строителя, его вкуса и пр. Данные для наиболее замечательных К. м. приведены в табл. 2.

Табл. 2.—Данные для наиболее замечательных каменных мостов.

Наименование моста	Род дороги	Длина пролета в *м*	Пологость	Толщина свода в *м*		Род кладки
				в ключе	в пяте	
Boucicaut	Обыкн. д.	40×5	1 : 8	1,05	1,24	Окол. известняк
Avignon	» »	40×10	1 : 8	1,05	1,24	» »
Castelet	Ж. »	41,2	1 : 2,9	1,25	2,25	» гранит
Orléans	Гор. »	44,7	1 : 7,6	1,25	1,46	» известняк
Antoinette	Ж. »	50	1 : 3,15	1,50	2,28	» гранит
Amidonniers	Гор. »	46÷42	1 : 4,2	1,25	2,59	» известняк
Lavaur	Ж. »	61,5	1 : 2,2	1,65	2,81	» »
Jaremcze	» »	65	1 : 3,6	2,10	3,10	Тесан. песчаник
Montanges	Обыкн. д.	80,3	1 : 3,9	1,50	2,50	Окол. известняк
Salcano	Ж. »	85	1 : 3,9	2,10	3,50	Тесан. известняк
Luxembourg	Гор. »	84,7	1 : 2,7	1,44	2,16	Окол. песчаник
Plauen	» »	90	1 : 5	1,50	2 (в раменах)	Сланец
Villeneuve	» »	96,3	1 : 6,2	1,45	2,00	Бетон

Нагрузки и напряжения. Согласно технич. условиям проектирования и сооружения каменных ж.-д. мостов, при расчете сводов пролетом до 25 *м* подвижная нагрузка вводится в расчет с динамич. коэффициентом 1,2—1,3 при сквозном надсводном заполнении и 1,1—1,2 при забутке или засыпке толщиной в 1,2 *м* и менее; при большей толщине засыпки, а равно и для всех сводов пролетом свыше 25 *м* динамический коэффициент принимается равным 1.

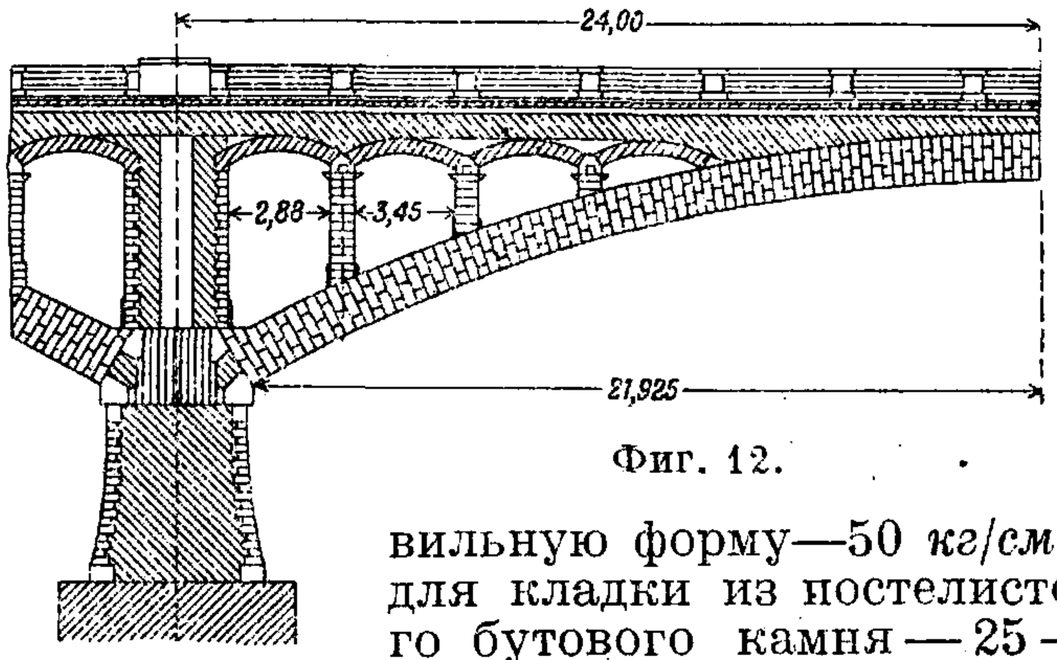
Напряжения от временной нагрузки для сводов пролетом свыше 15 *м* определяются для двух случаев нагрузки свода: загружения всего пролета с расположением наиболее тяжелых грузов близ середины пролета и загружения полупролета с расположением тяжелых грузов близ четверти пролета, при чем временную нагрузку разрешается заменять сплошной, равномерно распределенной. Напряжения в сводах пролетом свыше 25 *м* и со стрелой подъема меньше $^1/_4$, во всех сводах пролетом свыше 40 *м* независимо от величины стрелы подъема, а также во всех сводах с высотой засыпки над ключом менее 1,20 *м*, пролетом свыше 15 *м* независимо от стрелы подъема, определяются при введении в расчет подвижной нагрузки в виде системы сосредоточенных грузов. При надсводном строении с поперечными пустотами давление, передаваемое опорами надсводной эстакады, м. б. принято как в виде сосредоточенных грузов, расположенных по осям опор, так и равномерно распределенным на половину расстояния между осями опор в обе стороны. При расчете опор железнодорожного моста учитывается сила торможения, приравниваемая $^1/_{10}$ веса части поезда на прилегающем к опоре пролете; тормозная сила считается приложенной на высоте 2 *м* над головкой рельса.

Напряжения от действия ветра определяются лишь для сводов пролетом более 30 *м* и только в узких однопутных ж.-д. мостах. Напряжение от действия ветра разрешается определять для пятового сечения приближенным способом как сумму напряжений, определенных для двух случаев: а) для горизонтальной балки с заделанными концами, пролетом, равным длине развернутой оси свода, равномерно нагруженной давлением ветра в 150 *кг/м²* на весь пролет; б) для вертикальной балки, заделанной нижним концом, пролетом, равным вертикальной проекции полусвода, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой от давления ветра на половину пролетного строения и сосредоточенной силой на свободном конце от действия ветра на половину подвижной нагрузки, при чем давление ветра равно 250 *кг/м²*.

Влияние $t°$ д. б. обязательно учитываемо для каменных и бетонных сводов пролетом в 15 *м* и более, а в бетонных сводах, сверх того, должны определяться напряжения, зависящие от усадки свода. Расчетная разность $t°$ свода определяется в зависимости от материала и размеров свода, климата местности и $t°$ замыкания свода, принимаемой в пределах 5÷15°, от к-рой и отсчитываются полные расчетные разности температуры. При определении напряжений от колебания темп-ры можно принимать: модуль упругости каменной кладки равным 60 000 *кг/см²*, кирпичной кладки—28 000 *кг/см²*, бетона—140 000 *кг/см²*; коэфф. линейного расширения для каменной кладки—0,000008, для бетона—0,000013. Влияние усадки бетона приравнивается добавочному понижению $t°$ на 10—15°, в зависимости от условий бетонирования. По данным Фрейсине (Freyssinet), коэфф. линейного сокращения бетона колеблется, в зависимости от пропорции цемента, след. обр.: при 350 *кг* цемента на 1 *м³* бетона—0,0003—0,0006, при 400 *кг*—0,0005—0,0007 и при 450 *кг*—0,0006—0,0008. Для сводов пролетом больше 25 *м*, расположенных на кривой, следует ввести в расчет действие на свод и быки центробежной силы, напряжения от к-рой определяются для пятового сечения по тому же способу, как и напряжения от действия ветра.

Допускаемые напряжения. Для каменных мостов из естественных камней употребляют гранит, песчаник и известняк; из искусственных—бетон и, реже, бетонные камни и кирпич. Временное сопротивление сжатию различных камней колеблется в широких пределах: русских гранитов—от 600 до 2 000 *кг/см²* (в лаборатории École des ponts et chaussées для порфиров и базальтов получены числа до 2 800 *кг/см²*); известняков и песчаников—от 300 до 1 500 *кг/см²* (последний предел соответствует алексинским известнякам). Значительно ниже временное сопротивление раствора раздроблению: при составе 1 : 2 до 1 : 3 оно примерно выражается следующими цифрами (после 28 дней): для портландского цемента 180—300 *кг/см²*, для высокосортного цемента 400 *кг/см²* и выше. Сопротивление раздроблению кладки зависит от прочности камня и раствора, величины и правильности формы камней и толщины швов. В общем, сопротивление кладки ниже сопротивления камня, но выше сопротивления раствора. Наибольшее сопротивление дает кладка из штучных камней с правильными гранями.

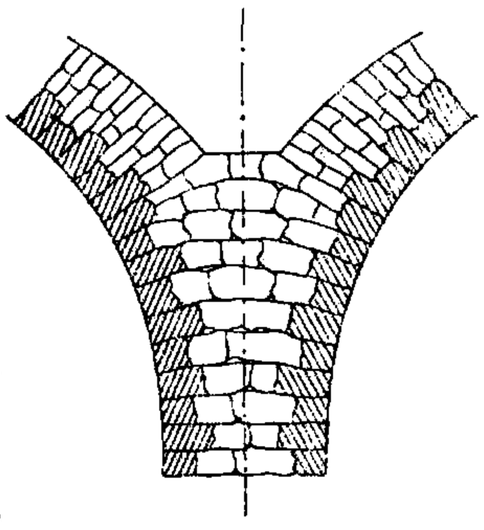
Допускаемые напряжения для сводов и опор на сжатие при изгибе, согласно технич. условиям на каменные ж.-д. мосты, для кладки из штучных камней получистой тески на растворе 1 : 3 не должны превосходить 65—80 *кг/см²* (в зависимости от временного сопротивления камня от 800 до 1 000 *кг/см²*), для кладки из грубо околотых камней в правильную форму—50 *кг/см²*, для кладки из постелистого бутового камня—25—35 *кг/см²*, для кладки из обыкновенного бутового камня и для кирпичной кладки на растворе не ниже 1 : 4—15 *кг/см²*. Для бетона допускаемое напряжение сжатию принимается в $^1/_5$ временного сопротивления, а именно: для бетона состава 1 : 4$^1/_2$—40 *кг/см²*.



Фиг. 12.

Сопротивление раствора на разрыв составляет в среднем от 15 до 20 *кг/см²* при составе 1 : 2 и 1 : 2,5 и при возрасте 1—1$^1/_2$ месяца; для временного сопротивления сцепление раствора с камнями можно принять для бутовой кладки в среднем 8,5 *кг/см²*, для кирпичной кладки—6 *кг/см²*, а для бетона—5 *кг/см²*; при расчете на срезывание допускается для каменной кладки 2 *кг/см²* и для бетона—4 *кг/см²*. Допускаемые напряжения для кружал—см. *Железобетонные мосты*.

Кладка свода чаще всего производится из постелистого бутового камня. Для сводов сравнительно небольших пролетов допустима нек-рая разница в кладке тела свода и облицовки; в серьезных случаях толщина облицовки и камней тела свода д. б. одинакова; чем больше пролет и меньше стрела, тем однородность кладки свода д. б. строже проведена. В большинстве случаев при устройстве перевязки швов в кладке свода эта перевязка достигается рядами: камни одного ряда кладут вдоль образующей свода одной высоты, следующего ряда—тоже одной высоты, большей или меньшей; свод при кладке первых колец получает вид зубчатого колеса. В продольном разрезе кладка свода устраивается как показано на фиг. 12 и 13.


Фиг. 13.

Для пологих сводов с круто расположенными пятами, которые производят значительное давление на часть кладки, зажатую между пятами, очень целесообразно вертикальное расположение рядов в зажатой части. При сопряжении пят двух круто

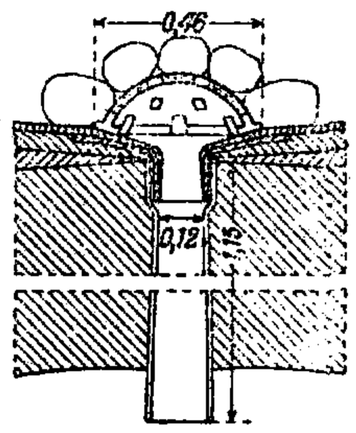
спускающихся сводов ряды д. б. нормальны давлению на кладку; облицовка по криволинейной части быка располагается радиально и продолжает облицовку свода внутри пролета.

Производство кладки свода. Различные приемы, применяемые при кладке сводов, имеют в виду обезопасить свод от трещин вследствие осадки кружал, неизбежной несмотря на все принимаемые при их постройке предосторожности, а также уменьшить движение и самую нагрузку кружал разумным распределением производимой кладки по очертанию свода. Уменьшение нагрузки на кружала достигается кладкой свода концентрич. кольцами. При таком способе кладки кружала нагружаются лишь половиной или третьей частью веса всего свода, соответственно весу первого кольца. Следующие кольца поддерживаются уже сомкнутым предыдущим кольцом; этим можно воспользоваться для уменьшения осадки кружал, если они сконструированы для поддержания веса всего свода, но чаще этим пользуются для удешевления кружал, придавая им размеры соответственно уменьшенной нагрузке,—в таком случае появление трещин возможно только в первом кольце. Рациональной мерой предосторожности является устройство пустых швов во время производства кладки свода. Пустые швы оставляют в местах, где можно ожидать появления трещин в своде при осадке кружал, а именно: в пятах, в швах перелома и, для сводов больших пролетов, в швах, лежащих над опорными точками косяков, т. е. над вершинами подкосов. Что касается способов удержания камней на расстоянии толщины швов, то чаще всего в швах по внутреннему очертанию свода прокладывают деревянную планку высотой ок. 2 *см*, к-рую потом извлекают, после чего шов расширяется; над планкой кладут свинцовую полосу, шириной ок. 4 *см*, к-рая оставляется в кладке. Вверху камней, где зазоры имеют менее однообразную ширину, камни удерживаются деревянными клиньями или прокладками.

Заделка пустых швов производится путем втрамбовывания почти сухого цементного раствора. Способ этот впервые был применен инж. Сежурне в 1884 г. при постройке мостов Castelet, Lavaur и Antoinette; на 50 *кг* цемента и 77 *л* песка он брал 10—11 *л* воды при сухом песке и 9 *л* при сыром песке. Таким приемом имелось в виду создать при замыкании свода напряжения в нем; появление напряжений означает уже работу свода как такового и сопровождается уменьшением давления на кружала. По лабораторным опытам инж. Турте (Tourtay), можно вызвать давление в шве до 15 *кг/см*^{2}. Наконец, оставление пустых швов с заклиниванием свода сразу в нескольких местах посредством трамбования устраняет трещины от осадки свода во время раскружаливания и после этой операции, т. к. здесь остаются возможными лишь упругие деформации свода в уменьшенном размере.

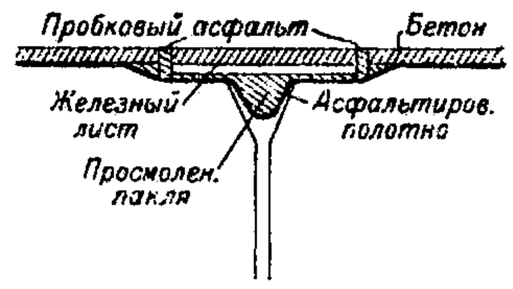
Для равномерного распределения нагрузки на кружала по всему пролету необходимо производить кладку свода участками. Каждый участок кладется независимо от других, но одновременно. Если участок проходит непрерывно над жесткими точками кружал, то в нем оставляют над этими точками пустые швы. Для поддержания кладки при ведении ее сегментами в подъемистых сводах применяются подпорные деревянные стеночки, укрепленные подкосами на косяках; в пологих сводах кладка, в зависимости от угла наклонения, может держаться на опалубке одним лишь трением.

Изоляция д. б. положена или непосредственно по своду или, в случае заполнения пазух бетоном, поверх этого последнего. Для предохранения изоляции от порчи при подбивке шпал или ремонте необходимо прикрыть ее кирпичом или слоем тощего бетона. Для собирания воды, просочившейся до изоляции, поверхности последней придают скаты с уклоном в 1—3%, сводящие воду в пункты, откуда она выводится наружу при помощи чугунной или железной трубки диаметром 7—10 *см*. В отношении выхода воды наружу лучше всего располагать трубку в замке свода, так как внутренняя поверхность его в этом случае не будет грязниться, но такой прием сопряжен с заполнением пазух забуткой. На фиг. 14 приведено устройство трубки с дырчатым колпаком над ней; нижний конец трубки желательно снабжать фланцем, окруженным канавкой, во избежание затекания капель на свод. В верхнем конце трубки, для предупреждения прохода воды в кладку по стыку трубки с кладкой, необходимо изоляцию завести внутрь. Не следует производить выпуск воды через боковые стенки.



Фиг. 14.

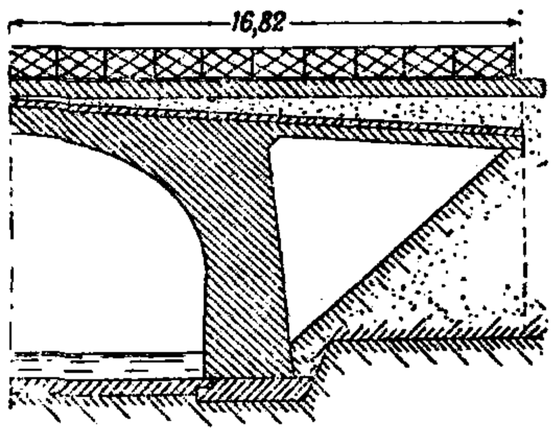
Весьма трудно перекрывать $t°$-ную щель без разрыва изоляционного слоя. Задача заключается в том, чтобы при изменении ширины щели изолирующий слой свободно деформировался без разрыва, при чем иногда по изоляции должна проходить вода; конструкция упрощается, когда шов приходится на водоразделе. Наиболее рационально вопрос разрешается устройством в изолирующем слое складки, позволяющей без натяжения изоляции менять ширину щели; складку необходимо освободить от давления полотна. Один из вариантов этой детали представлен на фиг. 15.



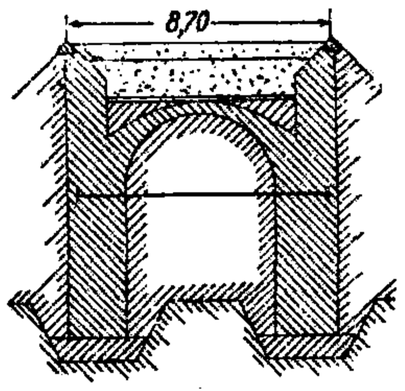
Фиг. 15.

Очертание опор. Устой К. м. расчленяется: на ядро, передающее давление пят свода на грунт; боковые стенки, поддерживающие заполнение под полотном в пределах откоса конуса; продольн. и поперечн. своды, замещающие иногда часть упомянутого заполнения. При рациональном очертании устоя форма ядра подбирается по положению кривых давления для предельных нагрузок: 1) свод и устой не имеют над собой засыпки (момент раскружаливания), 2) полное загружение свода, 3) загружение устоя при отсутствии нагрузки на своде. При этом д. б. соблюдено условие допускаемого давле-

ния на грунт и условие устойчивости пят на сдвиг; коэфф. трения кладки по кладке можно принять равным 0,7—0,8, сопротивление

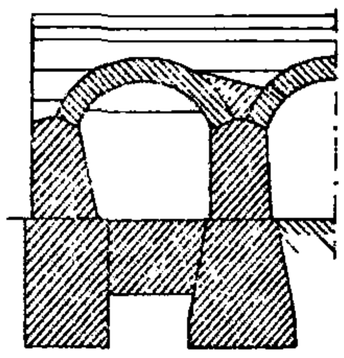


Фиг. 16.



Фиг. 17.

кладки скалыванию—5 *кг/см²* при учете и сопротивления трению; коэфф. устойчивости на сдвиг д. б. не менее 1,5. При трудности получить удовлетворительный результат прибегают к наклонному расположению слоев кладки и наклонному положению подошвы фундамента, которая д. б. по возможности нормальной к направлению равнодействующей, определяемой при отсутствии временной нагрузки. При устройстве свайного основания рекомендуется передавать давление на него от собственного веса сооружения возможно более центрально. О давлении насыпи на устой см. *Опоры* мостов.

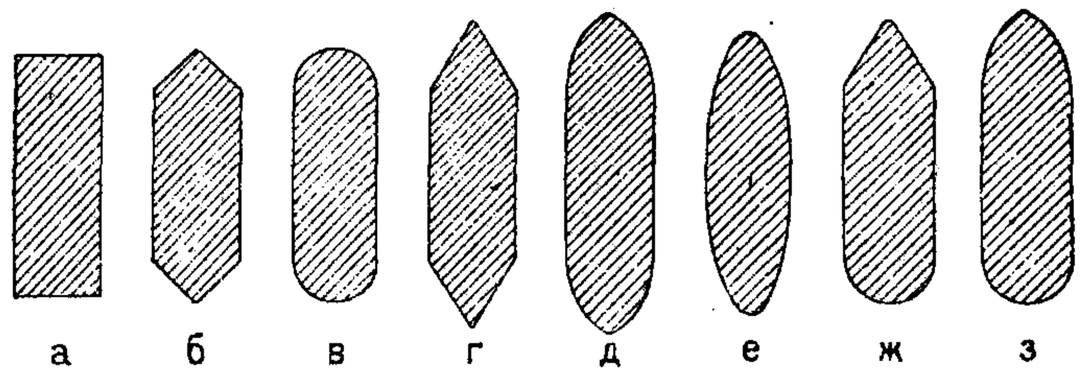


Фиг. 18.

В массивных устоях с излишним количеством кладки, являющимся мертвым грузом и увеличивающим давление на основание опор, необходимо прибегать к уменьшению кладки путем устройства продольных или поперечных проемов, перекрытых сводами. При средней высоте насыпи, примерно до 10 *м*, с успехом применяется продольный свод для перекрытия пространства между передней стенкой устоя и обратными, что дает возможность освободить от давления засыпки переднюю стенку и почти уравновесить давление земли на обратные стенки (фиг. 16 и 17). Для уменьшения распора полезно продольному сводику давать возможно больший подъем или заменить его железобетонной плитой. Устройство поперечных проемов лучше согласуется с наличием распора со стороны пролета (фиг. 18); во избежание прохода вод через такие проемы в них д. б. поставлена одна или две тонкие стенки, распертые между собой также стенкой.

Бык получает свое очертание в зависимости от действующих на него усилий и расположения пят сводов. При загружении одного пролета временной нагрузкой равнодействующая давлений на швы и на подошву фундамента не должна выходить из средней трети. В исключительных случаях допускается выход кривой давления из средней трети, при чем растягивающие напряжения в кладке не должны превышать 2 *кг/см²*.

При глубоком заложении основания при помощи опускных колодцев или кессонов, поверка напряжений по ф-ле неравномерного сжатия делается лишь для сечения, совпадающего с уровнем дна реки (после размыва, если он предусматривается расчетом отверстия). Давление на подошву определяется при этом в предположении равномерного распределения вертикальных слагающих.



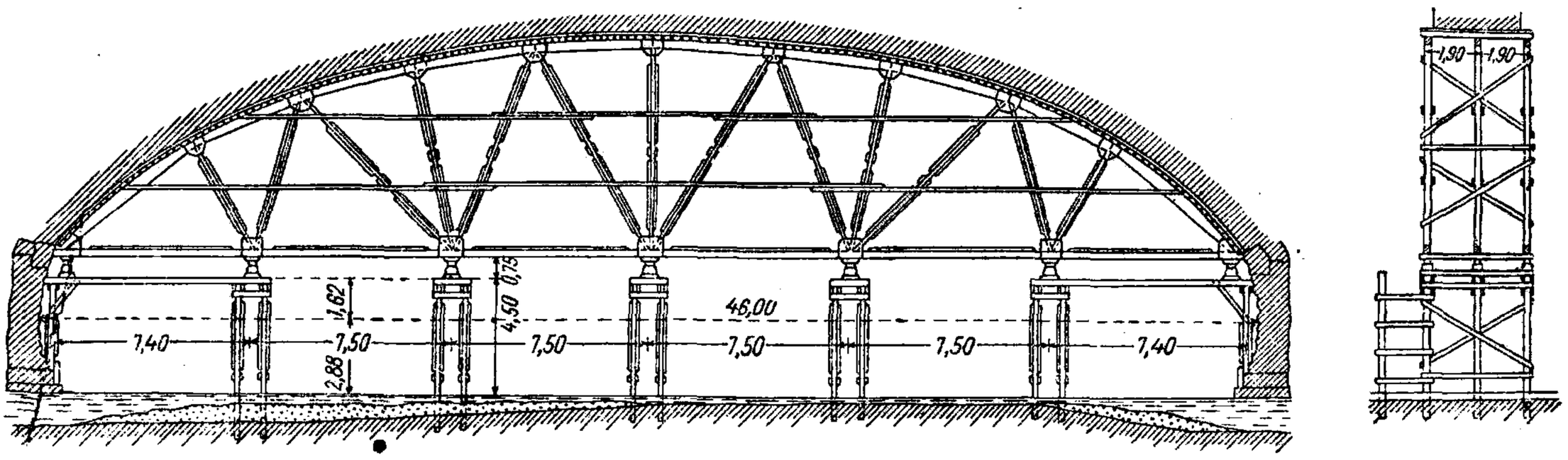
Фиг. 19.

Давление на грунт при глубине заложения основания до 2,5 *м* от поверхности земли не должно превосходить для:

Сухого мергелистого и глинистого плотного грунта	5	*кг/см²*
Плотно слежавшегося сухого песка	4	»
Гравия и крупного песка	6	»
Сухого чистого песка	2	»
Глинистого влажного слабого грунта	1	»
Скалы твердой, сплошной (независимо от глубины заложения основания)	30	»
Скалы среднего качества	15	»
» слабой	8	»

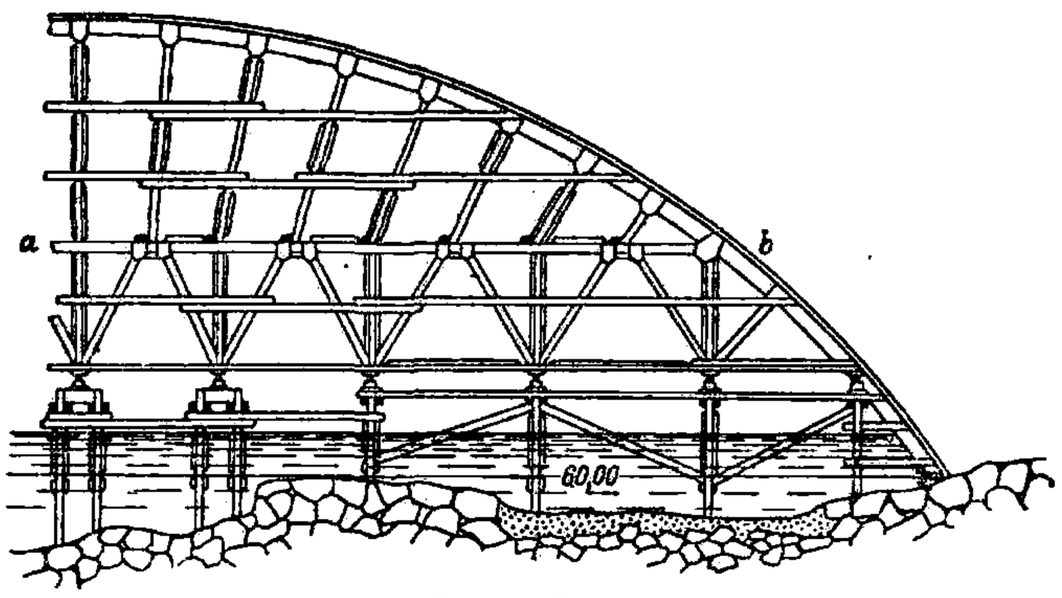
При углублении фундамента в глинистый или песчаный грунт на глубину более 2,5 *м* допускаемые напряжения м. б. повышены от 0,10 до 25 *кг/см²* на каждый *м* глубины—чем глубже, тем больше. Предельная нагрузка на сосновые сваи, забитые в грунт под основание до отказа, допускается: на сваю диам. 26 *см*—17 *т*, диам. 30 *см*—22,5 *т*, диам. 34 *см*—29 *т*.

Для начала подбора профиля быка можно взять толщину его в уровне пят от $^1/_5$ до $^1/_{10}$ пролета, а боковым граням придать уклон от $^1/_{40}$ до $^1/_{15}$. На быке должны помещаться пяты сводов с нек-рым расстоянием между ними (от 0,25 до 0,5 *м*). Наименьшая толщина быка—1,5 *м*. Устройство пустот внутри высоких быков для уменьшения давления на грунт возможно при применении железобетонных горизонтальных диафрагм.



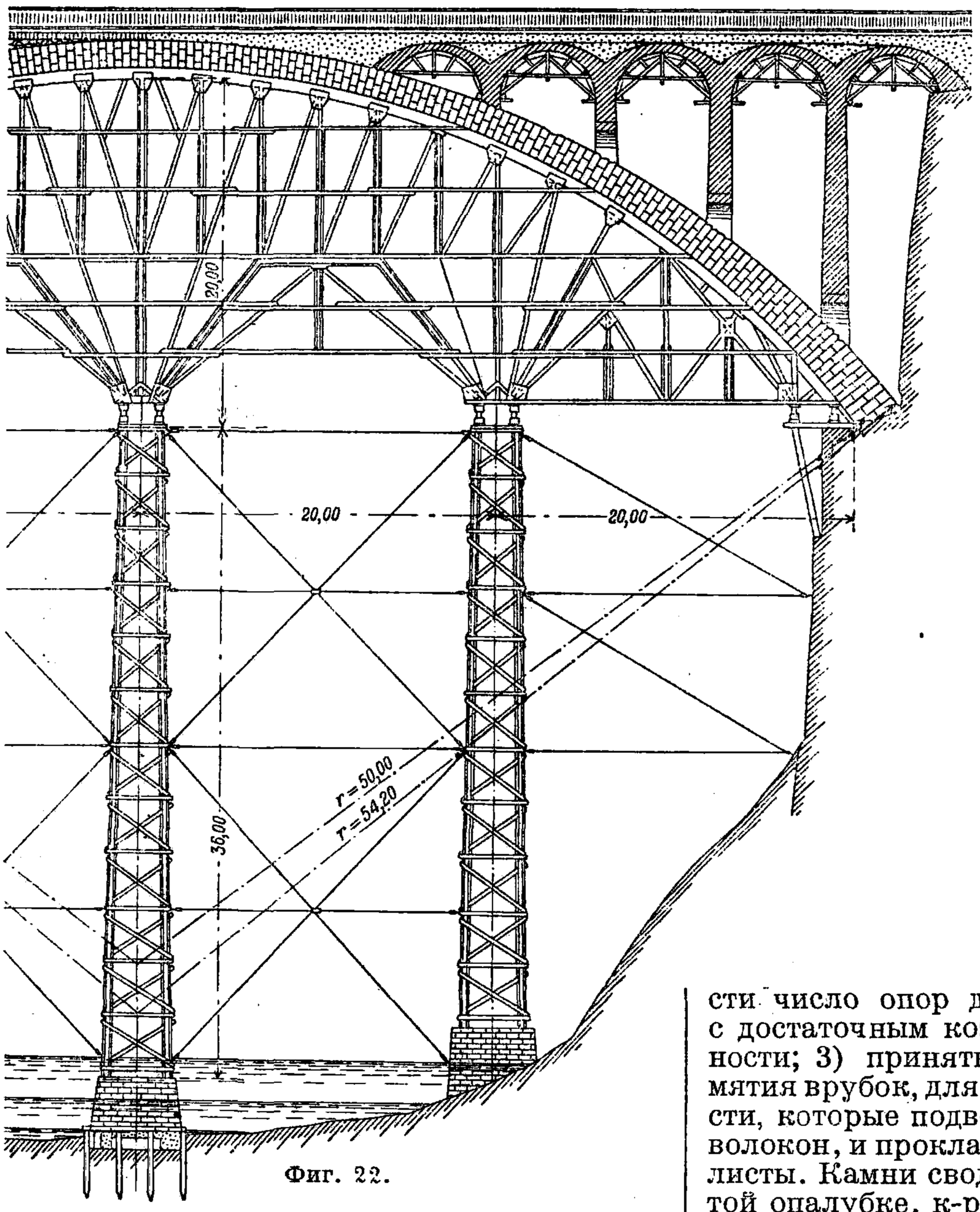
Фиг. 20.

Очертание быка в плане должно отвечать местным условиям. Если бык проектируется для путепровода или вне водного потока,



Фиг. 21.

простейшей формой для кладки является прямоугольная. Если бык д. б. расположен в русле потока, то очертание его в плане должно способствовать благоприятному протеканию воды под мостом. Быки в таких случаях стесняют живое сечение потока, увеличивают его скорость и б. или м., в зависимости от очертания, нарушают правильность течения воды, вызывая увеличение скорости в одном месте и уменьшение ее в другом, а также появление водоворотов, вследствие чего происходит размыв грунта и образование отложений. Из произведенных опытов установлено, что формы «д» и «е» (фиг. 19) вызывают наименьшее возмущение течения вдоль быка и перед ним по высоте волн и по ширине возмущенной поверхности. Форма быка в плане при плоских боках д. б. образована кривыми, плавно сопрягающимися с боками, т. е. по фиг. 19, д. Для большего упрощения кладки аванбек (передний фас быка) можно очерчивать прямыми в виде равностороннего тр-ка (форма «г»), при чем для прочности острое режущее ребро следует закруглить (форма «ж»). Для малых речек с ледоходом допускают очертание «б», с незначительным округлением углов, при чем корма быка делается круглой. Для речек даже с ледоходом, при незначительной прочности льда, или для речек с большой скоростью под мостом и со слабым грунтом весьма целесообразной является форма «з». Чем больше скорость потока, чем сильнее живое сечение его стесняется быками, чем слабее грунт и чем меньше пролеты, тем совершеннее должна быть форма быка.



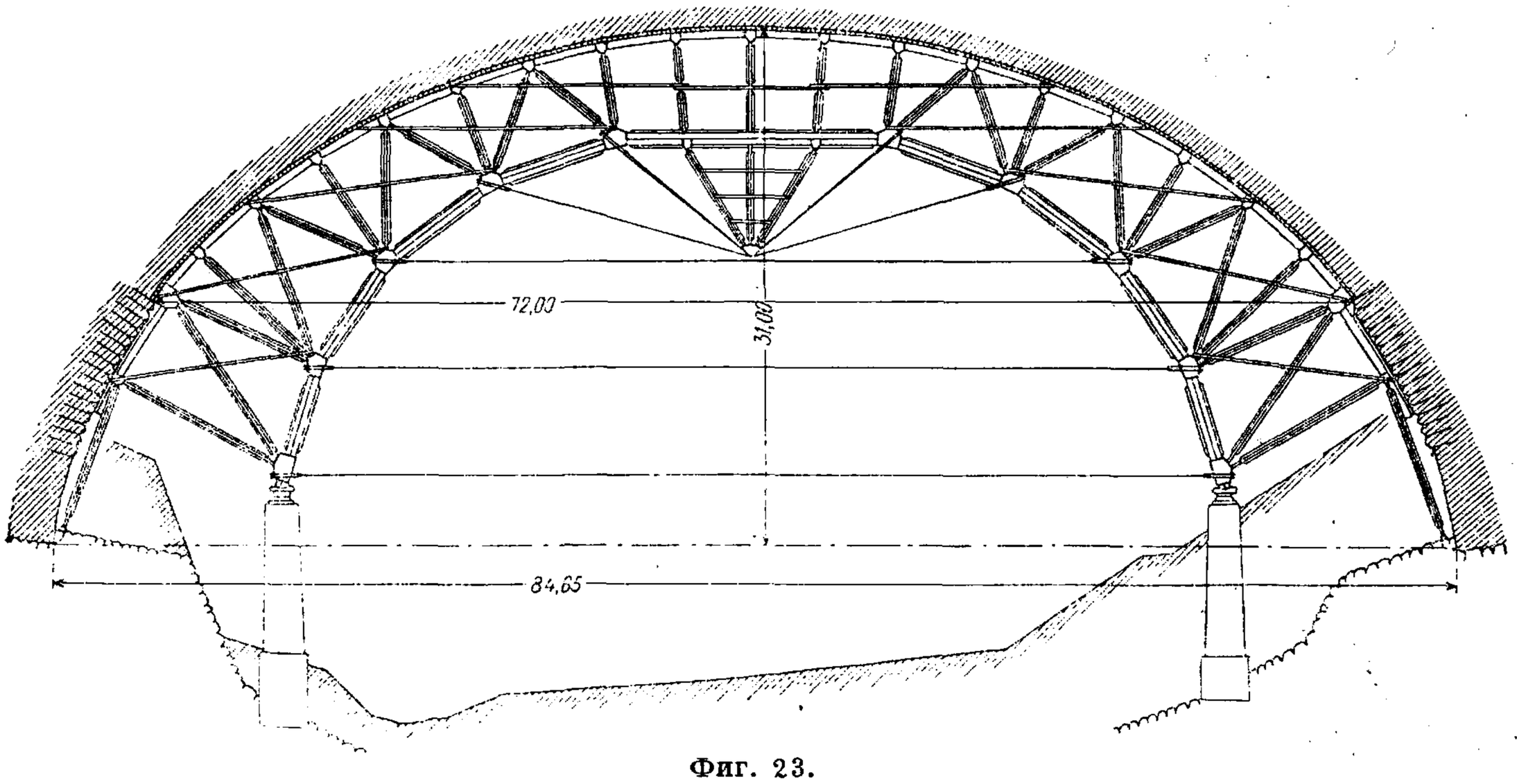
Фиг. 22.

Одним из серьезнейших вопросов, возникающих при постройке К. м., является вопрос о кружалах, в связи с их деформацией при кладке свода; за деформацией кружал неизбежно должен следовать и незамкнутый еще свод, который представляет собою, однако, при употреблении цементного раствора, мало деформирующийся каменный массив, почему в нем и могут появиться трещины. Движение свода по опалубке происходит не только от деформации материала кружал, но и от осадки опор и обмятия врубок. Для устранения деформации свода необходимо: 1) разместить элементы кружал, на основании соображений о правильной их работе, для передачи нагрузки их земле; 2) довести число опор до требуемого по расчету, с достаточным коэффициентом запаса прочности; 3) принять меры к уменьшению обмятия врубок, для чего ставить из дуба те части, которые подвергаются сжатию поперек волокон, и прокладывать в стыках железные листы. Камни свода укладываются на дощатой опалубке, к-рая иногда лежит на обрешетинах и чаще всего на косяках, являющихся верхним поясом подвижных кружальных ферм, опертых, при помощи особых приборов для раскружаливания, каждым узлом на свайные опоры. В поперечном направлении кружальные фермы, подвергающиеся действию ветра, д. б. жестко связаны между собой. Для сводов высоких виадуков постановка промежуточных опор вызывает большие расходы и дает значительную упругую

осадку и осадку от обмятия; поэтому опоры для кружал устраивают в этом случае на быках под пятами сводов, где закладывают железные балки, на выступающих концах к-рых и располагают кружала при помощи приспособлений для раскружаливания. При большом пролете (свыше 20—25 *м*), для большей жесткости, кружала утверждают на деревянной башне, поддерживающей середину кружал в пролете. При постройке длинных многопролетных или очень широких мостов деревянные кружала заменяются иногда железными, к-рые, кроме выгодности многократного применения, имеют еще преимущество большей жесткости. Главный недостаток их — большая чувствительность к колебаниям $t°$. Железные кружала применяются также в случае малой строительной высоты или необходимости оставления во время производства работ значительного судоходного пролета.

Для передачи нормальной составляющей от веса свода, лежащего на кружалах, подкосы должны иметь радиальн. направление. Для сокращения опорных точек нек-рые подкосы могут быть заменены двумя, как это сделано в кружалах моста des Amidonniers (фиг. 20). На фиг. 21 представлены кружала, построенные по тому же принципу для большого подъемистого свода, в которых для уменьшения длины радиальных подкосов приходится перехватывать их опорными точками по уровню прогонов *ab*. Кружала, опертые на несколько башен (высотой 36 *м*), для моста Montanges показаны на фиг. 22. Оригинальная система кружал была применена при постройке моста Адольфа в Люксембурге, пролетом в 84,65 *м* (фиг. 23). В верхней части свода узлы поддерживаются радиальными подкосами, далее—попеременно радиальными подкосами и тр-ками. Все эти элементы опираются на шарнирную деревянную арку-многогранник, по сочленениям к-рой поставлены затяжки из стальных канатов. Под концами этой арки, на специально построенных бычках, были расположены клинья для раскружаливания. Строительный подъем дан был в 135 *мм*: его очень легко было регулировать подтягиванием затяжек. Задание подъема было сделано удачно, т. к. кружала опустились на 140 *мм* (см. *Кружала*).

При проверке прочности кружал следует руководствоваться нормами допускаемых напряжений, предписанными НКПС.



Фиг. 23.

Подача материалов при постройке К. м. производится по служебному мосту при помощи вагонеток или специальных кранов. При сооружении высоких виадуков применяются подвесные дороги. В виадуке Ландвассер высокие быки клались без подмостей. В центре опор поставили железные башенки, на к-рые опирался вспомогательный рабочий мостик-кран в 5 *m*. По мере поднятия опоры башенки наращивали, и мостик поднимался. Железные башенки оставили в кладке.

Лит.: Передерий Г. П., Курс мостов. Конструкция, проектирование и расчет, ч. 1—Мосты малых пролетов, М.—Л., 1927, ч. 2—Мосты больших пролетов, отд. 1—Каменные мосты, Л., 1925; его же, Новейшие приемы постройки каменных мостов, СПБ, 1908; Водзинский Б. М., Мосты каменные и деревянные, СПБ, 1903—04 (литогр.); Кривошеин Г. Г., Расчет сводов, П., 1918; «Труды НТК НКПС», 4-й сборник Бюро инж. исследований, М., 1925; Технич. условия проектирования и сооружения каменных и бетонных мостов для ж. д., М., 1926; Séjourné P., Grandes voûtes, Bourges, 1913—16; Gay C., Ponts en maçonnerie, P., 1924; Aragon E., Ponts et ouvrages en maçonnerie, P., 1909; Freyssinet, Le pont de Villeneuve, «GC», 1921; Picard P., Notice sur la construction du pont de Montanges, «Ann. des Ponts et Chaussées», P., 1911, *4*; Melan J., Der Brückenbau, B. 2, 3 Aufl., Lpz.—W., 1924; Handb. Ing., T. 2, B. 1—Brückenbau, 1917; Tolkmitt G., Leitfaden f. das Entwerfen u. die Berechnung gewölbter Brücken, 3 Aufl., B., 1912; Kirchner H., Rüstungsbau, B., 1924; Foerster M., Die Syratalbrücke im Plauen, im Vogtlande, «Schweizer. Bau-Ztg», Zürich, 1905, *2*; Acatos, Die Addabrücke bei Morbegno, ibid., 1903; Bach C., Versuche mit Granitquadern zu Brückengelenken, «Z. d. VDI», 1903, B. 47, *1*, p. 1439.

Н. Хомутинников.

КАМЕННЫЕ РАБОТЫ, кладка, возведение тех частей сооружения, материалом к-рых служат естественные или искусственные камни. Кладка бывает: 1) тесовая—из правильно отесанных камней, 2) бутовая—из неправильной формы камней естественных пород, 3) кирпичная, 4) смешанная—из бутовой кладки, облицован-

ной тесаным камнем или кирпичом, или из кирпичной, облицованной тесаным камнем.

Основным вопросом при производстве каменной кладки является способ расположения камней, при к-ром получилось бы вполне крепкое и устойчивое сооружение, возможно меньше ослабляемое швами между отдельными камнями или кирпичами. Для этого необходимо, чтобы: 1) главные швы сооружения проходили по плоскостям, перпендикулярным к направлению равнодействующей всех сил, которые действуют на данное сооружение; 2) второстепенные швы проходили по плоскостям, параллельным ей, и притом перпендикулярно или параллельно к лицевой поверхности кладки; 3) вертикальные швы в смежных горизонтальных рядах приходились в перевязку; 4) у отдельных камней, входящих в кладку, не было острых и входящих углов, во избежание раскалывания камней.

Тесовая кладка. Тесовая кладка состоит из отдельных камней с плоскими гранями; камни скрепляются друг с другом раствором или металлич. частями. Для прямолинейных отвесных стен применяются камни в виде кубов или параллелепипедов, для арок и сводов—в виде клиньев, для колонн—в виде цилиндров, клиньев или кольцевых отрезков. Хотя давлению лучше всего сопротивляются камни кубической формы, но при этой форме не достигается перевязка кладки. Для прочности камней формы параллелепипедов и для удобства перевязки отношение их измерений (высоты к ширине и длине) принимается равным для средних пород 1:2:3, а для твердых 1:3:5. Толщина стен, сложенных из известняка, д. б. в нашем климате не менее 1 *м*, а из гранита—не менее 1,3 *м*. При крупных и твердых камнях (гранит) кладка делается логом (фиг. 1), при чем по толщине стены камни м. б. уложены в 1, $1^1/_2$ и более камней; в прочих случаях—логом, или тычком, или же попеременными рядами (фиг. 2). Для перевязки в углах стен употребляют камни бóльших размеров. При производстве тесовой кладки очищают место, куда нужно положить камень, и сначала кладут его насухо, поверяя правилом, наугольником и отвесом, чтобы хорошо пригнать его к другим рядам; затем камень поднимают и подливают под него слой жидкого раствора, толщиною несколько более против требуемого шва (шов д. б. не толще 3 *мм*), следя, чтобы не оставалось потеков на стене; перед наложением на место камень смачивают и опускают так, чтобы он сразу пришелся на надлежащее место. Камень не следует передвигать, т. к. этим нарушается связь его с раствором; неправильно положенный камень нужно вновь поднять, очистить от раствора и подлить снова на место. Когда положение тесовых камней недостаточно обеспечено, то для соединения их между собой применяется замковая притеска (фиг. 3), или же их скрепляют металлич. частями, для чего служат: для скрепления камней одного ряда железные скобы (фиг. 4) весом 0,5—3 *кг* и планки (фиг. 5) весом 1,6 *кг* (последние для камней твердой породы), а для скрепления камней различных рядов — железные пироны (фиг. 6) круглого или прямоугольного сечения, длиной 100—150 *мм*, весом 0,4—1,2 *кг*, толщ. 25—38 *мм*. Все металлич. части заливаются в камне свинцом или цементом; свинец после заливки зачеканивается.

Бутовая кладка. Эта кладка производится из камней неправильной формы естественных пород, чаще всего из плотного известняка, и употребляется преимущественно для фундаментов и реже для стен. Она бывает двух видов: кладка бутовой плиты и кладка булыжника. Бутовую плиту нужно сортировать так, чтобы крупные камни шли на углы и версты (наружные грани), чередуя тычки *а* с ложками *б* (фиг. 7), и чтобы ряды, хотя и разной высоты, шли все же горизонтально; более мелким камнем заполняют середину, плотно подгоняя один к другому и хорошо защебенивая промежутки. Бучение делается в сок, т. е. только наружные камни подливаются, а забутка сажается на разровненный слой раствора и, после расщебенки, заливается сверху жидким раствором. При кладке второго ряда на серединах ложков укладывают тычки, а на тычках—ложки. Камни должны лежать плотно, без шатания. Булыжная кладка применяется за неимением другого камня. Для кладки булыжник надо сделать постелистым, т. е. образовать две постели скалыванием двух горбушек; в остальном кладка ведется так же, как бутовая.

Кирпичная кладка. Кирпичная кладка обладает тем преимуществом, что кирпич имеет правильную форму, удобен в работе и теплопроводность его мала, благодаря чему кирпичные стены жилых строений м. б. гораздо тоньше, чем при кладке из естественного камня. При размещении кирпичей в кладке, кроме правил, указанных выше для каменной кладки, надо избегать употребления ложков внутри кладок, не употреблять без крайней надобности мелкого кирпича (трехчетвертей, половинок и, в особенности, четвертей) и стараться помещать каждый тычок против середины верхних и нижних ложков. Число A кирпичей, потребных на 1 $м^2$ кладки, определяется по формулам

$$A = M \cdot n \text{ и } M = \frac{100^2}{(a+d)(c+d_1)},$$

где M—число кирпичей при толщине стены в $^1/_2$ кирпича; n—толщина стены в полукирпичах; a и c—длина и толщина кирпича в *см*; d—толщина вертикального шва между тычками и d_1—горизонтального шва между рядами по высоте в *см*. Для определения объема V раствора на 1 $м^2$ кладки служит формула

$$V = q \cdot n + p\,(n-1),$$

где q—объем раствора при толщине стены в $^1/_2$ кирпича (при известковом $q=0{,}026$ $м^3$, а при цементном и смешанном $q=0{,}023$ $м^3$); p—объем раствора для заполнения вертикальных швов (толщина шва 10 *мм*) между продольными рядами; n—толщина стены в полукирпичах. Полученный объем раствора увеличивается на неизбежные его потери (кладку сводов и пр.): для стен в $^1/_2$ кирпича—на 15%, в 1 кирпич—на 10%, более 1 кирпича — на 6%. Толщина кирпичных

стен определяется числом кирпичей, умещающихся по толщине стены (размер кирпича по ОСТ 250 × 120 × 65 *мм*). Наименьшая толщина наружных стен из кирпича для жилых строений д. б. в северной и средней полосе СССР не менее $2^1/_2$ кирпичей, в южной полосе в 2—$1^1/_2$ кирпича, в Сибири и на Дальнем Востоке 3 кирпича; внутренние стены, отделяющие холодное помещение от теплых, 2 кирпича; перегородки (внутренние стены), не несущие грузов и не имеющие дымоходных или вентиляционных каналов,—в $1^1/_2$ кирпича, в противном случае—$2^1/_2$ кирпича. В многоэтажных зданиях в нижележащих этажах стены утолщаются. Для нежилых строений (склады, заводские и фабричн. здания) толщина стены e для верхнего этажа равняется $\frac{d}{40}+\frac{h}{25}$, для следующего книзу этажа $e'=\frac{d}{40}+\frac{h+h'}{25}$, и т. д., где h и h'—высоты этажей, d—ширина здания, а если строение подвержено сотрясению (от машин, паровых молотов и т. п.), то $e={}^1/_6\,h$. В отдельно стоящих стенах, смотря по качеству материала, $e={}^1/_8 h \div {}^1/_{12} h$. Для кирпичных оград высотой до 3,2 *м* наименьшая толщина—$1^1/_2$ кирпича.

Различают следующие виды перевязок при кирпичной кладке: 1) цепная—состоит из чередующихся тычковых и ложковых рядов (фиг. 8); 2) крестовая—ряды ложков и тычков так же чередуются, как и при цепной, но в ложковых рядах вертикальные швы совпадают через один (фиг. 9); 3) готическая, или польская, самая распространенная у нас,—из смешанных рядов (фиг. 10); 4) английская—два ложковых ряда чередуются с одним тычковым (фиг. 11); 5) голландская—смешанные ряды чередуются с тычковыми (фиг. 12). Для получения правильной перевязки в углах и в пересечениях стен следует иметь в виду, что каждая из стен при случайной неправильной осадке может отклониться от своего вертикального положения и тогда появится разрыв в месте их соединения. Поэтому в одной из стен *А* (фиг. 13) надо вывести ряд непрерывно до лица, а другую *Б* примкнуть к первой, во втором же ряду—вести стену *Б*, не прерывая, стену *А* примкнуть к стене *Б*; при этом стены, выходящие торцами на фасад, начинать трехчетвертями, положенными тычком, во всю толщину этой стены. Кладку кирпичных стен следует производить горизонтальными рядами и вести, для обеспечения правильности осадки здания, одновременно по всему периметру здания; при больших зданиях и малом количестве каменщиков работа ведется попеременно участками на высоту 1,5—2 *м*. Для лучшей связи одной части с другой край кладки обделывается уступами (штрабы, фиг. 8 и 9, *АБВ*, арады, или на убег, *ВГ*). Для соединения стен, возведенных в различное время, прибегают к соединению шпунтом, устраивая в старой кладке вертикальный паз глубиной в $^1/_2$ кирпича и шириной в $^1/_2$—1 кирпич, а в новой кладке — гребень такого же размера, входящий в паз. Устойчивость стен увеличивается от связи их с другими стенами, примыкающими к ним под углом; кроме того, устойчивость стен м. б. увеличена закладыванием в стены железных связей для противодействия горизонтальным силам, случайно появляющимся в кладке; в многоэтажных строениях эти связи располагаются над перемычками окон через один этаж, начиная со второго этажа, и располагаются по наружному периметру стен, на расстоянии $^1/_2$ кирпича от лица стены. Связи полезны также для скрепления углов. На связи идет полосовое железо шириной 7,5 *см* и толщиной 13—19 *мм*; концы связей выпускаются наружу и оканчиваются проушиной, в к-рую закладывается штырь, толщиной 38 *мм*, длиной до 0,7 *м*, или же конец связи делают в виде болта с нарезкой, на которую навинчивают гайку.

При производстве кирпичной кладки каменщики работают попарно и расставляются так, чтобы на каждые 3 *м* по длине стены (т. н. хватка) находилось по одной паре; на кладку угловых участков надо ставить лучших каменщиков. Прежде чем приступить к производству кладки, определяют направление по лицу стены рядов кирпичей, для чего подливают на концах стен по одному кирпичу и между ними натягивают причалку; затем каждый каменщик в своем участке распределяет кирпичи насухо, соответственно принятой системе перевязки, оставляя между ними промежутки, равные толщине швов. Когда место каждого кирпича по лицу стены определено, то кирпичи отодвигаются на стену, и начинается постепенная их подливка раствором (известковый состав 1:2 или 1:3, цементный—1:3 и 1:4, смешанный—$1:{}^1/_2:6$ и 1:1:6); постель под кирпичи очищают от пыли и поливают из лейки водой, кирпич также поливают водой; затем кладут слой раствора под низ кирпича и на прилегающую заусенку соседнего кирпича, при чем верстовые кирпичи должны класться на густом растворе. По укладке на место кирпич надавливают рукой, чтобы швы приняли требуемую толщину (при известковом растворе вертикальные швы—10 *мм*, горизонтальные —12 *мм*, а при цементном и смешанном—10 *мм*), при чем выдавленный раствор срезывается лопаткой (сердцеобразной формы). Правильность положения лицевых кирпичей поверяется причалкой и правилом, горизонтальность рядов поверяется ватерпасом, а вертикальность стен—отвесом. Во время кладки каменщики должны следить за наружными плоскостями стен, чтобы они не загрязнялись подтеками от растворов; всякие подтеки должны немедленно счищаться, пока раствор еще не успел затвердеть. Для повышения производительности работы каменщиков следует подноску материалов (кирпича, раствора, воды и пр.) и поливку кирпича водой производить чернорабочими, творило с раствором и кирпич располагать на столах высотой около 1,18 *м* и кирпич складывать на них рядами на ребро. В кирпичных стенах зданий, оставляемых нештукатуренными, делается расшивка швов, для чего раствор вынимают из швов на глубину 12 *мм* и это место заполняют смешанным раствором; при этом швам придают форму косого

шва (фиг. 14) или шва с валиком (фиг. 15). Лучше всего при кладке оставлять пустошовку (фиг. 16); в последнем случае достигается лучшая связь штукатурки со стеной. Для стен и перегородок обыкновенный кирпич м. б. заменен пустотелым, силикатным, трепельным кирпичом или пустотелыми бетонными камнями.

Смешанная кладка. Вследствие утонения швов каждая кладка дает осадку, и эта осадка тем больше, чем больше швов; напр. кирпичная кладка дает бо́льшую осадку, чем кладка из тесаного камня. В виду этого при смешанной кладке надо связать облицовку (наружный слой кладки) с забуткой (внутренняя часть массива), так чтобы данная часть представляла собой одно целое, чтобы облицовка не отходила от забутки и чтобы облицовка и забутка не могли осаживаться независимо друг от друга. Когда разница между осадками обеих частей незначительна, т. е. при невысоких стенах (до 3 *м*) облицовку ведут так, что ряды облицовки заделывают в кладку забутки (фиг. 17). При облицовке стен, по окончании кладки, облицовочный материал, будь то естественный камень или облицовочный кирпич, приливается непосредственно к кирпичной кладке впритык на жирном цементном растворе, при чем, если стенка, облицовываемая крупным камнем, высокая, то для соединения облицовки с забуткой применяются металлич. анкера (фиг. 18) со штырями, по которым проушины анкеров могут свободно двигаться при осадке. Для облицовки цоколей зданий применяется способ, показанный на фиг. 19.

Стены Герарда состоят из двух параллельных друг другу стенок (фиг. 20), из которых наружная делается толщиной в 1 кирпич, а внутренняя в $^1/_2$ кирпича на смешанном растворе 1:1:5 или 1:1:6; промежуток между стенками заполняется каким-либо дурно проводящим тепло материалом (трепел, зола, мелкий шлак, торф, мох, древесные опилки); стенки связываются между собой через 3—4 ряда скобами из круглого железа диам. 2—8 *мм* в шахматном порядке на расстоянии 0,7—1 *м* друг от друга.

Стены Прюсса применяются для заборов, перегородок, для стен амбаров, складов и пакгаузов. Эти стены (фиг. 21) состоят из одной или двух полустенок в $^1/_4$ кирпича; в швах через 3—4 ряда закладываются и хорошо натягиваются полосы обручного железа: в горизонтальных сечением $1{,}5 \times 25$ *мм*, а в вертикальных—$1{,}5 \times 15$ *мм*; в местах пересечений полосы перевязываются проволокой; обручное железо м. б. заменено проволокой; промежуток между стенами заполняется малотеплопроводным материалом.

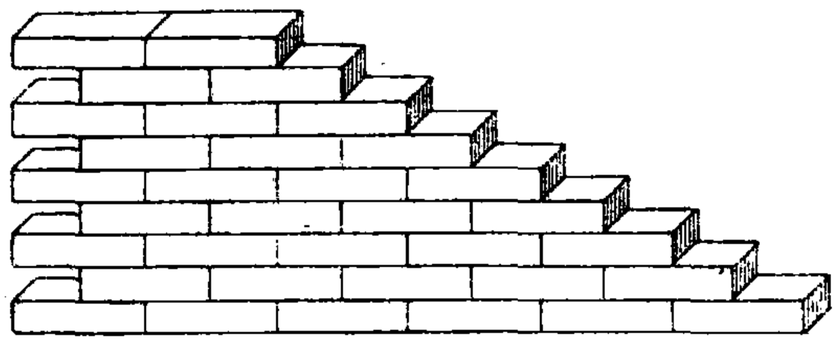
Подпорные стены. Для устойчивости против сдвига и опрокидывания необходимо, чтобы толщина каменной подпорной стены была не менее $^1/_3$ ее высоты, а если стена удерживает воды, то толщина ее д. б. соответственно увеличена; стена с наружным уклоном при одинаковом сечении устойчивее прямой (наивыгоднейший уклон 1:6). Если стена нагружена земляным откосом, то толщина ее e (фиг. 22) определяется по ф-ле: $e = 0{,}285(h + h')$. См. *Подпорные стенки*.

Части сооружений. Карнизы делают из кирпича или из плиты и кладут на цементном растворе; кирпичные карнизы получают, выпуская кирпич наружу не более как на $^1/_2$ кирпича; если карниз должен иметь значительный свес, то употребляется карнизная плита, к-рая обыкновенно составляет среднюю часть карниза, т. е. слезник, а поддерживающая и венчающая части его делаются из кирпича; $^2/_3$ длины плиты должны лежать на стене. Подобно карнизам выделывают на стенах пояски для разделения этажей, сандрики (карнизы над окнами), наличники и прочие выступы; если выступы небольшие, то кирпичи, положенные тычком, выпускаются через ряд, что способствует прочности штукатурки.

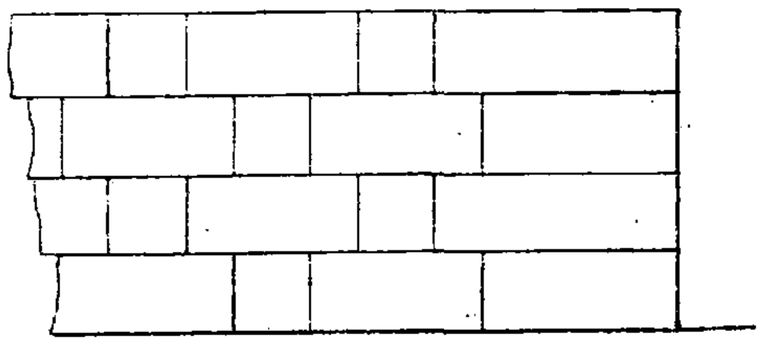
В оконных и дверных проемах сверху и с боков делают выступ *а* (фиг. 23), называемый притолкой, служащий упором для рамы или коробки окна; притолки кладутся при помощи деревянных шаблонов; при толстых стенах притолку отодвигают от наружной поверхности на $^1/_2$ или 1 кирпич (фиг. 24). Если предположено поставить две рамы в окнах, то в откосах проема и перемычке оставляют еще одну четверть (фиг. 25). Выступы, образуемые притолкой и четвертью, делают в $^1/_4$ кирпича, ширину притолки—в $^1/_2$ кирпича и расстояние от притолки до четверти — в 1 кирпич. Сверху оконные и дверные проемы перекрываются балками с заполнением промежутка между ними кирпичом или бетоном, но чаще перекрытие делается в виде арочки, называемой перемычкой. Наружные подоконники бывают плитные и кирпичные, при чем те и другие кладутся с уклоном наружу для стока воды. Плитные подоконники состоят из цельной плиты, а кирпичные—из положенных на ребро кирпичей, прикрытых железом. Внутренние каменные подоконники подливаются на алебастровом растворе. Кладка дымовых труб и печей—см. *Печи* и *Отопление* местное.

Кладка столбов требует особенно тщательной перевязки, в виду того что они обыкновенно несут значительно бо́льшую нагрузку, чем стены. По своей форме в плане столбы м. б. квадратные, прямоугольные, с выступами в виде пилястр и многоугольные. Кладка квадратных и прямоугольных столбов производится так же, как и стен, и для перевязки пользуются трехчетвертными кирпичами; в первом ряду (фиг. 26) укладывают с двух противоположных торцов трехчетверки тычками во всю ширину столба, во втором ряду—то же самое, но с двух других сторон столба; остальное пространство заполняется кладкой кирпича как в обыкновенных стенах соответствующей толщины. Чтобы не употреблять тесаного кирпича, кладку столбов делают без употребления трехчетверток (фиг. 27), но при этом внутренние швы остаются неперевязанными (жирные линии на фиг. 27), и средняя часть кладки может иметь самостоятельную осадку. Во избежание этого применяют покладную плиту из плотного известняка (фиг. 28), перекрывающую целый ряд кладки. Если столбы имеют утолщения или пилястры (фиг. 29), то каждый ряд разбивают

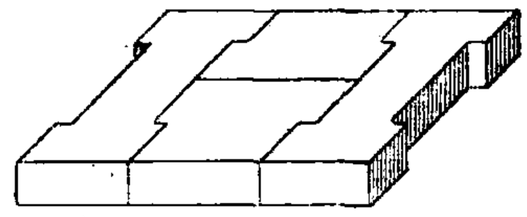
КАМЕННЫЕ РАБОТЫ



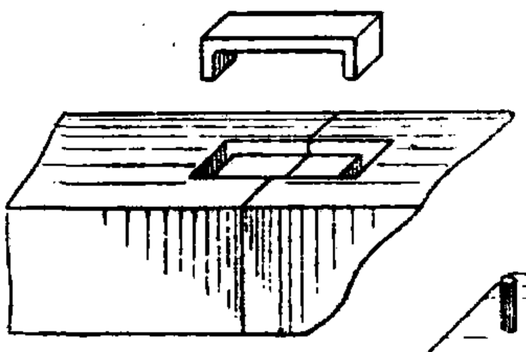
1



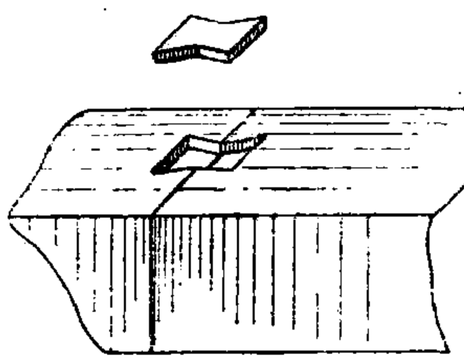
2



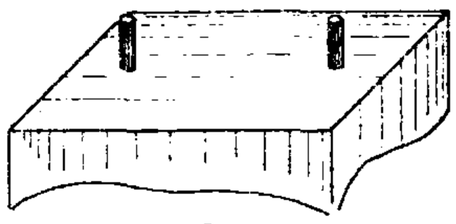
3



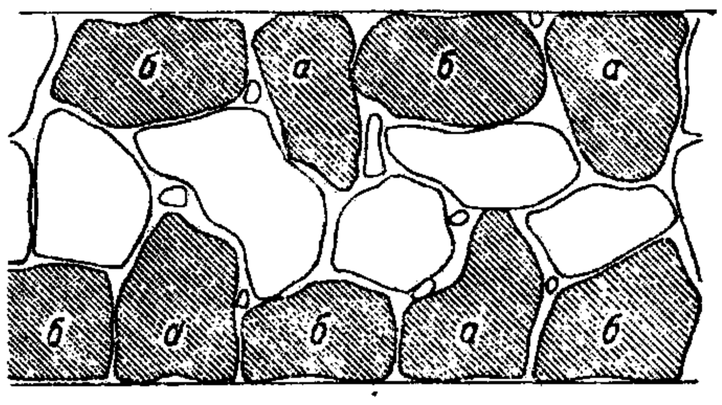
4



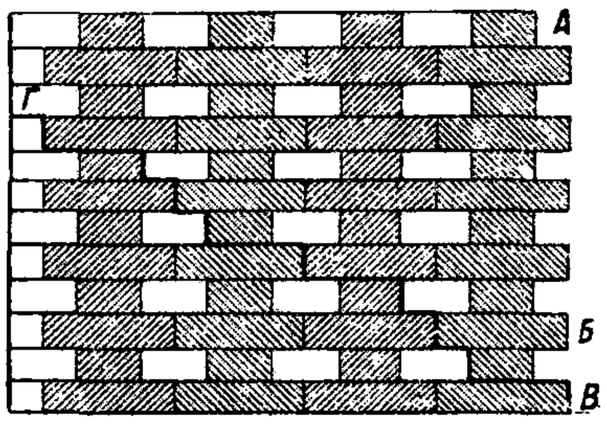
5



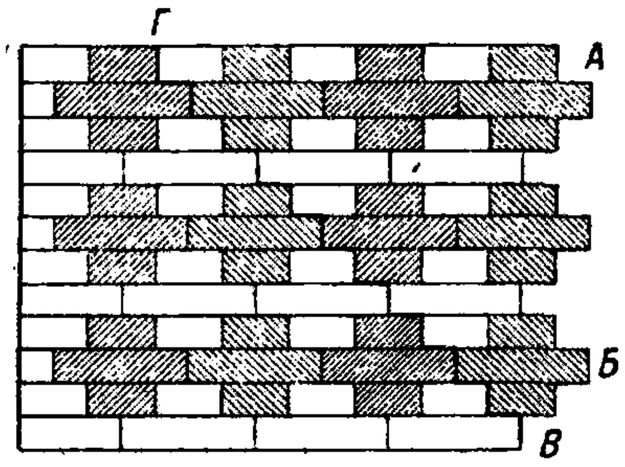
6



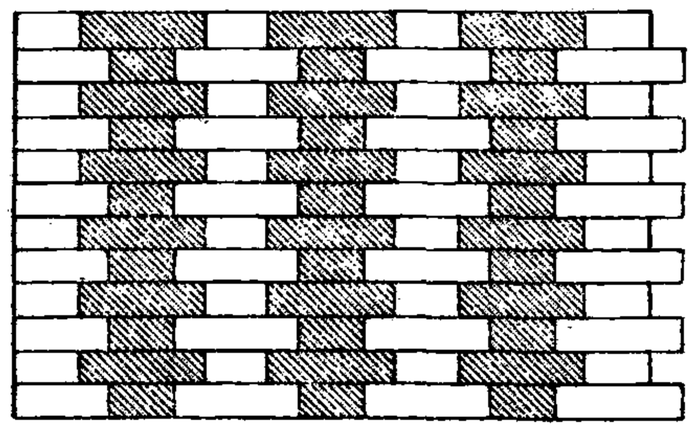
7



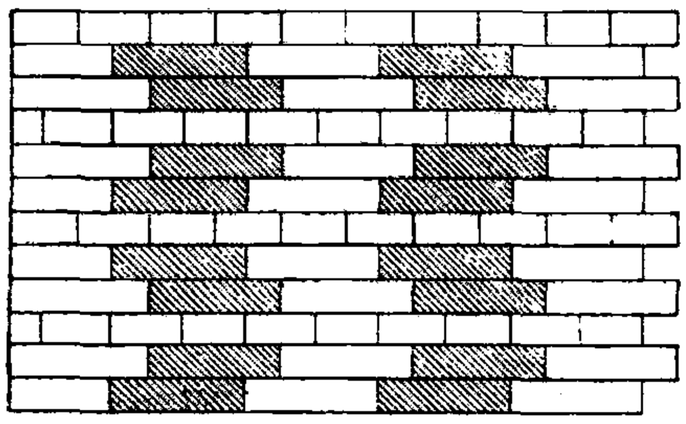
8



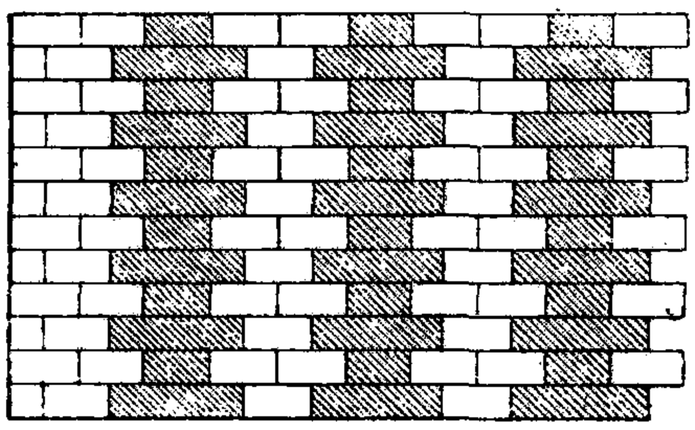
9



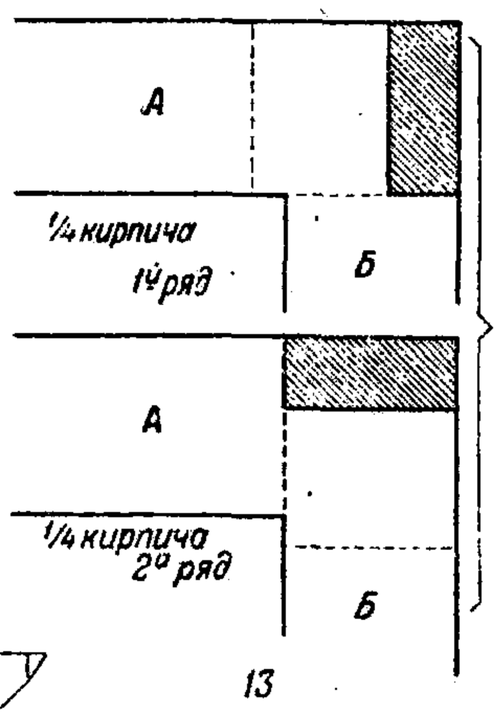
10



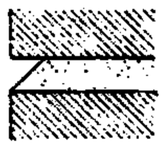
11



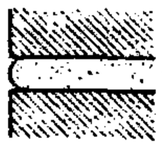
12



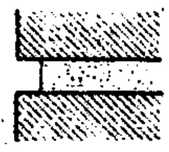
13



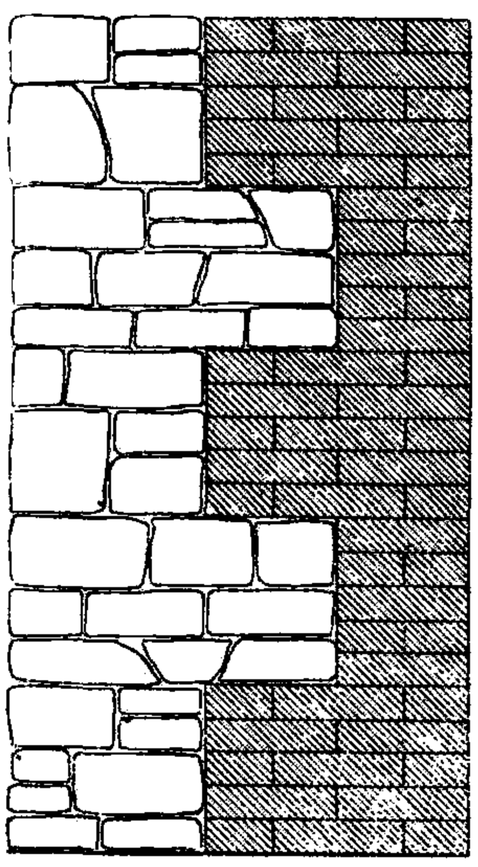
14



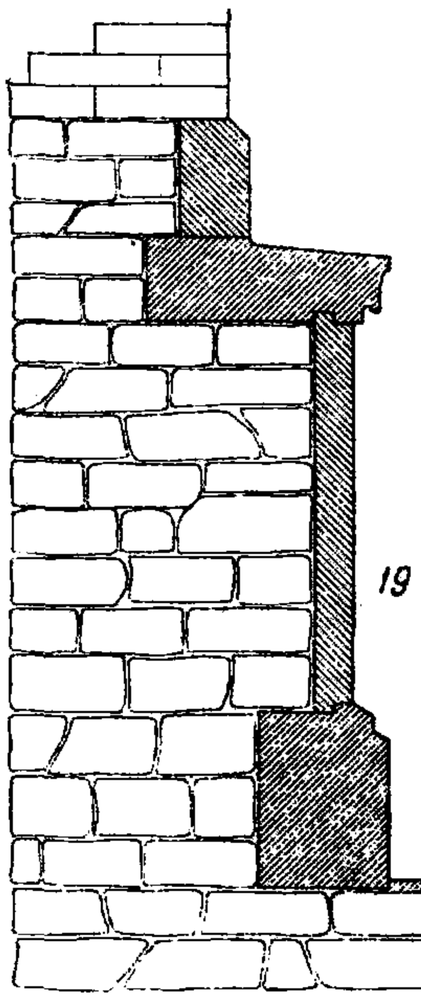
15



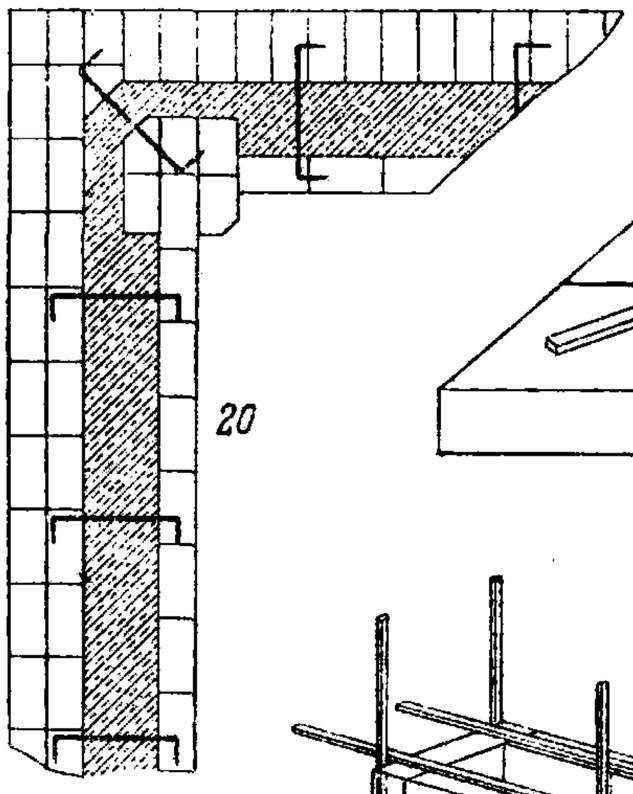
16



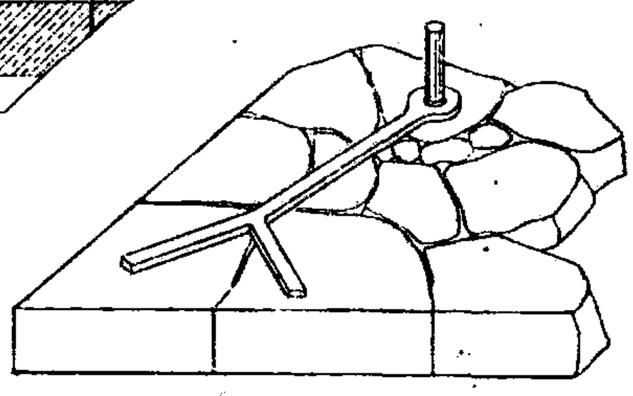
17



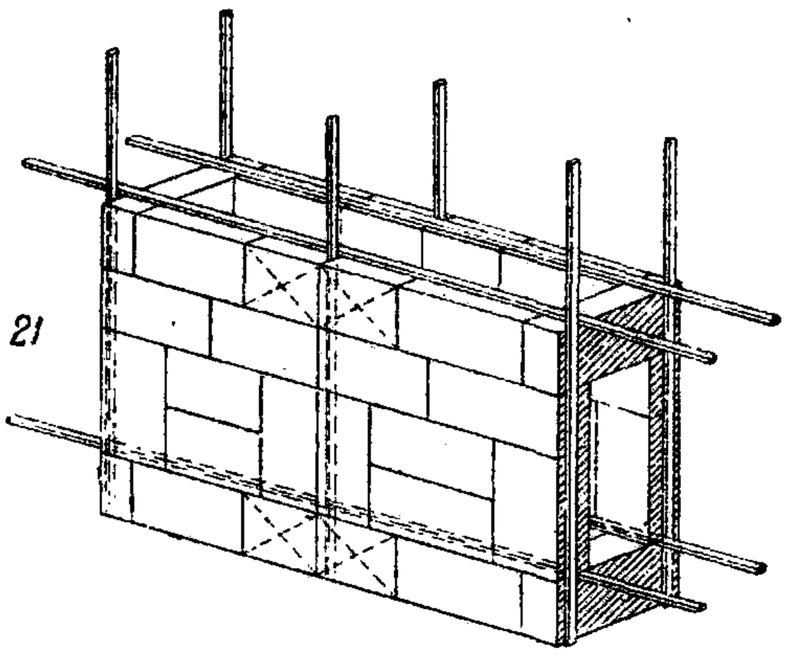
19



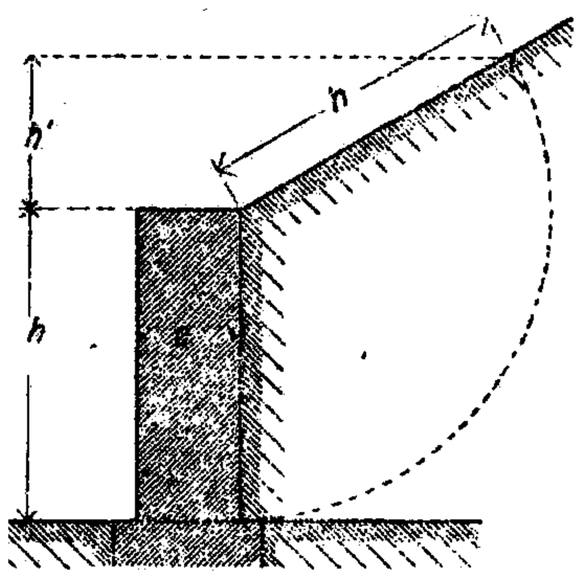
20



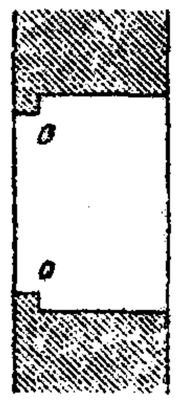
18



21

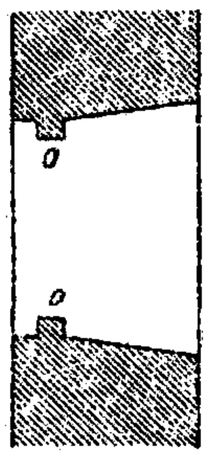


22



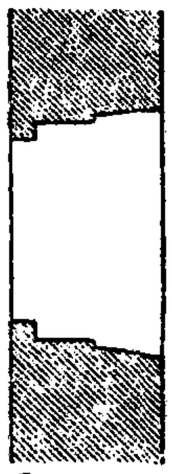
Гориз. разрез

23



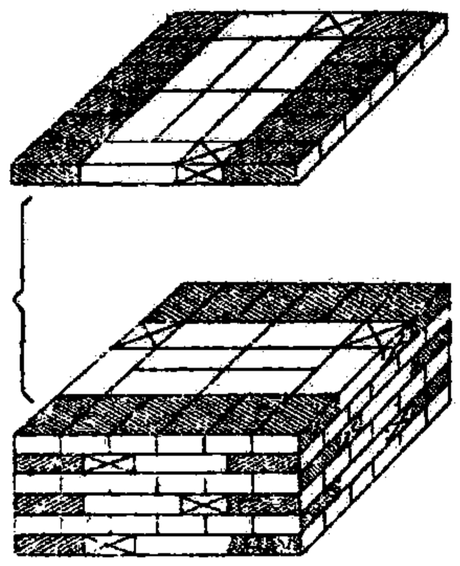
Гориз разрез

24

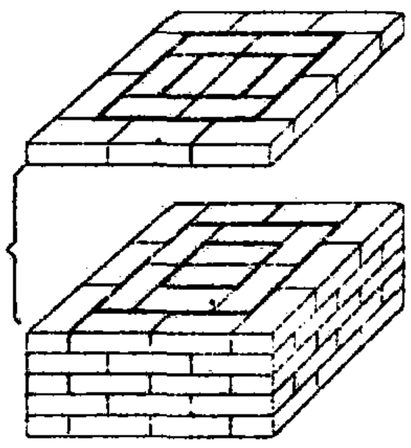


Гориз разрез

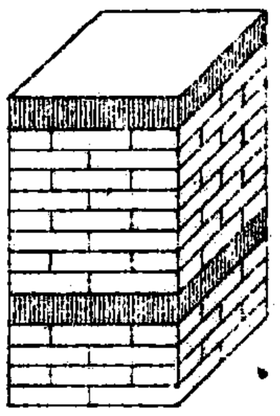
25



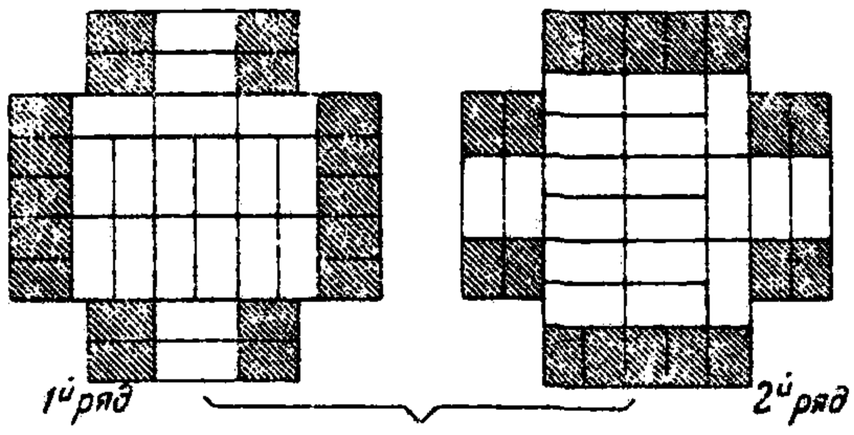
26



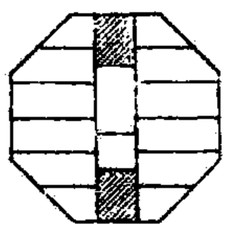
27



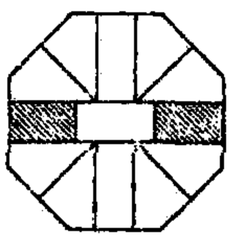
28



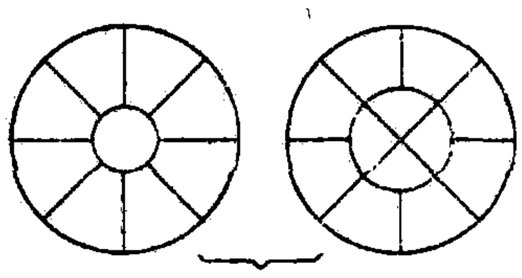
29



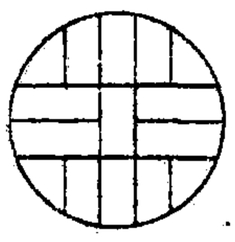
30



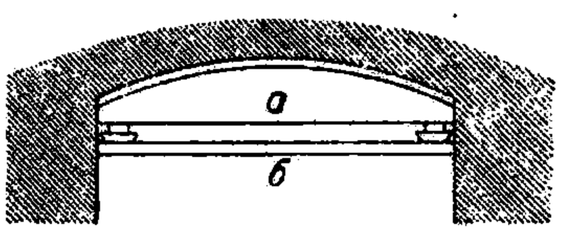
31



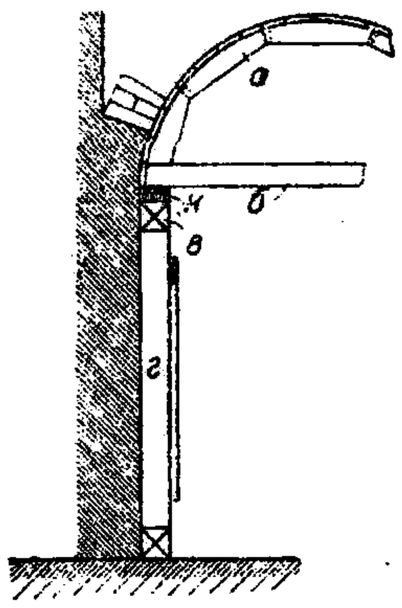
32



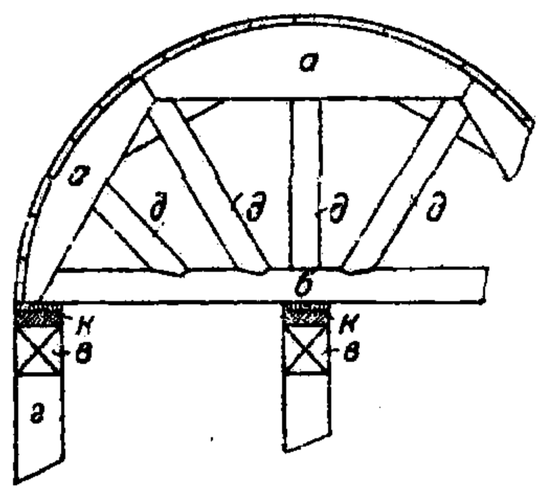
33



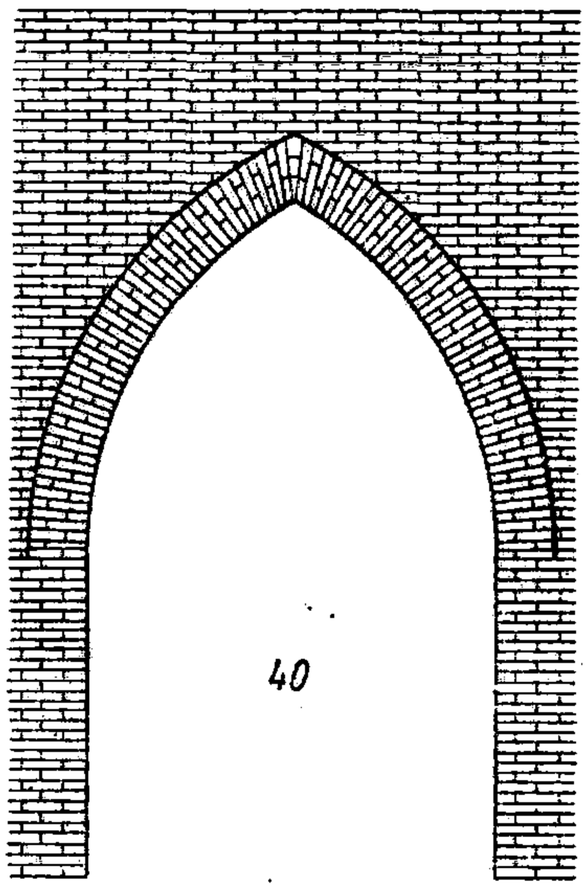
34



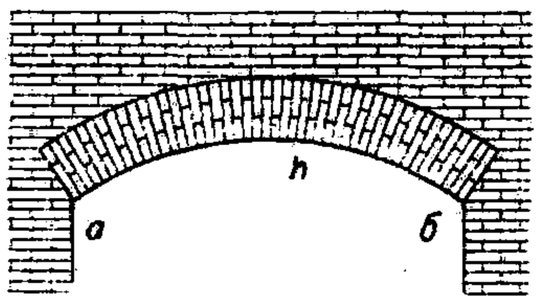
35



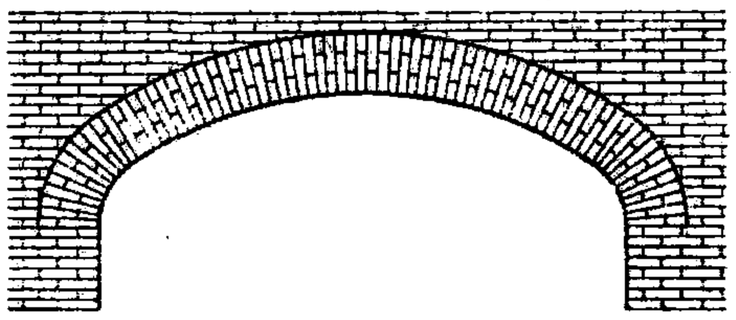
36



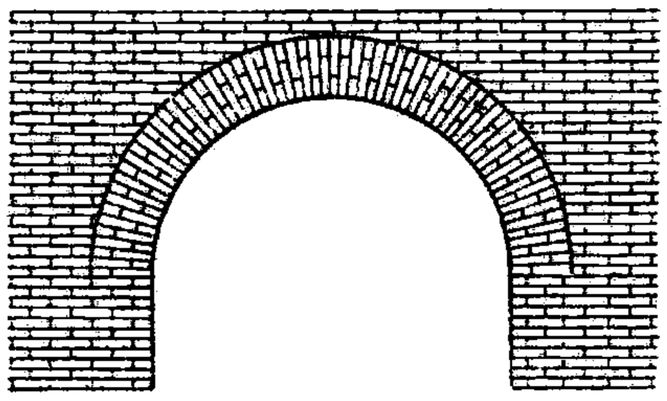
40



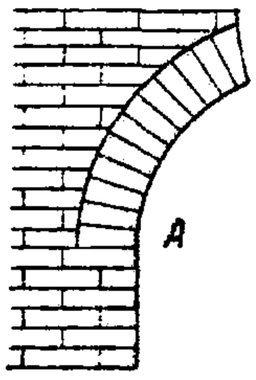
37

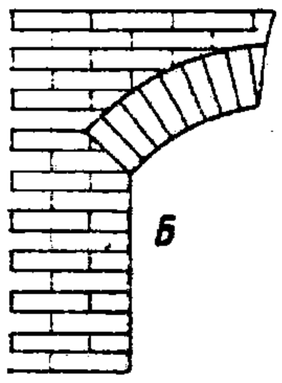


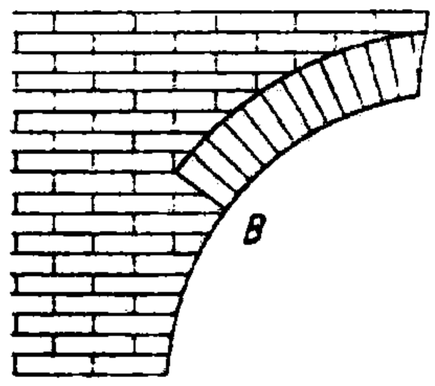
38



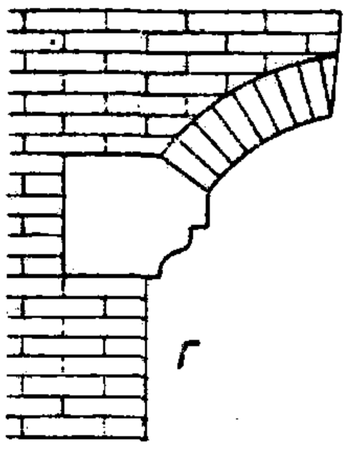
39

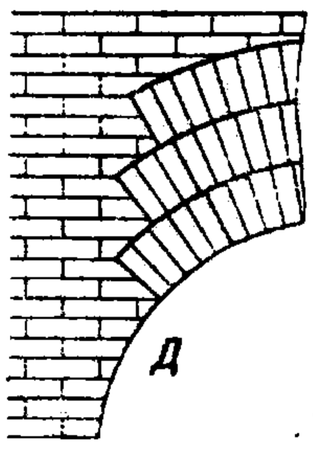


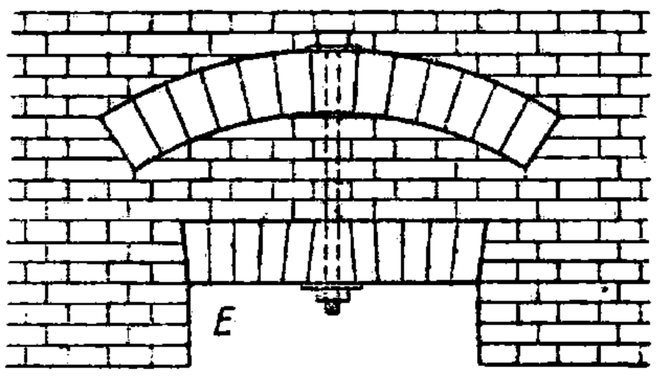


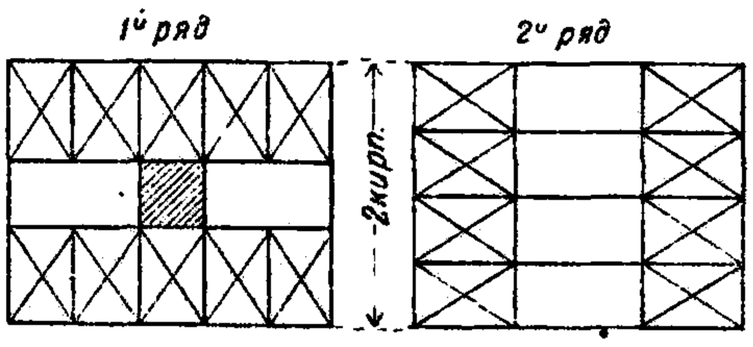


41

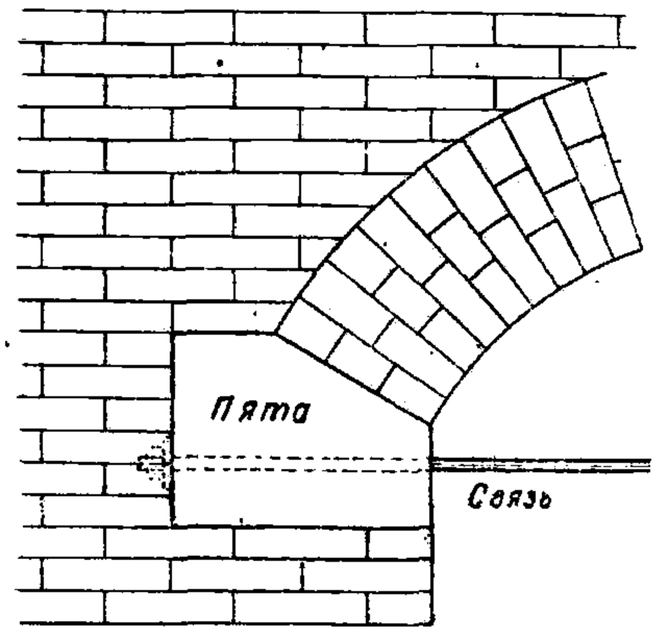




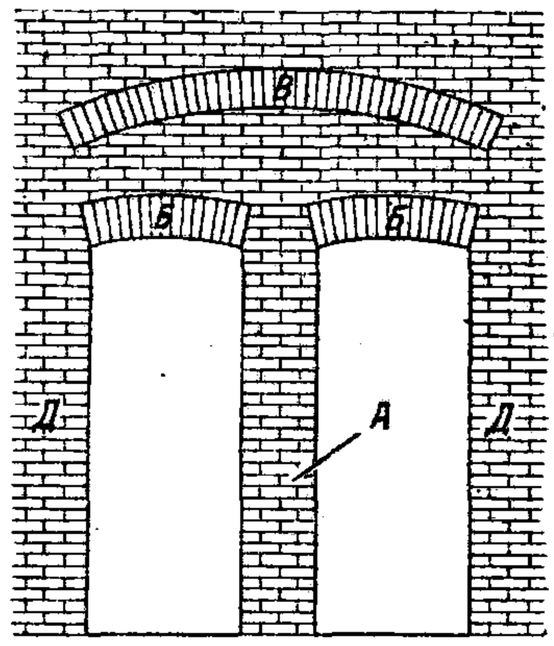




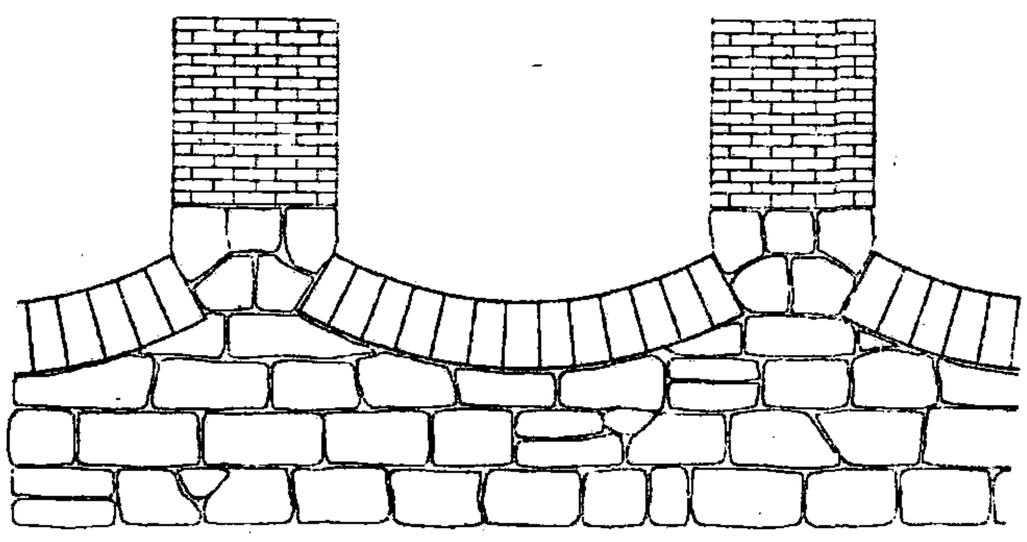
42



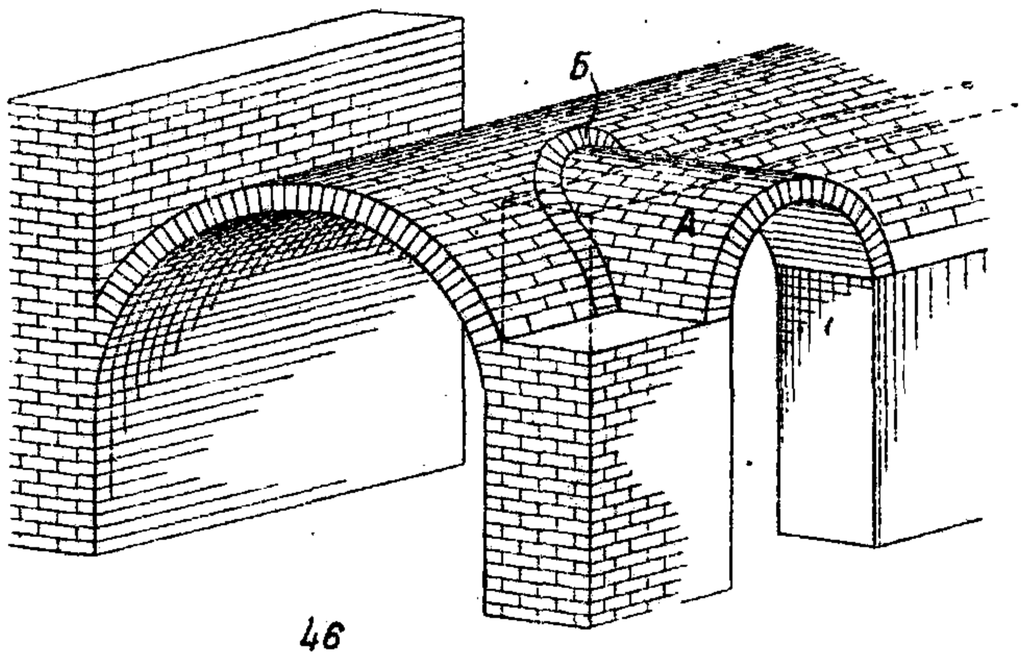
43



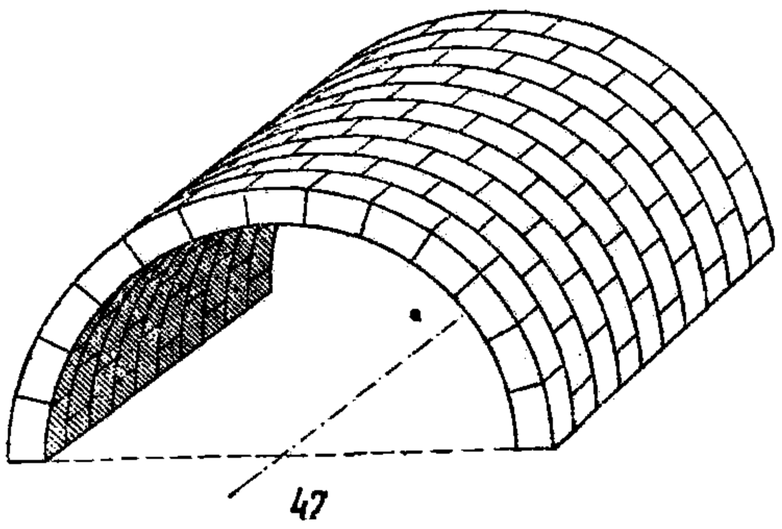
44



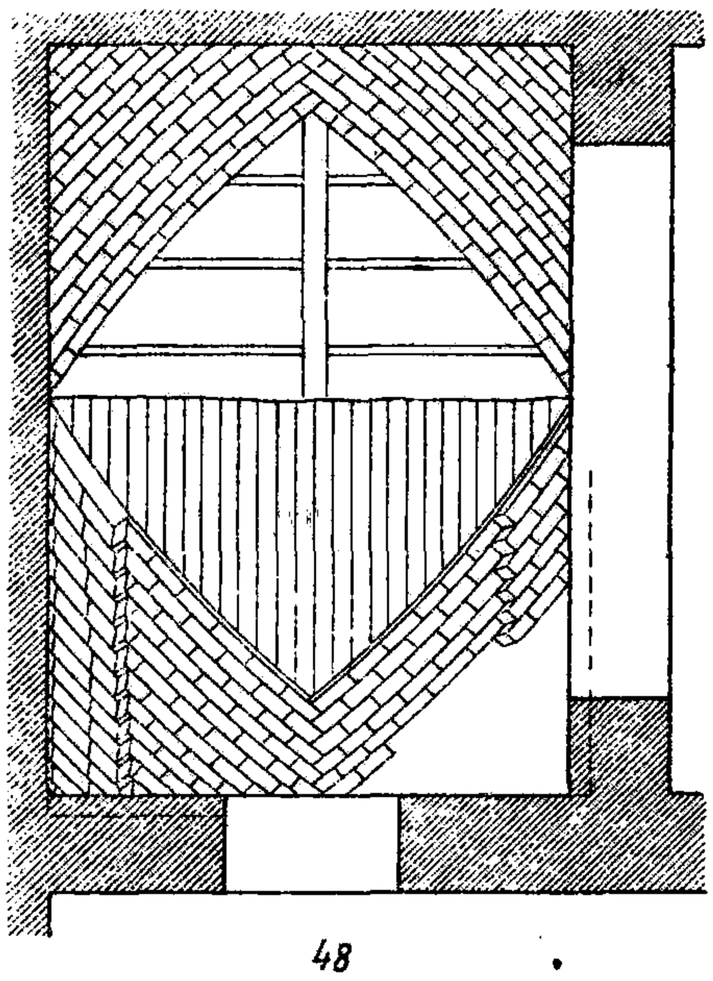
45



46

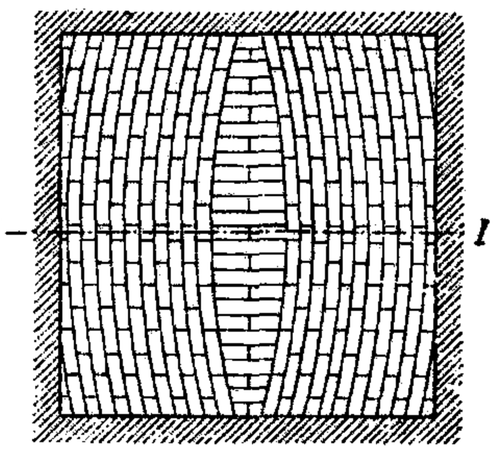


47

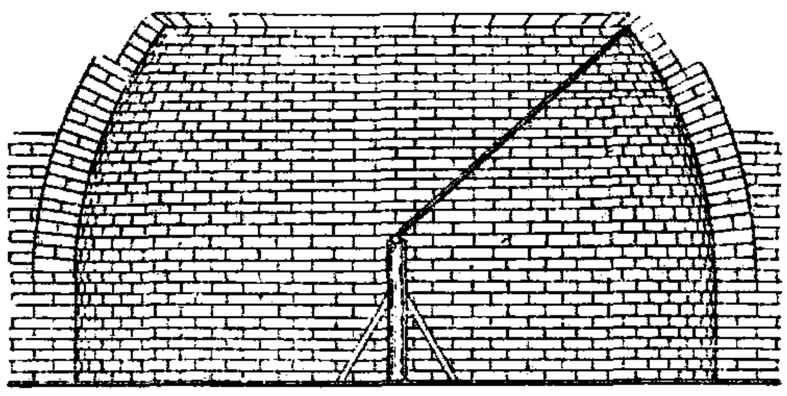


48

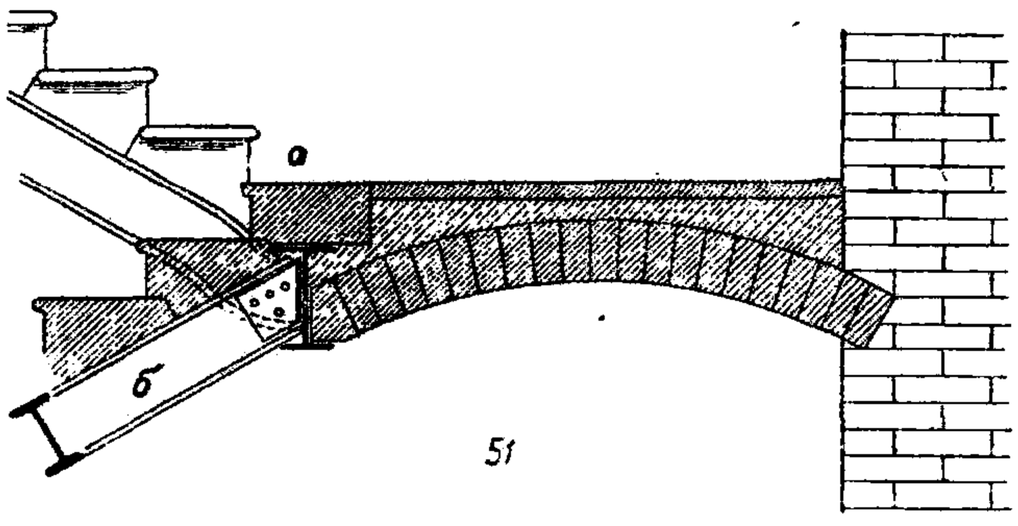
Разрез I-I



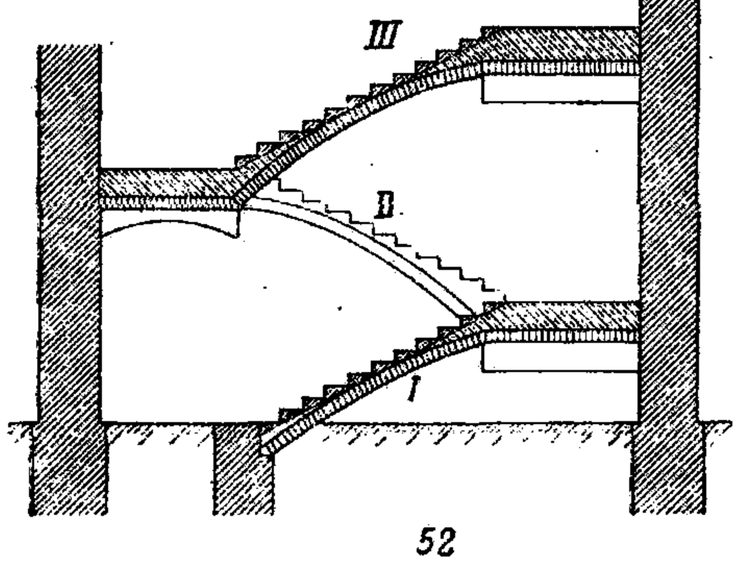
49



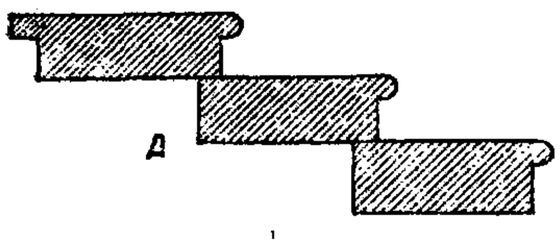
50



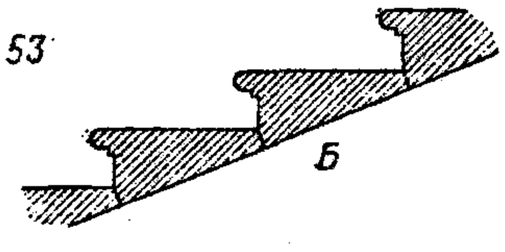
51

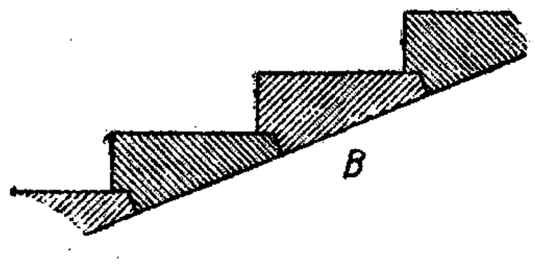


52



53





на прямоугольники и в конце их укладывают трехчетверочные кирпичи, получая при этом полн. перевязку швов. Из многоугольных столбов чаще всего применяют восьмиугольные; они возводятся или из тесаного кирпича или из лекального. В первом случае (фиг. 30) для перевязки наружных швов по одной оси мн-ка помещают по ряду тычков, а по другой, перпендикулярной к ней, оставляют шов, образуемый кирпичами, положенными параллельно второй оси; второй ряд укладывается так же, как и первый, но поворачивается на 45°. Так как острые углы обтесанного кирпича легко скалываются, то такие столбы оштукатуривают. Кладка из лекального кирпича показана на фиг. 31; здесь второй ряд укладывается так же, как и первый, с поворотом на 45°. При кладке колонн пользуются обыкновенно лекальным кирпичом по всему ряду (фиг. 32) или из лекального кирпича кладется наружный ряд, а середина закладывается обыкновенным кирпичом; при кладке колонн из обыкновенного тесаного кирпича (фиг. 33) обтесанные неровные поверхности кирпичей выходят наружу, и во всем ряду имеется всего один целый кирпич по середине; поэтому лучше употреблять лекальный кирпич.

При кладке сводов и арок применяются кружала для придания формы внутренней поверхности сводов и арок и для поддержания камней и кирпича до окончания кладки. Простейший вид имеют кружала небольших перемычек или арок до 1,5 *м* пролетом, состоящие из одной доски *а* толщиной 25—50 *мм* (фиг. 34) или нескольких, сбитых на планках; при пролете в 1,5—2 *м* кружала делаются из косяков *а*, т. е. досок толщиной 50—63 *мм* в один ряд (фиг. 35); при пролетах до 3,2 *м* добавляется затяжка *б*; при пролетах 3,2—4,2 *м* косяки из двух рядов досок и кружала усиливаются подкосами *д* (фиг. 36), врубаемыми в затяжку; при пролетах 4,2—6,4 *м* кружала усиливаются кроме подкосов еще 2-й затяжкой, располагаемой приблизительно на половине их высоты. Кружала устанавливают на расстоянии 1—1½ *м* друг от друга на прогоны *в* (фиг. 35), уложенные на стойки *г*; между кружалами и прогонами под каждый конец кружал подкладывают по два клина *к*. Поверх кружал настилают опалубку из досок толщиной 25 *мм* для поддержания камня во время кладки и прибивают ее к кружалам гвоздями. Кружала должны выдерживать груз свода, содержать возможно меньше дерева и быть установлены так, чтобы освобождение их, по возведении свода, не препятствовало правильной осадке его. Кружала делают дощатые и брусчатые. Кривая, по которой д. б. сделаны кружала, чертится в натуральную величину на дощатом щите; она должна иметь очертания направляющей свода с уменьшением ее на толщину опалубки. Первая кружальная ферма сверяется с кривой, начерченной на щите, и по ней делаются остальные фермы. Кружала ставят вертикально и поверку правильности их производят шнуром, натянутым по шелыге,—верхнему ребру свода, наблюдая, чтобы вершины всех кружал были на одной горизонтальной линии. По высоте, или подъему, арки разделяются на: 1) плоские, или лучковые (фиг. 37), если стрела не менее $^1/_{12}$ и не более $^1/_6$ пролета арки, 2) сжатые, если стрела от $^1/_6$ до $^1/_2$ пролета (фиг. 38), 3) полуциркульные, у к-рых стрела=$^1/_2$ пролета (фиг. 39) и 4) возвышенные, у которых стрела более $^1/_2$ пролета (фиг. 40). Прежде чем приступить к устройству свода или арки, необходимо выложить пяты их, которые бывают следующих видов (фиг. 41): врезные горизонтальные (А), врезные наклонные (Б), выносные, или выступающие (В), свешивающиеся (Г), ступенчатые (Д) и подвешенные (Е). Своды и арки строят или одновременно с возведением стен или по окончании кладки всех стен. В последнем случае оставляют т. н. выдры, или борозды, служащие пятами будущих сводов; при этом обыкновенно делают выносные пяты, так как горизонтальные пяты занимают много места, и борозды, оставляемые для них в толще стены, сильно ослабляют стены, а когда два свода или две арки упираются на одну и ту же стену, то для них даже нет места. Наклонные пяты делают обыкновенно у перемычек; свешивающиеся пяты делают из естественного камня или же отливают из бетона; ступенчатые пяты делают при кладке очень толстых сводов в несколько отдельных рядов кирпича для получения возможно однообразной осадки отдельных кирпичных рядов. Выносные пяты возводят одновременно с кладкой стены, выдвигая по шаблону наружу горизонтальные ряды кирпичей.

Толщину арки не следует делать более, чем в 2½—3 кирпича. Кладку арок следует производить сразу с обеих опор от пят к замку. Арка состоит из клиньев; раскладка кирпичей в клиньях арок показана на фиг. 42; если по расчету необходимо сделать арку более значительных размеров, то ее кладут, как указано на фиг. 41, Д. Толщина опор арки делается равной ширине арки, а ширина опор (вдоль пролета арки) равной:

Для плоских арок	½	пролета
» сжатых »	⅛—¼	»
» полуциркульных арок . .	¼	»
» возвышенных » . .	⅕—⅙	»

Если опору нельзя сделать должных размеров и она достаточна для того, чтобы вынести вертикальные усилия, передаваемые аркой, но неустойчива, то необходимо распор арки погасить связью из круглого или квадратного железа толщиной от 2,5 *см* и более, заделанной в пяты арки (фиг. 43). Если же опора *А* (фиг. 44) не может, кроме того, сопротивляться вертикальным усилиям, то надо применить так наз. разгрузную арку *В*; тогда нагрузка от всех частей, лежащих выше арки *В*, будет воспринята этой аркой и ею же передана на опоры *Д*, на опору же *А* придется нагрузка от двух половин арок *Б* и от заделки, расположенной между арками *Б* и аркой *В*. Разгрузная арка применяется также при устройстве фундаментов, если под частью фундамента может оказаться более слабый грунт, например наносный или насыпной; пространство под аркой заделывают бутовой кладкой. Если в части фундамента окажется меньшее давле-

ние, чем в соседних его частях, напр. если в стене имеются большие проемы, то устраивают обратную арку (фиг. 45).

Кладку сводов нужно производить сразу со всех опор таким образом, чтобы кружала были нагружены равномерно; это необходимо для сохранения правильной формы последних. Кладку ведут от пят свода к замку и, доведя ее до вершины свода, замыкают замковым клином. Преимущество кирпича для кладки сводов состоит в том, что он хорошо связывается с раствором и способен образовать монолитную массу. Число каменщиков и размещение их при кладке арок и сводов то же, что и при кладке стен, но при этом нужно иметь в виду, что всякий свод д. б. выведен в течение одного дня для получения наибольшего сжимания раствора в швах. Если своды располагаются рядом, то нужно производить кладку их равномерно, для того чтобы нагрузка на среднюю опору была одинакова; иначе может случиться, что опора не выдержит давления возведенного раньше свода и обрушится. Клинообразность кладки сводов и арок достигается отеской кирпичей или камня или утонением в кирпичной кладке швов книзу; последнее лучше, т. к. отеска кирпича ослабляет его прочность. Для тщательной кладки сводов и арок употребляются лекальные клинчатые кирпичи (ложковый и тычковый). При кладке кирпичи располагаются с соблюдением перевязки швов.

Кладка сводов производится следующими способами. а) Нормальная кладка лотков производится рядами, параллельными опорным стенам (фиг. 46); эта кладка ведется по сплошной опалубке и применяется в цилиндрич. и сомкнутых сводах. Толщину цилиндрич. свода в замке делают обыкновенно в $^1/_2$ кирпича, а к пятам — в 1—$1^1/_2$ кирпича; для пролетов до 8,5 *м*, в замке— в 1 кирпич, к пятам — в 2 кирпича; предельный пролет для мостовых кирпичных сводов 12,8 *м*; толщина опор цилиндрических сводов $^1/_{10}$—$^1/_4$ пролета и не менее $2^1/_2$ кирпичей. Если в стенах, на которые опираются пяты цилиндрическ. свода, нужно устроить какие-либо проемы (окно, дверь, нишу), при чем арка или перемычка проема должна лежать выше начала свода, то применяется т. н. распалубка *А* (фиг. 46); чтобы устроить распалубку, в своде надо сделать соответствующее распалубке отверстие, при чем оно должно быть ограничено арочкой (кольцом *Б*), лежащей в толще свода. Не сделав кольца, ни в каком случае нельзя делать отверстия в своде. Для сомкнутого свода по диагоналям ставят кружала эллиптической формы, а перпендикулярно опорам—половины кружал цилиндрическ. свода. Толщина в замке сомкнутого свода—как в цилиндрическом, а в пятах, смотря по тому, построен ли свод на квадрате или на прямоугольнике, — $^2/_3$ или $^3/_4$ толщины пят цилиндрического свода; равным образом толщина опор сомкнутого свода, который опирается на четыре опоры, составляет $^2/_5$ — $^3/_4$ соответствующего цилиндрического; при опорах выше 3 *м* толщина опор увеличивается на $^1/_{10}$ высоты.

б) Кладка рядами, перпендикулярными к опорным стенам (фиг. 47), с соблюдением надлежащей перевязки в смежных рядах кладки, применяется для крестовых сводов при условии их оштукатурки. Кладка производится по сплошной дощатой опалубке; по диагоналям ставят эллиптические, а перпендикулярно опорам—полуциркульные кружала. Крестовый свод—самый распространенный тип сводов для покрытия квадратных, прямоугольных и многоугольных помещений; он образует четыре распалубки, соединяющиеся в вершине, и при перекрытии квадратных или прямоугольных помещений сплошных стен не требует, т. к. давление передается исключительно на углы, так что достаточно иметь по углам столбы или колонны. Толщина крестового свода при пролетах:

	В замке	В пятах
До 6,4 *м*	$^1/_2$ кирпича	$^1/_2$ кирпича
» 9 »	$^1/_2$ »	1 кирпич
» 18 »	1 кирпич	$1^1/_2$ кирпича

Толщина опор $^1/_7$—$^1/_4$ диагонали свода; при опоре выше 3 *м* толщина опоры увеличивается на $^1/_{10}$ высоты.

в) Кладку в елку (фиг. 48) ведут рядами под углом 45° к опорным стенам по сплошной опалубке или без опалубки по кружалам, расположенным на расстоянии не более 1 *м* одно от другого, при чем близ пят и вдоль шелыги прибивают по одной доске. Кладку начинают со всех углов; ряды такой кладки пересекаются друг с другом под прямым углом. Эта кладка применяется в сводах цилиндрических, сомкнутых, крестовых и парусных.

г) Кольцевая кладка (фиг. 49) по скользящим (передвижным) кружалам ведется рядами, слегка наклонными к оси свода, с двух щековых стен одновременно до тех пор, пока по середине свода не останется промежуток ~27 *см*, после чего кладут замок свода из кирпичей, загоняемых параллельно оси свода. Эта кладка применяется при цилиндрич. сводах малого пролета (до 2 *м*), но значительного протяжения.

д) Купольная кладка изображена на фиг. 50. Сопрягающие швы образуют конич. поверхность, вершина которой лежит в центре шаровой поверхности распалубки или свода, а заусенки лежат в меридиональных плоскостях; опорой свода служат наружные стены по всему своему периметру. Эта кладка применяется для купольных и парусных сводов. Кладку купольных сводов производят двумя способами: а) способом сплошной кольцевой кладки, когда весь свод складывается из целых горизонтальн. колец, верхние поверхности к-рых по мере удаления от опор делаются все более и более наклонными, совпадая с направлением радиуса полушара; этот способ при диам. купола до 10 *м* совершенно не требует кружал; б) способом кольцевой кладки между гуртами (для парусных сводов), идущими на равном расстоянии друг от друга, начинаясь от опор и сходясь в вершине купола; между этими гуртами имеется заполнение, сложенное из кирпича; при этом способе для устройства ребер применяют кружала. При куполах очень больших диаметров применяют сплошную опалубку. Толщина купольного свода в замке имеет $^1/_{30}$ диам. свода, но не менее $^1/_2$ кир-

пича при пролете до 3,6 *м* и не менее 1 кирпича при пролете до 5,5 *м*, а у опоры—$^1/_{20}$ диам. свода. Толщина опор $^1/_{10}$—$^1/_8$ диам. свода.

Кладка сводов расценивается по объему сводов; объем свода получается умножением поверхности опалубки на среднюю толщину свода; поверхность свода (или опалубки) определяется: цилиндрического — умножением направляющей на длину, а остальных сводов—умножением площади перекрываемого сводом помещения на след. коэфф-ты:

Для сомкнутого и полуциркульного свода	2,0
» » с подъемом в $^1/_4$ пролета	1,5
» » » в $^1/_6$ »	1,33
» крестового	1,143
» купольного при подъеме $^1/_2$ пролета	2,0
» » » » $^1/_4$ »	1,5
» » » » $^1/_6$ »	1,33
» плоского свода	1,2

Каменные лестницы являются наиболее распространенными. Площадки их строят по одному из способов, применяемых для этажных перекрытий; чаще всего применяют плоские цилиндрич. сводики — кирпичные, бетонные или железобетонные (фиг. 51), упирающиеся одной пятой в одну из стен, перпендикулярных к маршу, а другой—в железную балку площадки; кроме того, площадки устраиваются на сводах цилиндрических (полуциркульных, сжатых и плоских), крестовых и парусных, при чем пяты этих сводов упираются или на стены лестничной клетки или, кроме того, на арки, расположенные в плоскости, к-рые отделяют площадки от маршей; арки, поддерживающие своды площадок, упираются или на стены или на отдельно стоящие колонны. Для настилки чистого пола по сводам делается подготовка из тощего бетона или же другого какого-либо материала; по краю площадки укладывается фризовая ступень *а*; чистый пол площадки устраивается из лещадных плит, гончарных плиток, асфальта, бетона и др. Марши устраиваются чаще всего на железных балках и косоурах *б* (фиг. 51), а если лестница на сводах, то своды кирпичных маршей делаются: цилиндрические и бочарные (наклонные со стрелой в $^1/_8$—$^1/_{12}$ для пролета 1,7 *м*, толщиной в замке $^1/_2$ кирпича, при больших пролетах—1 кирпич) или ползучие, опирающиеся на своды площадок толщиной в 1 кирпич (фиг. 52). Часто применяются висячие лестницы, у к-рых марши одним концом заделываются на цементном растворе 1:3 или 1:4 в стену на 25—27 *см* с загрузкой их каменной кладкой, другой же конец остается свободным; длина таких ступеней не д. б. более 1,5 *м*, и камень д. б. однородным; неподвижность и устойчивость ступеней обеспечивается заделкой концов в стену и тем, что давление передается от одной ступени к другой до самой нижней, при чем особенное внимание д. б. обращено на прочность фундамента нижней ступени, воспринимающей всю постоянную и подвижную нагрузку лестницы; концы следует заделывать не одновременно с возведением стен, а лишь по окончании кладки. Сопряжение ступеней на цементном растворе делают (фиг. 53): внахлестку (А), впритык (Б) и фальцем (В). В висячих лестницах каждая ступень при соединении заходит внахлестку на нижележащую на 25 — 38 *мм*.

Лит.: Федорович О., Каменные работы, 2 изд., М., 1923; Фадеев Н., Строительное искусство, ч. 1—Материалы и работы, 5 изд., М.—П., 1923; Стаценко В., Части зданий, 6 изд., П., 1923; Дмоховский В. К., Курс оснований и фундаментов, М.—Л., 1927; Добряков А. И., Основы строительного дела, М.—Л., 1927; Бугге А. и Кольфлат А., Опытные данные по постройке теплых экономич. домов, пер. с нем., М.—Л., 1926; Прейс П. В., Каменные, бетонные и асфальтовые работы, М.—Л., 1928; Рошефор Н. И., Иллюстрированное урочное положение, М., 1928; Броних Л. и Фишер В., Краткое руководство к строительному искусству и архитектуре, вып. 1—2, СПБ, 1913—1914; Breymann G. A., Allgemeine Baukonstruktionslehre, B. 1—Die Konstruktionen in Stein, Lpz., 1903.

Н. Туманов.

КАМЕННЫЙ УГОЛЬ, один из типов каустобиолитов (антрацит и бурый уголь, см. *Ископаемые угли*). Сюда относятся ископаемые гумусовые угли, характеризующиеся черным цветом, часто блестящей поверхностью, раковистым изломом и черной чертой. При ударе они колются на параллелепипедальные куски по плоскостям спайности; при прикосновении пачкают; KOH на них не действует. Часто один и тот же пласт каменного угля состоит из отдельных чередующихся слоев с различными физич. свойствами. Некоторые из этих слоев состоят из матового черного вещества шелковистого или волокнистого сложения. В этих матовых слоях иногда ясно можно различить обугленные остатки растительных тканей, древесины и перидермы (mineral coal, fusain, Faserkohle). С этими матовыми прослойками чередуются прожилки плотного угля с сильным блеском. Этот блестящий уголь получился повидимому гл. обр. из скоплений коры, листьев, плодоношений, спор (споры встречаются не во всех углях) и семян. Древесина принимает сравнительно незначительное участие в образовании материнского вещества блестящих полос угля. Вообще, древесина составляла не большую часть в массе материнского вещества палеозойских углей. Это естественно уже по одному тому, что древесина большинства деревьев напр. каменноугольного периода, в противоположность деревьям нашего времени, составляла весьма незначительную часть в массе растения. Последнее обстоятельство подтверждается и данными элементарного анализа углей. Древесные гумусовые каустобиолиты, к к-рым относятся, напр., некоторые бурые угли, почти не обнаруживают содержания азота; сапропелевые же и битуминозные образования, возникшие гл. обр. из белковых веществ, содержат значительное количество азота. Древние К. у. содержат также заметное количество азота и выделяют при дистилляции аммиак и разнообразные углеводороды. Вот почему они и получили название битуминозных или, при малом содержании летучих веществ, полубитуминозных К. у. Поэтому можно думать, что древесная растительность палеозойских периодов отличалась от позднейшей значительно меньшим развитием древесины и преобладанием паренхимной ткани, богатой белковыми веществами, как это подтверждается и анатомич. строением дошедших до нас ископаемых остатков древней флоры.

К. у. по составу и свойствам распадаются на несколько видов. Одним из свойств К. у., имеющим большое значение в промышленно-

ние, чем в соседних его частях, напр. если в стене имеются большие проемы, то устраивают обратную арку (фиг. 45).

Кладку сводов нужно производить сразу со всех опор таким образом, чтобы кружала были нагружены равномерно; это необходимо для сохранения правильной формы последних. Кладку ведут от пят свода к замку и, доведя ее до вершины свода, замыкают замковым клином. Преимущество кирпича для кладки сводов состоит в том, что он хорошо связывается с раствором и способен образовать монолитную массу. Число каменщиков и размещение их при кладке арок и сводов то же, что и при кладке стен, но при этом нужно иметь в виду, что всякий свод д. б. выведен в течение одного дня для получения наибольшего сжимания раствора в швах. Если своды располагаются рядом, то нужно производить кладку их равномерно, для того чтобы нагрузка на среднюю опору была одинакова; иначе может случиться, что опора не выдержит давления возведенного раньше свода и обрушится. Клинообразность кладки сводов и арок достигается отеской кирпичей или камня или утонением в кирпичной кладке швов книзу; последнее лучше, т. к. отеска кирпича ослабляет его прочность. Для тщательной кладки сводов и арок употребляются лекальные клинчатые кирпичи (ложковый и тычковый). При кладке кирпичи располагаются с соблюдением перевязки швов.

Кладка сводов производится следующими способами. а) Нормальная кладка лотков производится рядами, параллельными опорным стенам (фиг. 46); эта кладка ведется по сплошной опалубке и применяется в цилиндрич. и сомкнутых сводах. Толщину цилиндрич. свода в замке делают обыкновенно в $^1/_2$ кирпича, а к пятам — в 1—$1^1/_2$ кирпича; для пролетов до 8,5 *м*, в замке— в 1 кирпич, к пятам — в 2 кирпича; предельный пролет для мостовых кирпичных сводов 12,8 *м*; толщина опор цилиндрических сводов $^1/_{10}$—$^1/_4$ пролета и не менее $2^1/_2$ кирпичей. Если в стенах, на которые опираются пяты цилиндрическ. свода, нужно устроить какие-либо проемы (окно, дверь, нишу), при чем арка или перемычка проема должна лежать выше начала свода, то применяется т. н. распалубка *А* (фиг. 46); чтобы устроить распалубку, в своде надо сделать соответствующее распалубке отверстие, при чем оно должно быть ограничено арочкой (кольцом *Б*), лежащей в толще свода. Не сделав кольца, ни в каком случае нельзя делать отверстия в своде. Для сомкнутого свода по диагоналям ставят кружала эллиптической формы, а перпендикулярно опорам—половины кружал цилиндрическ. свода. Толщина в замке сомкнутого свода—как в цилиндрическом, а в пятах, смотря по тому, построен ли свод на квадрате или на прямоугольнике, — $^2/_3$ или $^3/_4$ толщины пят цилиндрического свода; равным образом толщина опор сомкнутого свода, который опирается на четыре опоры, составляет $^2/_5$ — $^3/_4$ соответствующего цилиндрического; при опорах выше 3 *м* толщина опор увеличивается на $^1/_{10}$ высоты.

б) Кладка рядами, перпендикулярными к опорным стенам (фиг. 47), с соблюдением надлежащей перевязки в смежных рядах кладки, применяется для крестовых сводов при условии их оштукатурки. Кладка производится по сплошной дощатой опалубке; по диагоналям ставят эллиптические, а перпендикулярно опорам—полуциркульные кружала. Крестовый свод—самый распространенный тип сводов для покрытия квадратных, прямоугольных и многоугольных помещений; он образует четыре распалубки, соединяющиеся в вершине, и при перекрытии квадратных или прямоугольных помещений сплошных стен не требует, т. к. давление передается исключительно на углы, так что достаточно иметь по углам столбы или колонны. Толщина крестового свода при пролетах:

	В замке	В пятах
До 6,4 *м*	$^1/_2$ кирпича	$^1/_2$ кирпича
» 9 »	$^1/_2$ »	1 кирпич
» 18 »	1 кирпич	$1^1/_2$ кирпича

Толщина опор $^1/_7$—$^1/_4$ диагонали свода; при опоре выше 3 *м* толщина опоры увеличивается на $^1/_{10}$ высоты.

в) Кладку в елку (фиг. 48) ведут рядами под углом 45° к опорным стенам по сплошной опалубке или без опалубки по кружалам, расположенным на расстоянии не более 1 *м* одно от другого, при чем близ пят и вдоль шелыги прибивают по одной доске. Кладку начинают со всех углов; ряды такой кладки пересекаются друг с другом под прямым углом. Эта кладка применяется в сводах цилиндрических, сомкнутых, крестовых и парусных.

г) Кольцевая кладка (фиг. 49) по скользящим (передвижным) кружалам ведется рядами, слегка наклонными к оси свода, с двух щековых стен одновременно до тех пор, пока по середине свода не останется промежуток ~27 *см*, после чего кладут замок свода из кирпичей, загоняемых параллельно оси свода. Эта кладка применяется при цилиндрич. сводах малого пролета (до 2 *м*), но значительного протяжения.

д) Купольная кладка изображена на фиг. 50. Сопрягающие швы образуют конич. поверхность, вершина которой лежит в центре шаровой поверхности распалубки или свода, а заусенки лежат в меридиональных плоскостях; опорой свода служат наружные стены по всему своему периметру. Эта кладка применяется для купольных и парусных сводов. Кладку купольных сводов производят двумя способами: а) способом сплошной кольцевой кладки, когда весь свод складывается из целых горизонтальн. колец, верхние поверхности к-рых по мере удаления от опор делаются все более и более наклонными, совпадая с направлением радиуса полушара; этот способ при диам. купола до 10 *м* совершенно не требует кружал; б) способом кольцевой кладки между гуртами (для парусных сводов), идущими на равном расстоянии друг от друга, начинаясь от опор и сходясь в вершине купола; между этими гуртами имеется заполнение, сложенное из кирпича; при этом способе для устройства ребер применяют кружала. При куполах очень больших диаметров применяют сплошную опалубку. Толщина купольного свода в замке имеет $^1/_{30}$ диам. свода, но не менее $^1/_2$ кир-

пича при пролете до 3,6 *м* и не менее 1 кирпича при пролете до 5,5 *м*, а у опоры—$^1/_{20}$ диам. свода. Толщина опор $^1/_{10}$—$^1/_8$ диам. свода.

Кладка сводов расценивается по объему сводов; объем свода получается умножением поверхности опалубки на среднюю толщину свода; поверхность свода (или опалубки) определяется: цилиндрического — умножением направляющей на длину, а остальных сводов—умножением площади перекрываемого сводом помещения на след. коэфф-ты:

Для сомкнутого и полуциркульного свода	2,0
» » с подъемом в $^1/_4$ пролета	1,5
» » » в $^1/_6$ »	1,33
» крестового	1,143
» купольного при подъеме $^1/_2$ пролета	2,0
» » » » $^1/_4$ »	1,5
» » » » $^1/_6$ »	1,33
» плоского свода	1,2

Каменные лестницы являются наиболее распространенными. Площадки их строят по одному из способов, применяемых для этажных перекрытий; чаще всего применяют плоские цилиндрич. сводики — кирпичные, бетонные или железобетонные (фиг. 51), упирающиеся одной пятой в одну из стен, перпендикулярных к маршу, а другой—в железную балку площадки; кроме того, площадки устраиваются на сводах цилиндрических (полуциркульных, сжатых и плоских), крестовых и парусных, при чем пяты этих сводов упираются или на стены лестничной клетки или, кроме того, на арки, расположенные в плоскости, к-рые отделяют площадки от маршей; арки, поддерживающие своды площадок, упираются или на стены или на отдельно стоящие колонны. Для настилки чистого пола по сводам делается подготовка из тощего бетона или же другого какого-либо материала; по краю площадки укладывается фризовая ступень *а*; чистый пол площадки устраивается из лещадных плит, гончарных плиток, асфальта, бетона и др. Марши устраиваются чаще всего на железных балках и косоурах *б* (фиг. 51), а если лестница на сводах, то своды кирпичных маршей делаются: цилиндрические и бочарные (наклонные со стрелой в $^1/_8$—$^1/_{12}$ для пролета 1,7 *м*, толщиной в замке $^1/_2$ кирпича, при больших пролетах—1 кирпич) или ползучие, опирающиеся на своды площадок толщиной в 1 кирпич (фиг. 52). Часто применяются висячие лестницы, у к-рых марши одним концом заделываются на цементном растворе 1:3 или 1:4 в стену на 25—27 *см* с загрузкой их каменной кладкой, другой же конец остается свободным; длина таких ступеней не д. б. более 1,5 *м*, и камень д. б. однородным; неподвижность и устойчивость ступеней обеспечивается заделкой концов в стену и тем, что давление передается от одной ступени к другой до самой нижней, при чем особенное внимание д. б. обращено на прочность фундамента нижней ступени, воспринимающей всю постоянную и подвижную нагрузку лестницы; концы следует заделывать не одновременно с возведением стен, а лишь по окончании кладки. Сопряжение ступеней на цементном растворе делают (фиг. 53): внахлестку (А), впритык (Б) и фальцем (В). В висячих лестницах каждая ступень при соединении заходит внахлестку на нижележащую на 25 — 38 *мм*.

Лит.: Федорович О., Каменные работы, 2 изд., М., 1923; Фадеев Н., Строительное искусство, ч. 1—Материалы и работы, 5 изд., М.—П., 1923; Стаценко В., Части зданий, 6 изд., П., 1923; Дмоховский В. К., Курс оснований и фундаментов, М.—Л., 1927; Добряков А. И., Основы строительного дела, М.—Л., 1927; Бругге А. и Кольфлат А., Опытные данные по постройке теплых экономич. домов, пер. с нем., М.—Л., 1926; Прейс П. В., Каменные, бетонные и асфальтовые работы, М.—Л., 1928; Рошефор Н. И., Иллюстрированное урочное положение, М., 1928; Броних Л. и Фишер В., Краткое руководство к строительному искусству и архитектуре, вып. 1—2, СПБ, 1913—1914; Breymann G. A., Allgemeine Baukonstruktionslehre, B. 1—Die Konstruktionen in Stein, Lpz., 1903.

Н. Туманов.

КАМЕННЫЙ УГОЛЬ, один из типов каустобиолитов (антрацит и бурый уголь, см. *Ископаемые угли*). Сюда относятся ископаемые гумусовые угли, характеризующиеся черным цветом, часто блестящей поверхностью, раковистым изломом и черной чертой. При ударе они колются на параллелепипедальные куски по плоскостям спайности; при прикосновении пачкают; KOH на них не действует. Часто один и тот же пласт каменного угля состоит из отдельных чередующихся слоев с различными физич. свойствами. Некоторые из этих слоев состоят из матового черного вещества шелковистого или волокнистого сложения. В этих матовых слоях иногда ясно можно различить обугленные остатки растительных тканей, древесины и перидермы (mineral coal, fusain, Faserkohle). С этими матовыми прослойками чередуются прожилки плотного угля с сильным блеском. Этот блестящий уголь получился повидимому гл. обр. из скоплений коры, листьев, плодоношений, спор (споры встречаются не во всех углях) и семян. Древесина принимает сравнительно незначительное участие в образовании материнского вещества блестящих полос угля. Вообще, древесина составляла не большую часть в массе материнского вещества палеозойских углей. Это естественно уже по одному тому, что древесина большинства деревьев напр. каменноугольного периода, в противоположность деревьям нашего времени, составляла весьма незначительную часть в массе растения. Последнее обстоятельство подтверждается и данными элементарного анализа углей. Древесные гумусовые каустобиолиты, к к-рым относятся, напр., некоторые бурые угли, почти не обнаруживают содержания азота; сапропелевые же и битуминозные образования, возникшие гл. обр. из белковых веществ, содержат значительное количество азота. Древние К. у. содержат также заметное количество азота и выделяют при дистилляции аммиак и разнообразные углеводороды. Вот почему они и получили название битуминозных или, при малом содержании летучих веществ, полубитуминозных К. у. Поэтому можно думать, что древесная растительность палеозойских периодов отличалась от позднейшей значительно меньшим развитием древесины и преобладанием паренхимной ткани, богатой белковыми веществами, как это подтверждается и анатомич. строением дошедших до нас ископаемых остатков древней флоры.

К. у. по составу и свойствам распадаются на несколько видов. Одним из свойств К. у., имеющим большое значение в промышленно-

сти и дающим нек-рую основу для классификации, является общий характер получающегося из них кокса. В одних случаях этот кокс имеет порошкообразный вид; в других — сплавленный, трещиноватый или без трещин; в иных случаях он представляет спекшуюся, иногда вспучившуюся массу. Спекшийся кокс, получаемый лишь из битуминозных К. у. (возможна при этом присадка антрацита), является незаменимым горючим в металлургии, особенно при выплавке чугуна. Было сделано несколько попыток систематизировать К. у. по группам. Наиболее популярной, хотя и несколько устаревшей, является классификация Грюнера (табл. 1).

Табл. 1.—Классификация каменных углей по Грюнеру.

Группы	Род угля	Уд. вес	Элементарный состав в %			Отн. $\frac{O+N}{H}$	Кокс в %	Летуч. вещества в %	Характеристика кокса
			C	H	O+N				
I	Сухие с длинным светлым пламенем	1,25	75—80	4,5—5,5	20—15	4—3	50—60	50—40	Порошкообразный или спекшийся
II	Жирные длиннопламенные газовые	1,30	80—85	5—5,5	15—10	3—2	60—68	40—32	Спекшийся или сплавленный, но трещиноватый
III	Жирные кузнечные . .	1,30	84—89	5—5,5	11—5,5	2—1	68—74	32—26	Сплавленный, средней плотности
IV	Жирные коксовые с коротким пламенем . . .	1,35	88—91	5,5—4	6,5—5,5	1	74—82	26—18	Плотный или вспучившийся
V	Тощие угли и антрациты	1,40	90—95	4—2	5,5—3	1	82—90	18—90	Спекшийся или порошкообразный

Эта классификация предложена Грюнером только для К. у. Но иногда к I ее группе относят также бурые и сапропелевые угли. Для каменноугольных месторождений СССР классификация Грюнера не вполне применима. От нее значительно отклоняются угли Донецк. бассейна, а угли Кузнецк. бассейна совсем в нее не укладываются; так, коксовыми углями в Кузнецком бассейне являются угли с содержанием 22—36% летучих веществ.

Происхождение каменных углей—см. *Ископаемые угли*.

Месторождения каменных углей. Из месторождений К. у. в СССР на первом месте по своему промышленному значению стоит Донецкий бассейн. По запасам углей и их качествам он значительно уступает Кузнецкому бассейну, но его расположение почти в центре европ. части Союза, неподалеку от нашей главнейшей железорудной базы — Кривого Рога — содействовало здесь мощному развитию угледобывающей промышленности и образованию значительных кадров горнопромышленного пролетариата. Разнообразие типов К. у., от сухих длиннопламенных (I группа Грюнера) до прекрасных антрацитов (V группа), значительное количество коксующихся углей (IV группа)— все это заставляет считать Донецкий бассейн «всесоюзной кочегаркой». Из общей добычи 1926/27 г. по всему Союзу в 31 352 000 *т* на долю Донецкого бассейна (без учета арендаторских шахт и акц. об-ва «Горнопром») падало 24 086 000 *т*, или ок. 77%. Это соотношение мало изменилось и в следующие годы. Донецкий бассейн занимает полосу шириною в 370 *км* с общей поверхностью в 25 000 *км*². Угленосная толща Донецкого бассейна, заключающая в себе от 30 до 40 пластов рабочей мощности (0,5 *м* и больше), относится к среднему отделу каменноугольной системы, т. е. моложе угленосных отложений Подмосковного бассейна и Западного склона Урала (Кизеловский район). Пропластков угля нерабочей мощности в Донецком бассейне очень много—до 160—170. Донецкий бассейн представляет типичный пример т. н. паралического образования: покрытая мощной растительностью приморская полоса суши, вследствие неоднократных колебаний уровня моря, затоплялась им, при чем на растительных остатках отлагалась толща минеральных (по большей части песчано-глинистых) осадков. Рабочие пласты угля, мощностью чаще всего 0,66—1 *м* и очень редко до 2 *м* (мощность суммарного пласта Донецкого бассейна можно принять равной 16 *м*), иногда прослеживаемые на огромных расстояниях без больших изменений мощности и структуры, обнаруживают, однако, весьма различное содержание летучих веществ и в зависимости от этого—различные свойства; это видно из табл. 2, представляющей анализ одного и того же пласта K_8 в разных районах.

Табл. 2.—Состав пласта K_8 (в %).

Районы	Летуч. вещ.	Кокс	Зола	Влажность
Тошковский рудник Марьевского района	41,10	49,30	5,73	3,87
Павловский рудник Алмазного района	18,65	72,54	6,31	2,50
Рудник Сулиновского завода (район станции Гуково)	2,56	86,30	6,38	4,76

Содержание серы в донецких углях редко менее 1%, обыкновенно же 2—3% и выше. Из общего запаса углей Донецкого бассейна в 68 167 млн. *т*, подсчитанного до глубины 1 800 *м* от поверхности для пластов мощностью не менее 0,533 *м*, на долю К. у. первых четырех групп Грюнера приходится 28 568 млн. *т*, т. е. ок. 42% всех запасов бассейна. Наиболее сильно развита добыча этих углей в старых промышленных районах—Алмазно-Марьевском, Макеев-

ском, Сталинском, Горловском—и в новом—Гришинском.

Вторым важным промышленным районом прекрасных К. у. является Кузнецкий бассейн, расположенный в Сибири по рр. Томи и Ине, притокам р. Оби. По площади распространения угольных отложений он не уступает Донецкому бассейну и представляет окруженную нижнепалеозойскими отложениями котловину, вытянутую в направлении от С.-З. на Ю.-В. и прорезанную в нек-рых местах выходами массивно-кристаллич. пород. Геологич. возраст угленосной толщи Кузнецкого бассейна до сих пор окончательно не установлен. Правдоподобнее всего считать нижнюю толщу этих отложений за каменноугольную и верхнюю—за пермскую. Коэфф. угленосности Кузнецкого бассейна значительно выше, чем Донецкого. Самые пласты отличаются значительной мощностью (8—10 и даже 14 *м*) и, как правило, отсутствием прослойков. Бо́льшая часть пластов представлена полосатыми углями (см. *Ископаемые угли*), при чем одни из них главн. обр. матовые, другие отличаются сильным смоляным блеском, третьи представляют чередование блестящих и матовых полос почти в равном соотношении. По химич. составу угли Кузнецкого бассейна отличаются поразительной чистотой. Как вывод из многочисленных анализов этих углей необходимо отметить: 1) весьма малое содержание в них серы—от 0,2 до 0,87%, редко до 1,12%, в среднем 0,6%, 2) малое содержание золы—3—10%, в среднем около 7% и 3) их высокую калорийность—ок. 8 000 Cal.

При описании свойств углей Кузнецкого бассейна следует особо остановиться на некоторых ценных качествах углей Прокопьево-Киселевского района, подчиненных нижней угленосной свите. Лучше других исследован здесь т.н. «Мощный пласт» (от 14 до 15 *м* мощности). Уголь этого пласта отличается весьма большой вязкостью и крепостью, не дает мелочи при перевозках и не рассыпается в мелочь при долгом лежании на воздухе; он почти бездымен и дает порошкообразную золу. При сравнительных испытаниях этого угля и англ. флотского кардифа выяснилось, что дымность его меньше и количество мелочи в нем, после испытания в барабане на вязкость, почти вдвое меньше, чем в кардифе. По химич. составу он также выше последнего: среднее из 10 анализов этого угля на Нижне-Тагильском з-де дало: влаги 5,99%, золы 4,56%, серы 0,21%, летучих веществ 19,09%. Этот уголь обладает еще одним ценным и редким свойством: он может заменять кокс и древесный уголь при доменных плавках, что подтверждено опытами Гурьевского з-да в Сибири, а также Нижне-Тагильского и Нижне-Салдинского на Урале, при чем выплавленный на этом угле чугун был экономически выгоднее при том же качестве металла: содержание серы в нем не превышало 0,03%. В нек-рых углях Кузнецкого бассейна содержится до 7% парафина. Беря мощность суммарного пласта Кузнецкого бассейна в 114 *м* и принятую к учету площадь в 16 000 $км^2$, получаем общий запас углей Кузнецкого бассейна в 400 000 млн. *т* до глубины 1 500 *м*, при чем пластами рабочей мощности считаются пласты от 0,71 *м*. Примерно половина этого запаса приходится на долю антрацитов и тощих углей и половина—на долю углей коксовых и кузнечных, жирных и сухих длиннопламенных.

Для характеристики главнейших месторождений Кузнецкого бассейна в табл. 3 по каждому месторождению показаны мощность суммарного пласта и средняя плотность запаса (т. е. запас угля на единицу поверхности) на 1 $км^2$ до глубины 500 *м*.

Табл. 3.—Месторождения Кузнецкого бассейна.

Месторождение	Общ. мощность пласта (в *м*)	Средн. плотность запаса на 1 $км^2$ (в млн. *т*)
Анжеро-Судженские копи	25,0	27
Киселевские копи	⩾ 84	30
Прокопьевские копи	88,0	32
Алтайские копи	15,2	18
Кемеровские копи	20,9	25
Ишановское месторождение	23,8	15
Кольчугинские копи	17,7	10
Белово-Бабанаковск. месторожд.	23,6	20
Осиновское месторождение	21,3	10
Крапивинские копи	5,9	6
Порывайка, или 25 Октября	7,6	7,6
Ерунаковские копи	24,8	14,9

С угленосными отложениями Кузнецкого бассейна на основании палеофитологич. и литологич. материала отождествляют отложения Минусинского района. По обоим берегам реки Абакана и частью по левому берегу реки Енисея, близ г. Минусинска, расположены месторождения К. у.—Черногорское, Изыхское и Калягинское. Эти три месторождения лежат в одной угленосной мульде площадью более 300 $км^2$. Кроме того, в 60—70 *км* от устья Абакана, неподалеку от его левого берега находится Аскызское каменноугольное месторождение, а на правобережьи этой реки в 40—50 *км* от устья,—месторождение Соснового озера и Красная копь. По своему характеру эти угли частью относятся к сухим пламенным, частью — к спекающимся; количество летучих варьирует от 33,74 до 39,9%. Как и угли Кузнецкого бассейна эти угли очень мало сернисты (0,50—1,32%) и малозолисты (1,87 до 5,40%, один пласт—16,05%). В пределах Изыхской копи—не менее 10 пластов с мощностью в 1 *м* и выше; на Калягинских копях обнаружено до сих пор 4, а на Черногорских — 5 рабочих пластов. Запас углей Минусинского района исчисляется, пока совершенно ориентировочно, в 6 250 млн. *т*. С окончанием постройки Ачинск-Минусинской железной дороги район приобретает большое значение, так как уголь получает выход на сибирскую магистраль.

Из других месторождений К. у., призванных играть в близком будущем значительную промышленную роль, необходимо отметить месторождение западного склона Урала, Тквачельское и Тквибульское месторождения на Кавказе, Карагандинское и Экибастузское—в Казакской АССР.

Месторождение западного склона Урала (Кизеловский район) является длинной и узкой антиклинальной складкой, тянущейся в меридиональном направлении от копи Баской до Луньевки по крайней мере на 80 *км*. В этих пределах уголь подвергался разработке копями: Баской, Усьвинской, Верхней и Нижней Губахинскими, Половинкинской, Кизеловской и Луньевской. Довольно детальные разведки проведены и севернее — до р. Чаньвы. Но и далее к северу, почти на 125 *км* по меридиану от р. Чаньвы до р. Вишеры, по рр. бассейна последней (Вильве, Кынцуру, Яйве, Язьве и др.), известны выходы не только угленосной толщи, относящейся здесь к нижне-каменноугольным отложениям, но и самих угольных пластов. На действовавших копях западного склона Урала разрабатывались от 2 до 4 (редко больше) рабочих пластов, мощностью от 0,7 до 3 *м*. Уголь плотный, смолистый, хорошо сохраняется на воздухе. По своему составу уголь невысоких качеств: в нем 3—5% (иногда до 8%) серы и 17—22% золы. Теплотворная его способность—5 500—6 000 Cal. Вследствие недостаточной разведанности угленосной полосы подсчет запасов производился до самого последнего времени лишь до уровня реки Косьвы и давал ничтожную величину. Лишь осенью 1928 г. на основании последних геологич. и разведочных данных была сделана первая попытка подсчитать запас к Ю. от Кизела на глубину 1 *км*, при чем этот запас выразился цифрой ок. 2 млрд. *т*. Геологический комитет впоследствии уточнил этот подсчет и принял запас равным 1 665 475 000 *т*. Несмотря на невысокое качество углей этого месторождения, оно призвано сыграть крупную роль в развитии уральской промышленности. Путем обогащения на столах Вильфлея уголь довольно легко теряет бо́льшую часть золы и серы, после чего дает металлургич. кокс с содержанием золы 11—14% и серы до 2%. Соответственно стоимости, кизеловский кокс может широко применяться на северном Урале, тогда как южный Урал (Магнитогорский завод) должен будет получать кокс из кузнецкого угля.

Ткварчельское месторождение К. у., расположенное в пределах Абхазии, является крупнейшим не только для Закавказья, но и для всего Кавказа. До сих пор, однако, оно недостаточно исследовано: из 6 известных угленосных площадей этого месторождения детальному изучению за самое последнее время подверглись лишь две: 1) по бассейнам рр. Б. Махме и Хеликвара, а также по левому берегу р. Гализги и 2) по бассейнам левых притоков рр. Гализги и Агырво-Дистаблыса. Угленосная площадь этих районов, как и всех других, сложена средне-юрскими отложениями. Пласты угля отличаются большим непостоянством и по мощности и по составу. На расстоянии всего лишь 225 *м* мощность, напр., пласта I колеблется от 1 до 13,17 *м*. Одновременно и без всякой видимой закономерности содержание серы в угле меняется от 0,6 до 3,95%, золы—от 3,7 до 32,6%, летучих—от 24,8 до 32,7%. Это обстоятельство, в связи с некоторыми другими соображениями, позволяет принять здесь аллохтонный способ накопления угольной массы (см. *Ископаемые угли*). По своим физическим свойствам уголь всех 5 пластов м. б. отнесен к 3 типам: 1) компактная непластичная масса, в изломе мелкозернистая, с сильным матовым отливом; 2) масса с характерной пучковато-струйчатой отдельностью, по которой уголь разбивается рядом косых криволинейн. поверхностей, покрытых тонкими продольными струйками и 3) черный, блестящий, крупнозернистый, в изломе пластинчатый уголь. Уголь совершенно не подвержен самовозгоранию, плотен и при подрывных работах дает крупные куски. Он выдерживает длительный срок хранения, мало выветриваясь: уголь, взятый из старых отвалов, после 25-летнего лежания сохранил свои основные качества. По своему типу он относится к настоящим гумусовым каменным углям. Теплотворная способность угля I пласта 7 200—7 700 Cal, других пластов 5 300—6 800 Cal. В 1927 году Югосталь произвела валовую отборку проб из пластов I-a и I-b на 2-й площади и подвергла их испытанию на коксуемость в Макеевских коксовых печах. Полученный кокс для всех проб обнаружил хорошие металлургич. качества. На Ткварчельском коксе предположена теперь плавка керченских и дашкесанских железных руд. Запас угля на указанных двух площадях, относимый к категориям А и В Геологического комитета (см. *Ископаемые угли*) определяется в 69,3 млн. *т*; общий же запас всех категорий угля этого месторождения на всех площадях, по последним данным Главгортопа ВСНХ СССР, достигает 7 млрд. *т*.

Тквибульское месторождение К. у., расположенное к С.-В. от Кутаиса, у подножия Накеральского хребта, также относится к среднему отделу юрской системы. Главный рабочий пласт, мощностью от 23 до 25 *м*, разбит прослойками углистых и глинистых сланцев на отдельные пачки; как мощность, так и качество пласта довольно непостоянны. Содержание золы в угле 10,5—19%, серы 0,72—2,12%, летучих 37,82—40,40%. Пласт прослежен на 5—6 *км*. Запас—ок. 23 млн. *т*.

Карагандинское месторождение, расположенное в 180 *км* к Ю.-В. от Акмолинска, известно давно, и его начали разрабатывать уже более 70 лет тому назад. В настоящее время значение этого крупнейшего в Казакстане месторождения увеличивается вследствие относительной близости его к строящемуся Магнитогорскому з-ду, а также благодаря открытию вблизи г. Каркаралинска новых крупных месторождений железных руд (Кентюбе-Тогай). Сверх того, близость к строящейся Туркестано-Сибирской магистрали, бедной топливом, и открытие на северном побережьи озера Балхаш крупных запасов медной руды еще более повышают значение этого ценного месторождения. Общая мощность угленосных отложений достигает 2,5 *км*. Они подстилаются толщей значительной мощности (до 1,5 *км*), в к-рой не открыто пластов угля, и известняком нижне-каменноугольного возраста. Известно 8 рабочих пластов, но, не-

сомненно, открыты еще не все имеющиеся в месторождении пласты. Разрабатывались здесь лишь 5 пластов. Мощность этих пластов различна: от 0,94 до 6,8 *м*. Нек-рые пласты разбиты прослойками глинистого сланца на отдельные пачки. Благодаря этим мелким прослойкам уголь таких пластов очень золист. Анализ дал для двух главных рабочих пластов шахты Герберт и для пласта Нового шахты Джимми такие результаты (в %):

	Зола	Летучие вещества
Пласт 1,8 *м*	14,8—22,8	20,9 —22,4
» 1.2 »	20,6—22,46	17,42—22,36
» Новый (Джимми)	10,0—22,19	23,93—28,96

Анализы, произведенные лабораторией Геологич. ком-та, показали значительно лучший состав кускового угля: от 6,68 до 15% золы (один пласт дал 30%), 0,27—1,43% серы, 20,7—33,67% летучих веществ, при влажности 0,75—13,9%. Уголь нек-рых пластов, несмотря на длительное лежание, дал в лабораторных пробах спекшийся невспученный кокс. Определения теплотворной способности карагандинского К. у., произведенные лабораторией Томского горного управления, дают 5 526—6 128 Cal. Запасы месторождения исчисляются ок. 5 млрд. *т*. Месторождение требует детальной разведки и опробования.

Другим значительным месторождением К. у. в Казакстане является Экибастузское, расположенное в 125 *км* к Ю.-З. от г. Павлодара. Оно подстилается, как и Карагандинское, нижне-каменноугольным известняком и представляет котловину ок. 13 *км* длиной и 5,5 *км* шириной. Рабочих пластов—не менее 4; мощность их довольно непостоянна. Уголь первого пласта, лучшего по качеству, содержит 11—19% золы, 1—2,6% серы, 28,7—32,5% летучих веществ; теплотворная способность 6 887—7 560 Cal. Уголь этого пласта дает довольно плотный серебристый, несколько трещиноватый кокс с содержанием золы до 23% и серы 1,10—1,86%. Общий запас месторождения—ок. 600 млн. *т*.

Из каменноугольных месторождений Сибири и Дальнего Востока, не имеющих в настоящее время очень большого промышленного значения, но обладающих данными для этого, следует отметить Иркутский бассейн, Сучанский район и месторождения о-ва Сахалина.

Главная масса углей Иркутского бассейна, занимающего площадь около 25 000 *км*², принадлежит к К. у. I и II групп Грюнера; по возрасту они относятся к юре. И самые залежи и мощности пластов очень непостоянны. Наиболее разведан Центральный район, где расположена группа копей у ст. Черемхово. Главный пласт имеет здесь от 4 до 5 *м* чистого угля. Здесь же имеется и другой пласт около 0,64 *м* мощности. Общие запасы углей Иркутского бассейна, не исключая богхедовых районов, составляют 52,1 млрд. *т*, а именно:

Районы	Средн. мощность рабоч. пласт. (в *м*)	Запас угля (в млрд. *т*)
Черемхово-Окинский . . .	6,4	30,0
Вознесенский (бассейн) р. Белой	1,06	0,7
Иркутско-Кудинский . . .	1,06	10,0
Приангарский (богхедовый)	1,06	2,5
Кимельтейский	2,1	1,4
Икейский	2,1	0,7
Велестовский (бурый уголь)	2,1	2,6
Шабартинский	2,1	3,5
Хахарейский (богхедовый)	4,3	0,7

Сучанское месторождение имеет важное значение, благодаря высокому качеству угля, к-рый идет и на экспорт. До настоящего времени разрабатывалась угленосная свита (юрской системы), содержащая 9 пластов угля, из них 5 рабочих, мощности 0,64—1,5 *м*. Угли относятся к полуантрацитам и к спекающимся углям, дающим хорошего качества кокс. Разведочными работами 1926 г. в с.-в. части отвода Сучанских копей было обнаружено 5 пластов (4 с мощностью, близкой к рабочей), повидимому, палеозойского возраста. Общий запас месторождения, по последним данным, около 12 775 тыс. *т*.

На о-ве Сахалине К. у. тянутся полосой вдоль западного берега. Угли принадлежат к разным категориям—от длиннопламенных до полуантрацитов. Лучшие коксовые угли находятся в районе Дуэ, отданном японским концессионерам. Угли Сахалина довольно высокого качества и могут итти на экспорт. Общие запасы исчисляются ориентировочно до 2 млрд. *т*. Возраст углей—меловой и третичный.

Нек-рые геологи склонны признавать существование в Сибири огромного т. н. Тунгусского каменноугольного бассейна, занимающего, по их предположению, почти все пространство между рр. Леной и Енисеем к С. от 58 параллели, почти на 1 400 *км* по меридиану и на 1 250 *км* по параллели. Они определяют его площадь в 800—900 тыс. *км*² и считают его первым в мире по величине. Хотя и нельзя отрицать возможности нахождения отдельных крупных месторождений ископаемого угля на указанной площади, все же было бы неосторожно без достаточных геологич. и разведочных работ объединять все имеющиеся в указанных пределах выходы угля и графита в один грандиозный бассейн. Нек-рые уже известные месторождения т. н. Тунгусского бассейна заслуживают однако серьезного внимания. Сюда прежде всего необходимо отнести расположенные вдоль западной границы этого гипотетич. бассейна Курейское и Норильское месторождения. Первое представляет месторождение антрацита, переслаивающегося с неантрацитовыми углями на р. Курейке, выше известного графитового месторождения. Возможный запас—до 30 млрд. *т*. Второе расположено далеко за полярн. кругом у Норильских гор, в низовьях р. Енисея, к востоку от поселка Дудинки, и содержит 3 пласта угля; из них 2—рабочей мощности (2,4 и 4,66 *м*). Угли последнего месторождения — типичные битуминозные, вероятно автохтонного происхождения и, скорее всего, пермского возраста. В главной массе они относятся к IV группе Грюнера, со средним содержанием летучих веществ 22—23%. Зольность изменчива, иногда до 2—3%; серы около 1%; теплотворная способность—около 7 500 Cal. Запасы исчис-

лены в 65,87 млн. *т*, из которых действительных 15,33 млн., вероятных 18,27 млн. и возможных 32,27 млн.

Значительный, повидимому, интерес, представляют мало еще разведанные Печорские месторождения К. у. Выходы углей (гл. обр., пермского возраста) приурочены к бассейну р. Косьвы, притока Усы, и отчасти—к самой Усе, к рекам Сынь-Ю и Оранцу, притокам Печоры, и р. Вуктылу, притоку р. Подчерема, впадающему справа в Печору. Разведочные работы производились по левому притоку р. Косьвы—Нёче и по правым притокам—Б. Инте и Кожиму, особенно по последнему. За три года разведочных работ Геологич. ком-та в районе Кожима обнаружено 29 рабочих угольных пластов с суммарной мощностью 24,91 *м*, причем мощность чистого угля в каждом пласте (без пропластков пустой породы)—не менее 0,5 *м*. Что касается анализов угля, взятого на выходах, то они не дают действительного состава угля и показывают лишь количество летучих от 15—18 до 42—43%; серы—от 0,26 до 5,5—6%; золы в среднем—ок. 20% и выше. Все пласты, кроме одного (по Б. Инте), не показали признаков спекаемости. В настоящее время здесь ведется глубокая разведка с целью надлежащего опробования угля. По ориентировочным подсчетам, себестоимость добытого печорского угля будет одинакова с себестоимостью донецкого угля. В этом случае печорский уголь на транспорте и в промышленности северного района РСФСР мог бы успешно конкурировать с дровами.

В пределах европ. части СССР можно отметить еще одно, ничтожное, правда, по запасам, но единственное в Крыму месторождение—Бешуйское с 2 пластами К. у., неустойчивыми по мощности и свойствам. Запасы этого месторождения—всего около 280 тыс. *т*.

Что касается ср.-азиатских республик, их каменноугольные месторождения, деятельно разведываемые за последние годы, еще недостаточно исследованы. При сильной иногда нарушенности залегания, неустойчивости углесодержащих толщ, сложности строения каменноугольных пластов и их непостоянстве по простиранию и по падению, месторождения Ср. Азии требуют самого внимательного изучения. Здесь известны и палеозойские и юрские угли. Первые представлены незначительными месторождениями К. у. и антрацитов; главнейшую часть запасов дают угли юрского возраста, иногда коксующиеся. Наиболее существенны, в смысле угленосности, районы Нарынский, Приандижанский, Маргеланский, Исфаринский, Ходжентский и Зеравшанский. Запасы углей Нарынского района, частью спекающихся, для нескольких угленосных площадей — ок. 8,5 млн. *т*. Отчасти спекающиеся угли имеются также в Маркайском и Кок-Янгакском месторождениях Приандижанского района, запасы которых не менее 160 млн. *т*. В Маргеланском районе известно несколько месторождений, среди к-рых копь Кизыль-Кия, связанная подъездным путем в 40 *км* с Маргеланом, располагает общим запасом до 25 млн. *т*. Среди месторождений Исфаринского района следует отметить Шурабское с несколькими пластами угля до 12 *м* мощности (работали лишь несколько копей) и запасом до 18 млн. *т*. В восточной части Ходжентского района—Кокинесайское, в западной—Сулюктинское месторождение с мощностью пластов до 6 *м* и запасом до 57,5 млн. *т*. В Зеравшанском районе известно Кштутское месторождение (до 24 пластов с суммарной мощностью в 36 *м*) с запасами до 58 млн. *т*. Ведущимися в настоящее время разведочными работами можно установить более точно действительное значение ряда важнейших ср.-азиатских месторождений.

Классификация углей главных угольных бассейнов (так называемые технические условия), принятая Госпланом СССР, представлена в табл. 4 и 5.

Табл. 4.—Классификация углей Донецкого бассейна.

Марка	Обозначение марки	Содержание летучих веществ в горюч. массе в %	Характеристика лабораторного коксового королька	Теплотворная способность абс. сухого топлива. Нормальн. расчет в Cal	Размеры кусков в *мм*
Длиннопламенный сухой	Д	> 42	Неспекшийся порошкообразный или слипшийся	6 700	—
Газовый	Г	35—44	Спекшийся, сплавленный, иногда вспученный (рыхлый)	7 200	—
Паровичный жирный . . .	ПЖ	26—35	Спекшийся, сплавленный, плотный или умеренно плотный	7 450	—
Коксовый	К	18—26	Спекшийся, сплавленный, плотный или умеренно плотный	7 500	—
Паровичный спекающийся	ПС	12—18	Спекшийся или сплавленный от плотного до умеренно плотного	7 700	—
Тощий	Т	< 17	Неспекшийся порошкообразный или слипшийся	7 900	—
Антрацит:					
плита	АП	—	—	7 800	> 100
крупный орех	АКО	—	—	7 700	100—25
мелкий орех	АМ	—	—	7 200	25—13
семячко	АС	—	—	6 850	13—6
зубок	АЗ	—	—	6 750	6—3
штыб	АШ	—	—	6 250	3—0
рядовой со штыбом . . .	АРШ	—	—	7 100	100—0

Табл. 5.—Классификация углей Подмосковного и Кузнецкого бассейнов.

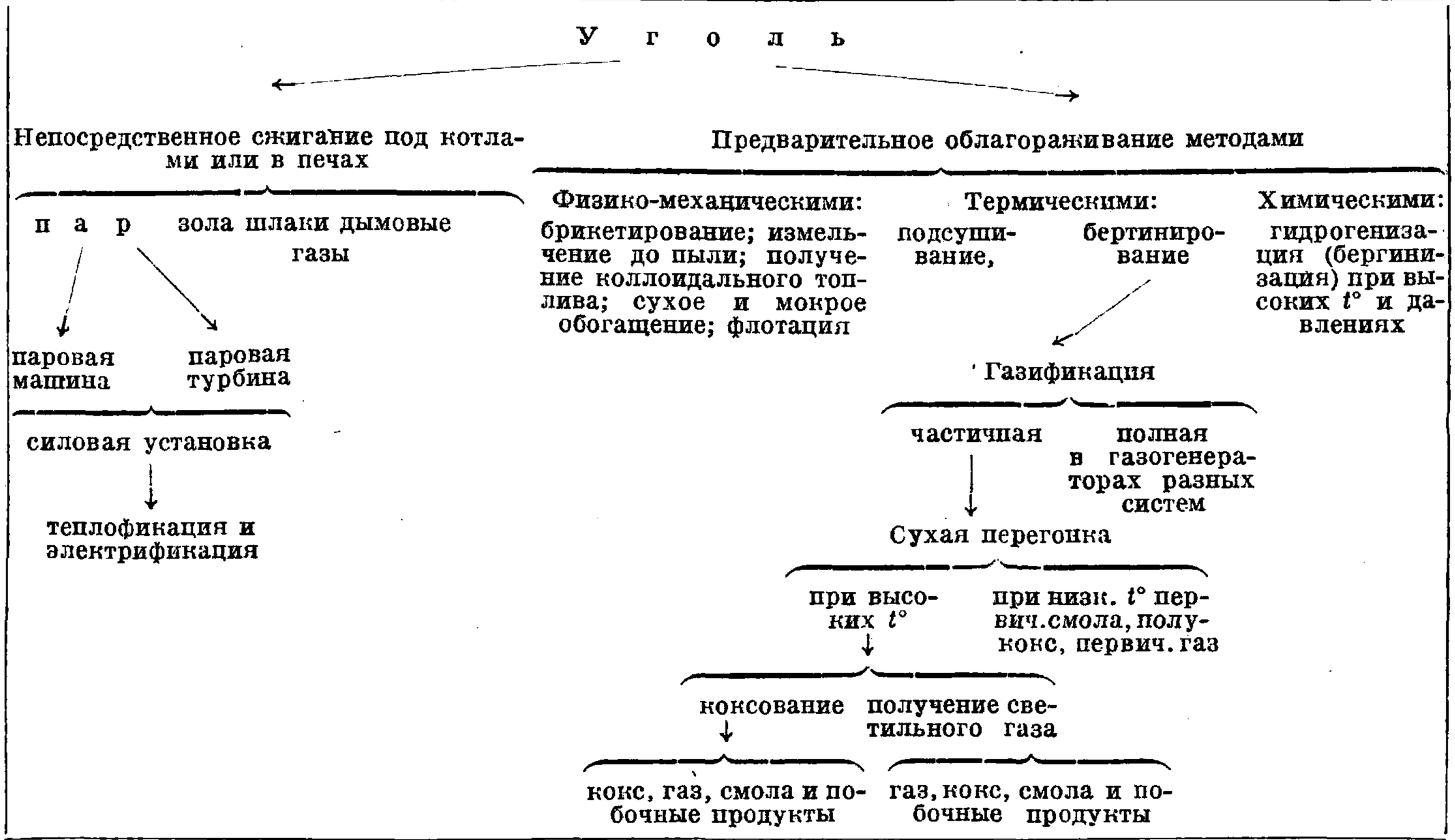
Марка	Обозначение марки	Размеры кусков в *мм*	Предельное содержание мелочи в %	Влага в рабочем топливе. Нормальный расчет в %	Зола в абс. сухом топливе. Брак. предел в %	Теплотворная способность сух. топл. Нормальн. расчет в Cal
Уголь Подмосковного бассейна						
Крупный	К	> 50	10	33	26	5 650
Орех	О	50—20	15	33	33	4 900
Мелочь и семячко	МС	20—0	—	34	35	4 600
Рядовой мелкий	РМ	50—0	—	33	34	4 750
Уголь Кузнецкого бассейна						
Анжерские копи	—	—	—	—	13	7 800
Кемеровские копи	—	—	—	—	14	7 400
Ленинские (Кольчугинские) копи	—	—	—	—	13	7 450
Прокопьевские и Киселевские копи	—	>6	35	—	14	7 400

Лит.: Очерк месторождений ископаемых углей России, СПБ, 1913; «Естествен. произв. силы России», т. 4, вып. 20—Ископаемые угли, П., 1919; Запасы углей в СССР, «Материалы по общей и прикладной геологии», вып. 3; Новосильцев Н. И., Уголь (мировые ресурсы, мировая промышленность и промышленность СССР), Л., 1927; «Годовой обзор минеральных ресурсов СССР за 1925/26 г.», Л., 1927; то же за 1926/27 г., Л., 1928; Яворский В. И. и Бутов П. И., Кузнецкий каменноугольный бассейн, «Труды Геологич. комитета», вып. 177, Л., 1927; Соколов Д. В., Минусинский угольный бассейн, «Материалы по общей и прикладной геологии», вып. 18, П., 1923; Яворский В. И., Приенисейско-Абаканские месторождения камен. угля, «Изв. Геологич. комитета», П., 1921, *2—6*; Гапеев А. А., Ископаемые угли Уральск. обл., Сборник «Урал», вып. 7, Екатеринбург, 1924; Мокринский В. В., Ткварчельский угленосный район, «Труды Геологич. комитета», вып. 189, Л., 1928; Гапеев А. А., Карагандинское каменноугольное месторождение, «Материалы по общ. и прикладн. геологии», вып. 61, П., 1922; его же, К вопросу об Экибастузском и Прииртышском месторождениях каменного угля, там же, вып. 44, П., 1920; Сахалинская горно-геологич. экспедиция (статьи Полевого, Криштофовича, Гапеева и Волковича), там же, вып. 112, Л., 1927; Обручев С., Тунгусский угленосный бассейн, «Рудный вестник», М., 1918, *1—4*; Урванцев Н. Н., Норильское каменноугольное месторождение, «Поверхность и недра», Л., 1928, *3—5*; Чернов А. А., Угленосные бассейны района Кось-Ю в Печорском крае, «Материалы по общей и прикладн. геологии», вып. 119, Ленинград, 1925; Лебедев А., Очерк Печорских каменноугольных месторождений и их будущие перспективы (рукопись).

А. Гапеев.

Методика исследования К. у. Современное исследование углей ведется в зависимости от предназначения их для тех или иных целей. Чаще всего уголь используется путем непосредственного сжигания в топке; иногда он предварительно подвергается облагораживанию, и затем уже используются образующиеся продукты; наконец, он может служить сырьем для химическ. промышленности (см. схему). Исследование ведут для определения или только балласта (влаги и золы), или общего состава (балласта, выхода летучих и кокса с характеристикой последнего). Обычно считают необходимым определение и элементарного состава [H, C,

Схема современного использования ископаемых углей.



N, O (или O+N)], теплотворной способности и плавкости золы. При поставке углей по новым технич. условиям (введенным с 1 апреля 1929 г.) определяют: размеры кусков в *мм*, содержание влаги, золы, летучих и кокса, с характеристикой лабораторного коксового королька, и теплотворную способность. Для углей специального назначения, идущих для коксования и добывания светильного газа, считают необходимым производить испытания в опытных установках с учетом получающихся побочных продуктов, а в случае бергинизации и полукоксования—сухую перегонку в алюминиевой реторте Фишер-Шрадера или вращающемся барабане по сист. Фишера. По схеме Г. Л. Стадникова, одобренной Всесоюзной теплотехнич. конференцией 1928 г., подлежат определению: общий и элементарный состав и выходы продуктов полукоксования с анализом первичного газа и теплотворной способности. Л. К. Рамзин обычно дает характеристику общего и элементарного состава, теплотворной способности рабочего топлива и горючей части, способности кокса к выветриванию и самовозгоранию и $t°$ размягчения золы. По Шлепферу, надлежит определять спекаемость и вспучиваемость кокса, изменения золы при высоких температурах, $t°$ вспышки, горючесть кокса и скорость газификации. К. Бунте к этому добавляет определение $t°_{пл.}$ золы (по его методу), теплоты «коксования», теплотворной способности (по Гейперту) для газовых углей, исследование сухой перегонки при низких $t°$ (по Фишеру-Шрадеру)—для углей, подвергающихся полукоксованию и газификации, и, наконец, определение содержания битуменов, витрена, кларена, дюрена и фюзена. Во всех случаях результаты исследования только тогда дают действительную характеристику углей, когда оно ведется для правильно отобранной средней пробы, так как отдельные куски или порции дают весьма различные цифры.

Отбор пробы. Для исследования можно брать пробы: 1) из пластов, 2) при погрузке или выгрузке, 3) из штабелей и вагонов, 4) при испытании котельной, 5) в условиях эксплоатации котельной. При геологическ. изысканиях отбирается шурфовая проба через всю толщу пласта. При разработках отбирается столбик через всю толщу.

Исследование К. у. За последнее время повсюду, за границей и у нас, выявилась тенденция к установлению единых обозначений и стандартизованных методов испытания. Термины и символы, применяемые у нас при исследовании топлива, приведены в табл. 6.

1. Определение влаги ведется высушиванием 1—2 *г* в стеклян. стаканчике с притертой крышкой (высота ок. 25—30 *мм*, диам. 40 *мм*) при $t°$ 102—105° в двухстенном сушильном шкафу или в шкафах типа термостата. По высушивании в течение 2 ч. стаканчик закрывается, охлаждается в эксикаторе над серной к-той не менее получаса и взвешивается. Влага определяется по разнице веса. Для углей, чувствительных к температуре в 100°, определение производится лишь высушиванием в эксикаторе над серной к-той до постоянного веса.

2. Определение золы ведется с навеской 1—2 *г* угля в платиновом или фарфоровом тигле на горелке или в муфельной печи с постепенным повышением $t°$ до постоянного веса навески (ок. 800°). При применении муфельных печей рекомендуется заменять тигли чашечками для ускорения процесса озоления. По охлаждении в эксикаторе вес прокаленного остатка принимается за содержание золы. При точных определениях надлежит вводить поправку в 0,08% на гидратную воду и на серу ($A_{испр.} = A + {}^{3}/_{8}S$), т. к. при сгорании К. у. сернистое железо золы превращается в окись. Анализ золы ведется общими методами неорганическ. анализа.

3. Определение летучих веществ производится с навеской в 1 *г* в платиновом тигле № 7 Гос. платинового з-да (Москва); нагревание производится на спиртовой горелке Бартеля № 2 при высоте пламени не менее 18 *см* (применяется спирт специальной денатурации). Тигель помещается на платиновом треугольнике, так чтобы дно тигля находилось на расстоянии 8 *см* от отверстия горелки, и обогревается полным пламенем горелки до полного выделения летучих. После охлаждения в эксикаторе тигель взвешивается. Потеря в весе, за вычетом содержания влаги, дает выход летучих веществ. Для длиннопламен. и бурых углей рекомендуют брать навеску в виде брикета. Для углей с неспекающимся коксом рекомендуют предварительно подогреть тигель в течение 5 м., чтобы предупредить образование искр.

4. Определение элементарного состава ведется общими методами органического анализа для C и H, на газовой или электрическ. печи. Определение азота производится по методу Кьельдаля. Определение всей серы рекомендуется делать по Эшка, с навеской 0,5—1 *г*, в зависимости от содержания серы (во избежание потерь содержание серы в навеске не должно превышать 0,025 *г*). Уголь смешивают с 2 *г* смеси Эшка (2 ч. окиси магния и 1 ч. безводной соды) в платиновом или фарфоровом тигле; нагревание надлежит вести осторожно, усиливая его постепенно до 850°. Содержимое тигля по охлаждении переносится в стакан, обливается 75 *см*³ горячей воды и 4 *см*³ насыщенной бромной воды или 10 *см*³ 3%-ного раствора перекиси водорода, нагревается до кипения и фильтруется. Фильтрат обрабатывается соляной к-той до слабокислой реакции. Раствор нагревается до кипения и к нему при помешивании добавляется постепенно 10 *см*³ кипящего 5%-ного раствора хлористого бария. После 12-часового стояния раствор пропускается через плотный фильтр, тщательно промытый осадок высушивается, прокаливается и взвешивается. В смеси Эшка предварительно определяется содержание серной к-ты, к-рое и принимается в расчет при вычислении. Все вышеуказанные методы разработаны Комиссией по унификации методов лабораторного испытания топлива при Бюро теплотехнич. съездов. В Америке недавно введено, на правах стандартного, определение серы в калориметрич. бомбе при определении теплотворной способности, а также в патроне Парра. Определение сульфатной серы производится

Табл. 6.—Унификация символов при лабораторном испытании твердого топлива.

	№	Объект определения	Методы	Термины	Символы: Лабораторн.	Рабоч. топливо	Сухое топливо	Условно горючая масса	Орган. масса
Определение общего состава	1	Содерж. негорючей части	Прокаливание до постоянного веса при 800°	Зола	$A^{л.}$	$A^{р.}$	$A^{с.}$	—	—
	2	Содерж. негорючей части	Введение поправок на содерж. карбонатов, сернистых соединений	Зола исправл.	$A^{л.}_{и.}$	$A^{р.}_{и.}$	$A^{с.}_{и.}$	—	—
	3	Влажность	Сушка при 105° или в эксикаторе	Вода *1	$W^{л.}$	$W^{р.}$ *2	—	—	—
	4	Содерж. летучих веществ: с влагой и без влаги	Унификацион. ком. (видоизменение америк.)	Летучие	$V^{л.}$	$V^{р.}$	$V^{с.}$	$V^{г.}$	$V^{о.}$
	5	Содерж. кокса: с золой / без золы	По разности 100−V / 100−(V+A)	Кокс	$K^{л.}_{а.}$ / $K^{л.}$	$K^{р.}_{а.}$ / $K^{р.}$	$K^{с.}_{а.}$ / $K^{с.}$	$K^{г.}_{а.}$ / $K^{г.}$	— / —
Определение элементарного состава	6	Содерж. углерода	По общим методам элемент. анализа	Углерод	$C^{л.}$	$C^{р.}$	$C^{с.}$	$C^{г.}$	$C^{о.}$
	7	» водорода		Водород	$H^{л.}$	$H^{р.}$	$H^{с.}$	$H^{г.}$	$H^{о.}$
	8	» азота	По Кьельдалю	Азот	$N^{л.}$	$N^{р.}$	$N^{с.}$	$N^{г.}$	$N^{о.}$
	9	» серы общей	По Эшка	Сера общая	$S^{л.}_{об.}$	$S^{р.}_{об.}$	$S^{с.}_{об.}$	—	—
	10	» » сульфатной	Метод не фиксирован	» сульфатн.	$S^{л.}_{а.}$	$S^{р.}_{а.}$	$S^{с.}_{а.}$	—	—
	11	Содерж. серы колчеданной	» » »	» колчедан.	$S^{л.}_{к.}$	$S^{р.}_{к.}$	$S^{с.}_{к.}$	$S^{г.}_{к.}$	—
	12	Содерж. серы органической	» » »	» органич.	$S^{л.}_{о.}$	$S^{р.}_{о.}$	$S^{с.}_{о.}$	$S^{г.}_{о.}$	—
	13	Содерж. серы горючей	Суммирование серы колчеданной и органической	» горючая	$S^{л.}_{л.}$	$S^{р.}_{л.}$	$S^{с.}_{л.}$	$S^{г.}_{л.}$	—
	14	Содерж. кислорода	По разности $100-[W+A-R_{з.}+S_{л.}]$ *3	Кислород	$O^{л.}$	$O^{р.}$	$O^{с.}$	$O^{г.}$	$O^{о.}$
	15	Теплотворная способность, Cal/*кг*	В калориметрич. бомбе с поправкой на радиацию и теплоту от запала	Теплотворная способность по бомбе	$Q^{л.}_{б.}$	$Q^{р.}_{б.}$	$Q^{с.}_{б.}$	$Q^{г.}_{б.}$	—
	16	Теплотворная способность, Cal/*кг*	В калориметрич. бомбе с поправками на теплоту образования серной и азотной к-т	Теплотворная способность (теплопроизводительность высшая)	$Q^{л.}_{в.}$	$Q^{р.}_{в.}$	$O^{с.}_{в.}$	$Q^{г.}_{в.}$	—
	17	Теплотворная способность, Cal/*кг*	То же, считая воду в парах, т. е. скидывая $5{,}85\times(9H+W)$	Теплотворная способность [теплопроизводительность низшая (полезная)]	$Q^{л.}_{н.}$	$Q^{р.}_{н.}$	$Q^{с.}_{н.}$	$Q^{г.}_{н.}$	—

*1 В соответствии с инструкциями съездов различаются также влага внешняя $W_{вн.}$ и влага гигроскопическая $W_{гигр.}$

*2 $W^{р.}$ получается отдельным определением.

*3 $R_{з.}$ — алгебраич. увеличение веса золы при прокаливании (положительное или отрицательное).

или обработкой золы смесью Эшка или сплавлением с содой. За вычетом ее из общего содержания серы получается т. н. горючая сера. Сульфидную серу определяют при обработке HCl в токе углекислоты; выделяющийся сероводород улавливается раствором уксуснокислого кадмия. Органическая сера определяется по Пауеллу и Парру.

5. Определение теплотворной способности производят методами сжигания в калориметрических бомбах в сжатом кислороде, измеряя выделяющуюся при этом теплоту и учитывая путем введения поправок влияние радиации, образования к-т, накаливания или сгорания проволоки и т. д. Можно применять бомбы Бертело, Лангбейна, Крекера; предпочтительна бомба Крекера из крупповской стали марки «V_2A» с платиновой арматурой. Поправка на радиацию должна вестись по ф-лам Щукарева или Рубина. Установление водного эквивалента калориметра производят по стандартной бензойной к-те Главной палаты мер и весов; проверка термометров обязательна. Определение теплотворной способности газа ведется или в аппарате Юнкерса, «Унион» или по методу Гейперта: спрессованные в виде брикетов 10 *г* угля нагреваются в вертикальной кварцевой трубке при 1 100°. Газ, очищенный пропуском через стеклянную вату, отводится в градуированный приемник для измерения объема, а оттуда пропускается в калориметр. По Бунте, этот способ дает ценные определения количества газа и его теплотворной способности, а также % выхода и качества кокса, близко совпадающие с практическими.

6. Определение спекаемости и вспучиваемости. При анализе на выход летучих в платиновом тигле остается

нелетучий остаток—кокс, к-рый, в зависимости от сорта угля, м. б. или порошкообразным или спекшимся до средней или значительной плотности. Нек-рые угли при этом увеличиваются в объеме — вспучиваются. Для измерения спекаемости имеется ряд методов—Компредона, Мериса и т. д. Уголь смешивают с нормальным кварцевым песком, при чем способность угля спекаться пропорциональна тому количеству песка, к-рое уголь в состоянии удержать, давая нерассыпающийся королек. Мерис при этом измеряет груз, к-рый королек способен выдержать не разрушаясь. Другие авторы рекомендуют в качестве связующих материалов антрацит, порошок кокса из того же угля, графит и т. д. Наиболее удобным признается, повидимому, метод Каттвинкеля: тонкий порошок угля смешивается с отсеянным кварцевым песком в отношении 1:6; коксовая лепешка исследуется на прочность, испытываемую грузом с увеличивающейся навеской (падающей дробью). Проба на вспучивание ведется по англ. методу Лессинга.

7. Плавкость золы, играющая большую роль как при сжигании в топках, так и в генераторном процессе, определяется чаще всего по америк. стандартному методу в газовой печи пирамидками или конусами, сформованными из золы испытуемого топлива. Огромное влияние имеет атмосфера (окислительная или восстановительная). Обычно отмечается $t°$ начала деформации, размягчения, плавкого состояния, при чем разница между началом деформации и самым плавлением для нашего топлива достигает 100—240°. В СССР принят метод Теплотехнического института — определение в мекеровской газовой печи. Аппарат Бунте-Баума дает показания с точностью до 5—8°.

8. Определение горючести, или реакционной способности, кокса ведется, по методу Копперса, пропусканием в течение 2 час. чистой углекислоты при 1 000° со скоростью 30 *см³/мин* через трубку 5—6 *мм* диаметром над 1 *г* кокса, насыпанного в эту трубку (степень измельчения 0,5—1 *мм*). Реакционная способность выражается процентным отношением окиси углерода, образовавшейся из углекислоты, к взятой CO_2, определяемым из ф-лы:

$$\frac{[CO]\cdot 100}{[CO_2]+\frac{[CO]}{2}}.$$

При полном превращении CO_2 в CO получается 200; обычно же — значительно меньше: 190—180 для бурого полукокса, 130—125 для каменноугольного полукокса, 115—60—для газового кокса и 80—30—для доменного.

9. Определение $t°$ вспышки производится сравнительно редко, гл. обр. при анализе угольной пыли. По Штейнбрехеру, применяется металлич. тигель с песком, закрытый асбестовой пластинкой, через к-рую пропущена стеклянная трубка диам. 20 *мм*; в нее насыпается угольная пыль. Через пришлифованную пробку трубки пропущены 2 термометра и трубочка, подводящая кислород (3 *л/ч*) или воздух (15 *л/ч*); газы выходят через отверстия в пробке. Нагрев песчаную баню до 80°, начинают пуск кислорода или воздуха, и при помощи электрическ. искры делают пробы на воспламенение.

10. Теплота образования кокса, т. е. количество тепла, которое требуется для превращения 1 *кг* угля при $t°$ коксования в кокс, газ, водяные и смоляные пары, определяется различными методами, например в калориметрической бомбе, по Штрахе.

11. Изменяемость углей испытывается в лаборатории путем нагрева их и пропускания кислорода или воздуха в специальных аппаратах Денштета, Эрдмана, Буриана, Парра. Скорость подъема $t°$, высота первоначальной $t°$, с к-рой начинается самонагревание, и самовозгорание в известный период времени (1 ч.) до известной степени характеризуют изменяемость углей. Стандартного метода не имеется.

12. Исследования сухой перегонки при низких $t°$ в лабораторном масштабе Бунте рекомендует производить по способу Фишера-Шрадера: навеска угля в 20—50 *г* нагревается в алюминиевой реторте до 500° с определенной скоростью; через отводящую трубку пары и газ уходят в охлаждаемый приемник, где конденсируются вода и первичная смола (деготь); газ м. б. собран в измерительном цилиндре над насыщенным раствором поваренной соли и испытан на состав и теплотворную его способность. Грефе применяет обыкновенно стеклянную реторту. В Англии пользуются приборами Кинга.

13. Определение содержания в К. у. витрена, кларена, дюрена и фюзена возможно или по внешним признакам—виду, цвету, твердости и т. д., особенно при микроскопическом исследовании, или по уд. в. (кажущемуся или истинному), определяемому по методам Тернера, Шмольке, Хейльстона.

14. Экстрагирование производится или при атмосферном давлении в аппаратах типа Сокслета или под давлением при повышенных $t°$ (напр., по Фишеру, бензолом при 275° и 55 *atm*). В качестве растворителей применяются также пиридин, анилин (Уиллер и Иллингверт), фенол (Парр), крезол, петролейный эфир, хлороформ и т. д. Комбинированием растворителей можно извлечь не только α-, β- и γ-битумены, но и отдельные углеводороды (Пикте, например, выделил 33 вида углеводородов, алкоголей и азотистых соединений).

При оценке углей как сырья для химич. промышленности — учитывают их способность к бергинизации, выход метанола, количество водорода при газификации, могущего быть использованным для производства синтетического аммиака, и т. д.

Лит.: «Товароведение», под редакцией Петрова П. и Церевитинова Ф., т. 2, стр. 63—65, М.—Л., 1927; Шахно А. П. и Рапопорт И. Б., «Изв. Теплотехнич. ин-та», М., 1927, 9/32; О топливном оборудовании для приготовления проб и лабораторных испытаний, там же, 1928, *1/34*; Пацуков Н. Г., Нефедьев О. В., Уваров В. И., там же, 1927, *10/33*, стр. 34—50; Домонтович Б. Н., там же, 1929, *1/44*; Шахно А. П., Топливо, «Товароведение», под ред. П. Петрова и Ф. Церевитинова, М.—Л., 1926; Bailey E., «Industrial and. Engineering Chemistry», New York, 1909, p. 168—179; «Braunkohle», Halle a/S., 1927, *40, 41, 51, 52*; Strache u. Grau, «Brennstoff-Chemie», Essen, 1921, p. 97; ibid., 1921, p. 155; ibid., 1922, p. 83; «Gas- u. Wasserfach», Mch., 1921, *6*.

А. Шахно.

КАРТА ДОНЕЦКОГО БАССЕЙНА
С УКАЗАНИЕМ РАЙОНОВ ДОБЫЧИ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ УГЛЕЙ
1925—1926 г.г.

МАСШТАБ 10 5 10 20 30 40 50 60 70 Км

УСЛОВНЫЕ ЗНАКИ:

- Железные дороги и ветки общего пользования
- Границы Союзных Республик
- Границы Округов
- Границы распространения каменноугольных отложений
- Границы районов добычи различных сортов углей

РАЙОНЫ ДОБЫЧИ

- АНТРАЦИТА
- УГЛЯ МАР. Д
- Г
- ПЖ
- К
- ПС
- Т

I
II
III

А Б В Г

Т. Э.

38° к востоку от Гринича

Тип.-Лит. В.Т. У. им тов. Дунаева Москва

КАМЕННЫЙ УГОЛЬ. Сухая перегонка К. у., процесс разложения К. у., происходящий под влиянием высокой температуры в отсутствии кислорода. В современной промышленности применяются два способа сухой перегонки камен. угля: один ведется при высоких $t°$ (900° и выше) и называется коксованием или газованием (см. *Коксование*); другой—при низких $t°$ (не выше 700°) и называется полукоксованием. Твердый остаток называется соответственно: в первом случае коксом, во втором — полукоксом. В результате изменений, происходящих в К. у. при повышенной $t°$, получаются газообразные, жидкие и твердые продукты распада, к-рые имеют состав и характер, отличный от веществ, первоначально содержавшихся в К. у.

Процесс пиролиза, или термолиза, К. у. подвергался неоднократно изучению как в условиях промышленных установок, так и в лабораториях. Из лабораторных исследований особого внимания заслуживают работы Берджеса (Burgess) и Уилера (R. V. Wheeler), к-рые изучали газообразные продукты распада К. у., образующиеся при $t°$ до 400°, с интервалами в 100 и 50°, при чем в каждом опыте К. у. выдерживался при определенной $t°$ до тех пор, пока не прекращалось выделение газов; последние откачивались из реторты ртутным насосом. Полученные ими результаты приведены в табл. 1.

Табл. 1.—Продукты сухой перегонки каменного угля при низких $t°$ (до 400°).

$t°$	До 100°	100—200°	200—300°	300—350°	350—400°
Объем газа в $см^3$ на 100 $г$ кам. угля	34	65,5	58,5	985	4 000
Состав газа в %					
H_2S . . .	—	—	35,35	1,70	0,7
CO_2 . . .	6,7	8,85		20,95	2,85
CO . . .	1,4	2,66	10,50	3,40	3,40
C_2H_4 . . .	0,85	0,85	1,05	1,90	2,35
C_nH_{2n} . .	1,30	2,90	18,85	17,90	6,15
C_nH_{2n+2} .	84,55	81,00	18,85	37,22	46,55
H_2	1,90	2,75	13,35	15,35	36,90
O_2	1,65	0,7	C_2H_2—0,55	C_2H_2—0,15	C_2H_2—следы
	C_nH_{2n+2} включают гомологи до C_3H_8	C_nH_{2n+2} включительно до C_4H_{10}	H_2S появляется при 270°; C_4H_{10} изолирован	Выделение H_2S при 300° почти прекращается; $t°$ *крит.* лежит ок. 350°	
	Окклюдированные газы до 200°		Выделение H_2O начинается при 200°, смолы—при 310°		

Те же авторы подвергали К. у. действию $t°$ до 1 000°; уголь имел состав (в % по весу): 80,5% C, 5,45% H, 1,42% N, 2,93% S и 9,7% O. Результаты сведены в табл. 2.

На основании приведенных результатов были сделаны следующие выводы. 1) К. у. содержит вещества двух типов: одни—малоустойчивые, разлагающиеся легко с выделением углеводородов, и другие—разлагающиеся труднее, с выделением H_2 (разложение 2-го типа происходит при 700° и выше); 2) различия в составе продуктов сухой перегонки К. у. обусловливаются, повидимому, количественным соотношением указанных двух типов веществ; антрацит, напр., содержит минимальное количество неустойчивых соединений. Состав газов, выделяющихся из К. у. при различных $t°$, изучали и другие исследователи, как Портер и Овиц; результаты, полученные ими, в основных чертах совпадают с результатами, приведенными выше. Момент появления смолы при сухой перегонке К. у. не всегда лежит при одной и той же $t°$; последняя зависит от состава К. у. Чем больше летучих веществ содержит уголь, тем ниже $t°$ появления смолы.

Табл. 2.—Продукты сухой перегонки каменного угля при высоких $t°$ (500÷1 000°).

$t°$	500°	600°	700°	800°	900°	1 000°
Объем газа в $см^3$ на 1 $г$ угля	22	86	110	200	250	281
Состав газа в %						
CO	4,5	8,2	8,2	12,5	14,4	16,72
CH_4	45,5	41,7	39,1	29,0	18,8	18,83
C_2H_6	36,4	22,1	16,3	6,5	6,8	3,84
H_2	13,6	29,0	36,4	52,0	60,0	60,61

Если газообразные продукты сухой перегонки К. у. подвергались детальному исследованию, то нельзя сказать того же относительно смолы, получаемой при низких $t°$ перегонки. Недостаточная изученность смолы объясняется сложностью ее состава и трудностью выделения отдельных индивидуальных веществ. Смола, образующаяся при сухой перегонке К. у., меняет свой состав в зависимости от того, получена ли она при обыкновенном давлении или в вакууме. Пикте и Бувье, нагревая К. у. в вакууме при 430°, получили смолу, состоявшую почти целиком из углеводородов и небольшого количества оснований (фенолы отсутствовали); низкокипящие фракции углеводородов были сходны с нефтяными, высококипящие имели запах терпенов и ментола. Джонс и Уилер получили из К. у. в вакууме смолу, которую подвергли перегонке до 300°. Дистиллат содержал: этиленовые углеводороды (40—45%), нафтены и парафины (40%), фенолы—главным обр. крезолы и ксиленолы (12%), ароматическ. углеводороды ряда нафталина, очень немного парафинов и следы пиридиновых оснований. Состав и свойства продуктов сухой перегонки К. у., получающихся при низкой $t°$, сильно зависят от состава исходного угля. Фишер приводит следующие данные, харак-

теризующие выход и состав смолы из различных углей (табл. 3).

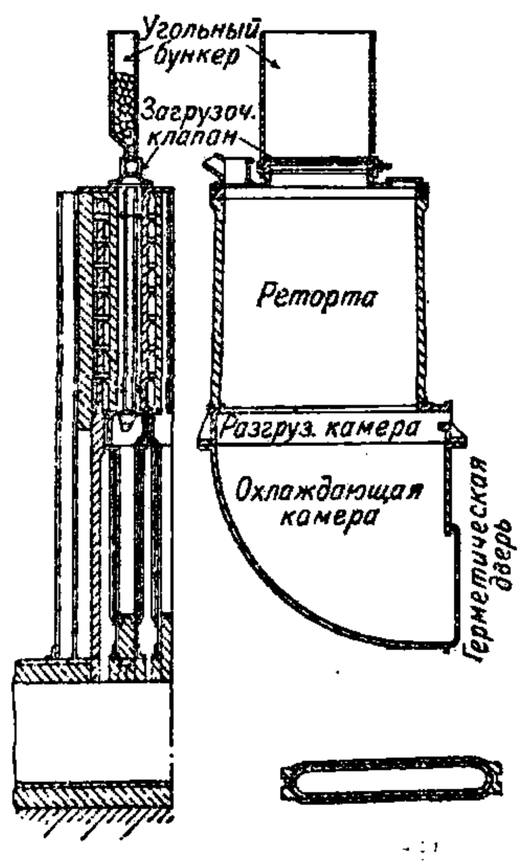
Табл. 3. — Выход и состав смолы из различных каменных углей.

Сорт угля \ Выход в %	Смолы	Твердых парафинов	Фенолов
Тощий уголь .	1,5	0	0
Жирный » .	3,5	1—2	15—20
Газовый » .	8,0	1—2	30
Газовый пламенный уголь .	12,0	1—2	45
Бурый уголь, саксонский . .	24,0	29	15
Лигнит	2,7	2,0	57
Кеннельский уголь	29,0	—	5,0—10,0

Караваев и Зеличенок при перегонке донецкого угля получили смолу следующего характера: $D_{15}^{25} = 0{,}9962$, фенолов—23,4%, карбоновых кислот—0,88%, оснований—3,56%, нейтральных масел—68,60%. Характерным для смолы, полученной при полукоксовании, является отсутствие в ней бензола, фенола и нафталина, что резко отличает ее от смолы коксовой. Водная часть перегона, в зависимости от $t°$ перегонки, имеет или кислый или щелочной характер. До 400° получается кислая вода, далее образующийся NH_3 нейтрализует кислоты, и реакция становится щелочной. Водная часть исследована еще меньше, чем смола. Твердый остаток — полукокс—в зависимости от свойств угля получается или спекшийся или порошкообразный.

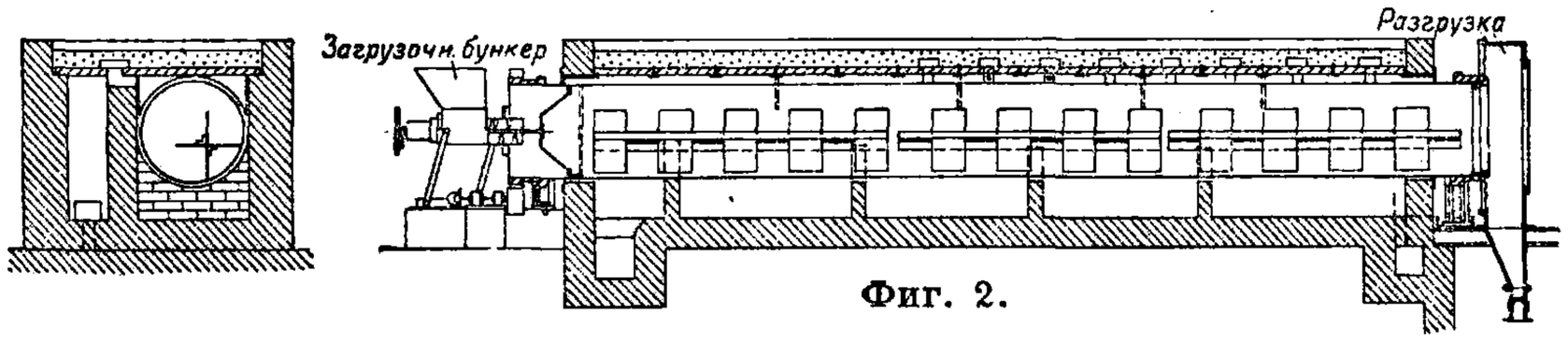
Процесс полукоксования с химич. точки зрения разъяснен еще далеко не достаточно: химич. природа составных частей К. у. известна, в лучшем случае, на 2—3%, поэтому говорить о процессах образования отдельных веществ, получающихся при его распаде, можно только в общих чертах. Известно, напр., что фенолы в смоле получаются гл. обр. за счет разложения гуминовых веществ К. у.; углеводороды получаются за счет т. н. смолистой части угля—его битумов. Эти положения являются основными. Поскольку природа и структура гуминовых веществ и битумов угля по большей части неизвестна, постольку и процесс образования даже крупных классов соединений остается невыясненным.

Из физич. явлений, происходящих при коксовании К. у., заслуживает особого внимания переход угля через пластич. состояние. К. у. при $t°$ между 350 и 500° претерпевает существенное изменение в своей физич. структуре, становясь на нек-рое время пластичным. Битумы, находящиеся в К. у., при этой $t°$ превращаются в полужидкие вещества, обволакивают отдельные твердые зерна и вызывают спекание угля. В зависимости от количества и свойств битумов полукокс получается либо спекшийся, с ячеистой структурой, либо же порошкообразный. Способность давать пластич. массу у нек-рых К. у. выражена столь сильно, что она заставляет вырабатывать соответствующую аппаратуру для полукоксования, т. к. во вращающихся ретортах полукокс иногда спекается в очень крупные глыбы, извлечение к-рых из реторт затруднительно. Многообразие систем реторт, применяемых для полукоксования, отчасти объясняется неодинаковым поведением различных К. у. при сухой перегонке. Несмотря на то, что полукоксовая промышленность развилась лишь в последние годы, число отдельных систем, предложенных и осуществленных, здесь во много раз больше, чем в коксовой промышленности, насчитывающей уже многие десятки лет своего существования.

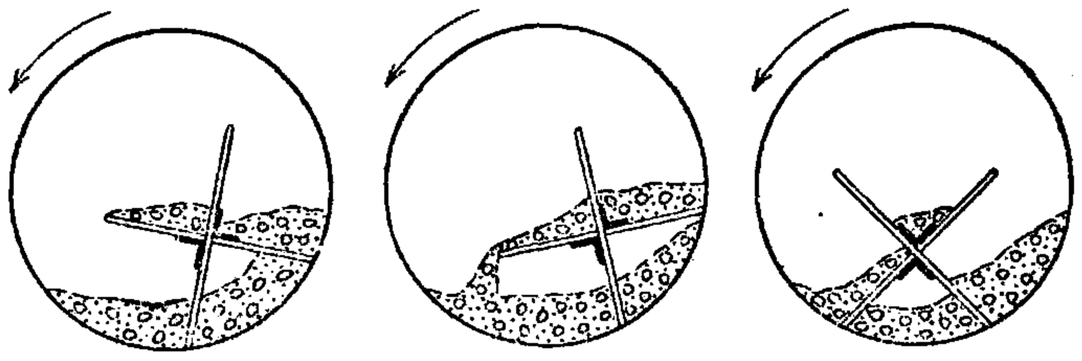


Фиг. 1.

Печи для сухой перегонки К. у. при низкой $t°$ можно подразделить на три основных типа: 1) печи с внешним обогревом через стенки реторт, 2) печи с непосредственным внутренним обогревом горячими нейтральными газами и 3) печи с металлич. ваннами. Печи 1-го и 2-го типов м. б. вертикальными или горизонтальными, неподвижными или вращающимися. Вертикальные печи неподвижного типа существуют нескольких конструкций; они бывают щелевидные и круглые. На фиг. 1 изображена реторта для полукоксования, установленная на з-де Low Temperature Carbonisation Co. (Англия). Реторта сделана из огнеупорного кирпича и имеет форму щели с размерами: ширина 28 *см*, высота 290 *см*, большая ось вверху 220 *см*, внизу 230 *см*. Разовая загрузка составляет около 700 *кг*; процесс полукоксования заканчивается в течение 8 часов. Полукокс, который получается из таких реторт, содержит от 7 до 11% летучих веществ. Примером вращающихся горизонтальных

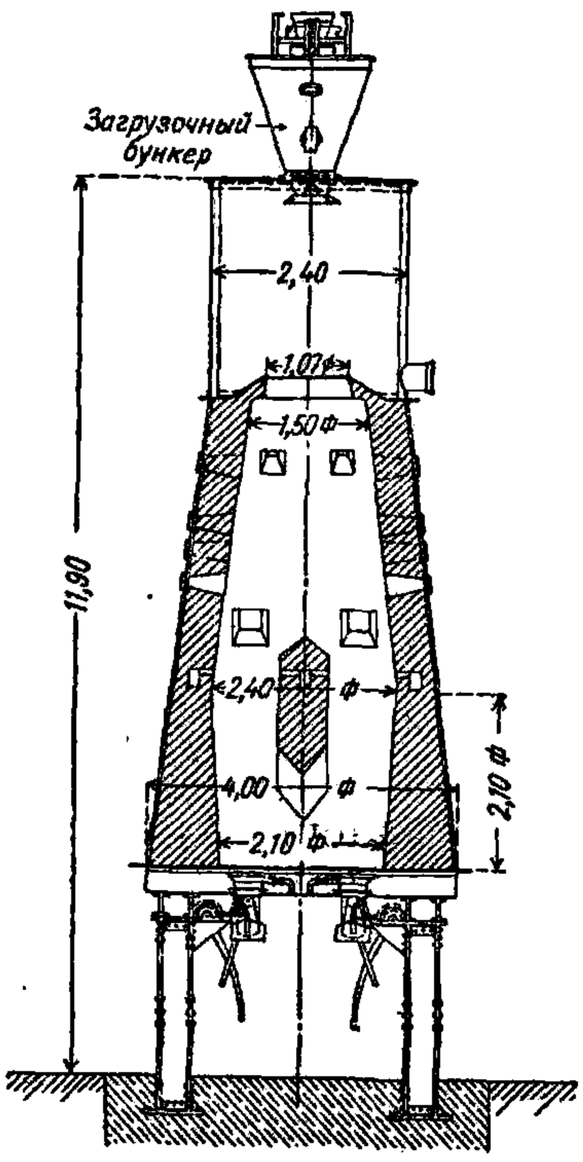


Фиг. 2.


Фиг. 3.

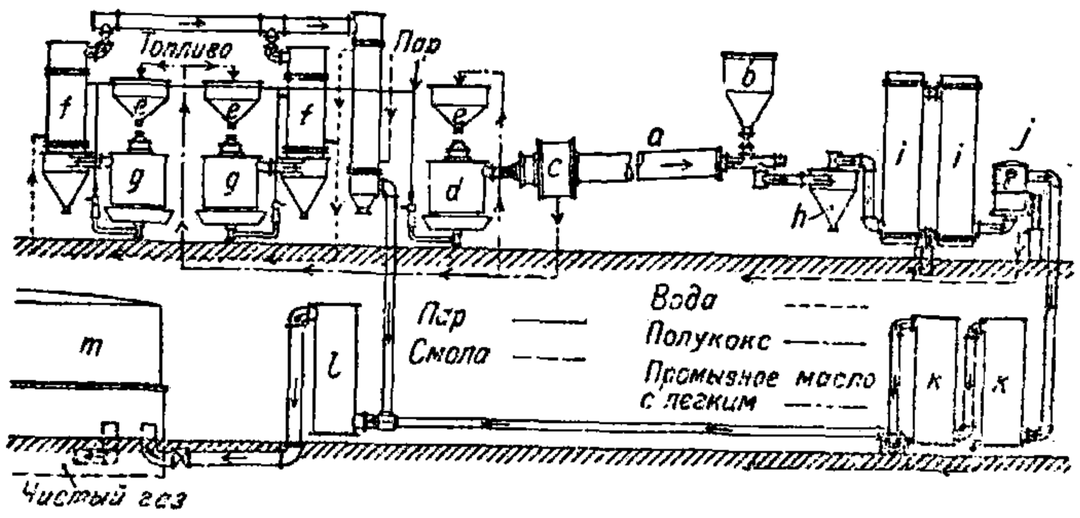
реторт с внешним обогревом может служить реторта «Fusion» (фиг. 2); она имеет цилиндрическую форму и снабжена внутри свободно поставленными крестообразными насадками, к-рые при вращении реторты пересыпают уголь, предупреждая т. о. спекание его в крупные куски. Фиг. 3 дает представление о работе крестовидных насадок. Обогрев этой реторты м. б. сделан не только внешним,

но и внутренним, если пропускать нагретые газы прямо через цилиндр. Типичным представителем печей с внутренним обогревом



Фиг. 4.

является вертикальная печь сист. Маклорена (фиг. 4). Полукоксование происходит в ней за счет частичного сгорания угля в самой печи, куда через боковые отверстия подводится воздух с паром. Количество вдуваемого воздуха и пара таково, чтобы поддерживать $t°$ около 700°. Процесс полукоксования в этой реторте заканчивается через 20 час., но отгрузка полукокса производится через каждый час в количестве около 550 *кг*; т. о., данную систему можно рассматривать как непрерывно действующую печь. Газы из печи поступают в конденсационную установку, где отделяется смола и улавливается аммиак, а остальной газ используется для отопления или для питания силовой станции. Сист. Нильсена осуществляет полукоксование в струе инертного газа; схема этой печи дана на фиг. 5. Горячий генераторный газ из генератора *d* входит в реторту *a*, питаемую углем из бункера *b*, нагревает движущийся навстречу уголь и уносит газообразные и жидкие продукты распада последнего. Сначала газы поступают в сепаратор *h* типа «Циклон», где осаждается часть

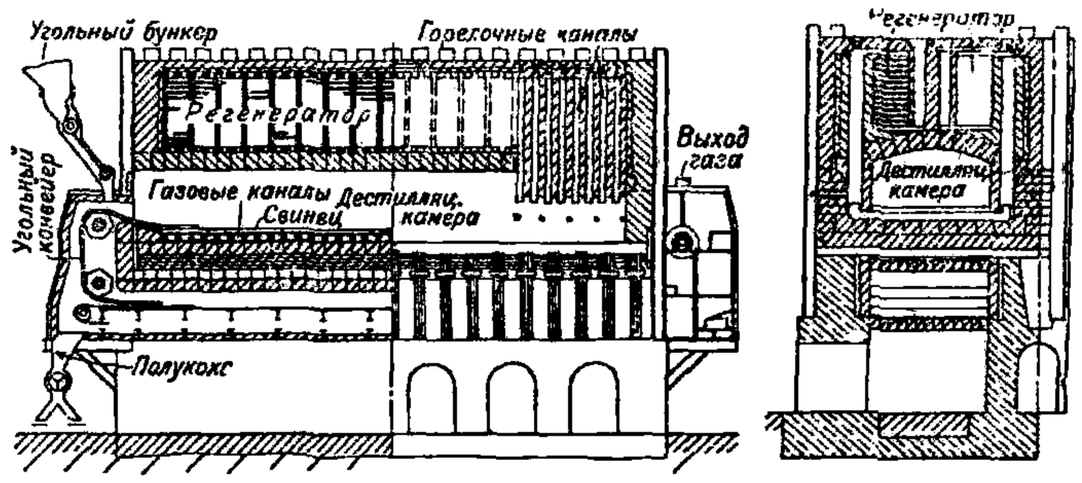


Фиг. 5.

безводной смолы, затем проходят через конденсаторы *i*, где газы окончательно охлаждаются до 20° и поступают в смолоотделитель Пелуза *j*. Для извлечения легких масел газ промывают в скрубберах *kk*, далее он промывается в *l* водой для извлечения из него аммиака и, наконец, направляется в газгольдер *m*. Дополнительные генераторы *gg* служат для получения газа, к-рым разбавляют газ из реторты; паровые котлы *f* служат для получения пара под генераторы и охлаждения газа. Выходящий из реторты *a* через *c* полукокс идет для питания генераторов *d* и *g* в соответственные бункеры *e*. Очень интересна конструкция реторты Пирон-Каракристи, в к-рой уголь на железном конвейере движется в ванне из расплавленного свинца (фиг. 6). Такая система позволяет поддерживать любую $t°$ и регулировать ее в широких пределах.

Продукты сухой перегонки К. у., получаемые в промышленных установках, отличаются как в количественном, так и в качественном отношении от продуктов, полученных в лабораторных условиях. В табл. 4 приведены выходы различных продуктов из К. у. разного состава, по данным испытательной топливной станции в Англии. Отдельные фракции смолы при исследовании их показали состав, представлен. в табл. 5.

Газ, получаемый при полукоксовании, отличается от обычного каменноугольного или светильного газа бо́льшим уд. весом и более высокой теплотворной способностью. Если



Фиг. 6.

рассматривать этот газ как энергетич. топливо, то с этой точки зрения он не оставляет желать лучшего, но использование его в этом направлении нельзя считать рациональным. Хотя до сих пор полукоксовальный газ утилизируется гл. обр. в качестве топлива, но по своему составу он может служить прекрасным сырьем для производства ряда важных химич. продуктов. Непредельные углеводороды, содержание к-рых в газе может доходить до 11%, в главной массе состоят из олефинов и, следовательно, м. б. использованы для получения соответствующих спиртов. Выделение непредельных углеводородов не представляет особых затруднений; оно м. б. достигнуто либо химическим путем, либо охлаждением и компримированием газа. После выделения олефинов в газе остается еще много насыщенных углеводородов, к-рые могли бы найти применение для замены ацетилена при автогенной сварке металлов. Отыскание правильных путей использования газа может сыграть решающую роль в развитии промышленности полукоксования, которая имеет для этого все предпосылки, за исключением экономич. фактора, часто складывающегося не в ее пользу. Смола, как видно из приведенных анализов, содержит много кислых веществ, состоящих из высших фенолов, к-рые не находят в настоящее время широкого применения; основания этой смолы не содержат пиридина и его производных, и поэтому область их применения также сильно ограничена; наконец, нейтральные масла содержат довольно много непредельных соединений, которые обычно удаляют очисткой серной кислотой. Поэтому смола, которая является одним из главных продуктов полукоксования, поставлена в тяжелые условия конкуренции с дешевыми и чистыми нефтяными продуктами; проблема ее переработки также ждет своего разрешения.

Табл. 4.—Выходы и свойства различных продуктов сухой перегонки каменного угля.

№ каменного угля	1	2	3	4	5	6	7
Анализы углей (состав в %)							
Влага	7,2	3,5	2,17	6,37	0,95	9,94	4,84
Зола (на сухой уголь)	11,21	5,28	8,47	4,24	5,26	13,12	9,15
Летучие продукты	32,15	33,47	30,39	33,40	31,43	33,04	30,26
Углерод	72,24	78,57	76,77	77,25	80,94	64,73	73,57
Водород	4,36	4,62	4,55	4,68	5,08	4,91	4,84
Сера	2,78	1,35	1,20	1,33	1,47	2,40	1,96
Азот	1,51	1,45	1,48	1,48	1,64	1,31	1,49
Кислород	7,90	8,73	7,53	11,02	5,61	13,53	8,99
t° процесса	580°	550°	600°	600°	600°	600°	600°
Выходы продуктов на 1 *m* угля, в %							
Полукокс	68,5	71,70	77,12	69,70	77,88	68,50	73,00
Смола	7,03	7,55	6,33	7,83	7,45	5,52	6,98
Водный дистиллат	14,37	8,56	7,34	11,88	4,06	16,93	11,08
Газ	9,18	9,27	8,36	9,91	9,47	8,60	8,08
Потери	6,92	2,92	0,85	0,68	1,14	0,45	0,86
Свойства продуктов							
Полукокс: Содержание летучих веществ в полукоксе в %	10,06	11,19	8,35	11,81	9,29	12,39	8,83
Газ: Уд. в. газа (воздух=1)	0,81	0,75	0,8	0,74	0,81	0,87	0,78
Газ: Теплотворная способность газа Cal/м³	8 000	8 900	9 170	8 060	9 700	8 300	9 270
Смолы: Уд. в. смолы при 15°	1,03	1,03	1,033	1,031	1,036	1,063	1,057
Смолы: Перегоняется при *t*° до 170°	3,3	13,2	9,1	7,4	10,6	7,6	8,6
Смолы: » » от 170 до 230°	19,5	15,1	19,4	22,6	16,1	18,1	16,3
Смолы: » » » 230 » 270°	15,3	10,7	12,8	12,9	13,9	13,8	13,5
Смолы: » » » 270 » 310°	—	—	11,8	—	12,3	18,1	15,0
Смолы: » » » 270 » 350°	25,0	22.6	—	9,0	—	—	—
Смолы: Пек	30,1	30,2	46,6	42,4	45,1	41,6	45,7
Смолы: Потери	6,8	8,2	0,3	5,7	2,0	0,8	0,9
Водн. дистиллат: Содержание NH_3 в водном дистиллате	—	0,84	0,45	0,47	0,64	0,74	0,52
Состав газа							
CO_2+H_2S	—	—	7,10	—	5,4	11,05	7,20
C_nH_{2n+2}	—	—	52,40	—	49,80	41,80	48,30
Углеводороды непредельные	—	—	8,55	—	11,50	9,45	9,55
O_2	—	—	1,30	—	1,8	1,75	1,95
CO	—	—	5,40	—	5,0	7,05	7,05
H_2	—	—	16,00	—	15,70	17,60	15,00
N_2	—	—	9,25	—	10,80	11,30	10,95

Последний продукт—полукокс—по своим свойствам является превосходным топливом. Главное отличие его от К. у. заключается в том, что он сгорает почти без дыма, и, следовательно, потери от химич. неполноты сгорания здесь снижаются до минимума. Какое значение может иметь этот фактор в хозяйстве отдельных стран, видно из того, что по подсчетам, сделанным для Англии, приблизительно 1% всего сжигаемого топлива уносится в атмосферу в виде дыма. Поскольку полукоксу приходится конкурировать с К. у., цена его не может значительно превышать цену угля (допустимая разница в ценах должна определяться преимуществами полукокса с точки зрения топливной экономики). Принимая во внимание, что полукокс по выходу составляет главный продукт и рыночная стоимость его д. б. близка к стоимости К. у.,—для промышленности полукоксования необходимо изыскать такие пути использования газа и смолы, к-рые бы не только окупали расходы по производству, но и позволяли снизить отпускную цену полукокса до цены К. у. При удачном разрешении этой проблемы все угли, богатые летучими веществами, будут подвергаться полукоксованию прежде, чем поступать в топку печей.

Несмотря на конкуренцию и трудные условия, полукоксование медленно завоевывает

Табл. 5.—Состав отдельных фракций смолы (в %).

Фракции	№ угля	Кислых веществ	Оснований	Нейтральных масел
До 170°	3	4,0	7,0	89,0
	5	2,5	11,5	86,0
	6	7,3	9,7	83,0
	7	4,3	6,8	88,9
170—230°	3	43,0	3,0	54,0
	5	43,5	2,6	53,9
	6	52,0	4,0	44,0
	7	46,0	3,5	50,5
230—270°	3	40,5	5,5	54,0
	5	39,0	5,5	55,5
	6	50,1	5,4	44,5
	7	44,0	5,0	51,0
270—310°	3	26,0	6,0	68,0
	5	26,5	5,5	68,0
	6	36,0	6.0	58,0
	7	30,5	6,5	63,0

себе место наряду с другими отраслями промышленности. Районы, где имеется много газовых и длиннопламенных К. у. и мало коксовых, особенно подходящи для развития полукоксования, т. к. полукокс, будучи примешан к сырому углю, дает такую смесь, к-рая позволяет получать металлургич. кокс. Установки, использующие процесс полукоксования в этом направлении, имеются на С. Франции и хорошо зарекомендовали себя как с экономической, так и с технической стороны. В СССР полукоксование может развиваться главным обр. в Сибири, где отсутствует нефть и имеются залежи К. у. подходящего типа, дающих большой выход смолы и высокого качества газ и полукокс.

Лит.: Булгаков Г. И., Коксование и полукоксование в Германии, «Уголь и железо», Харьков, 1927; «Brennstoff-Chemie», Essen; «Fuel in Science a. Practice», L.; «Journal of the Fuel Society of Japan», Tokyo; Roberts J., Coal Carbonization, L., 1927; Lewes V. W., The Carbonization of Coal, 2 ed., London, 1918; Bone W. A., Coal a. its Scientific Uses, London, 1921.

Н. Караваев.

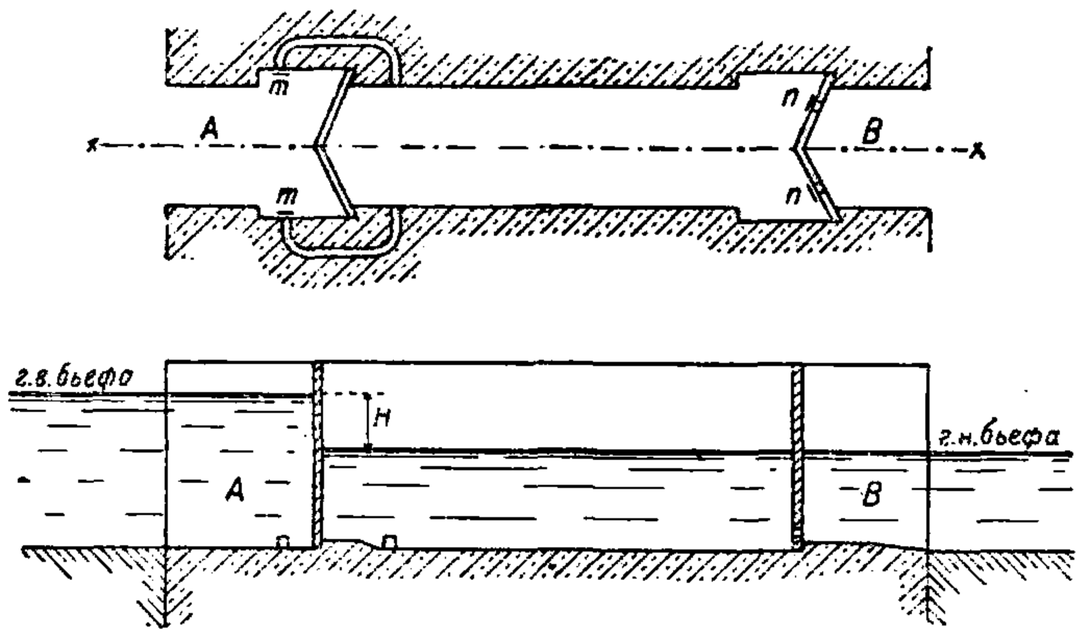
КАМЕРА ФОТОГРАФИЧЕСКАЯ, аппарат для получения фотографич. изображений, б. ч. негативных (см. *Фотография*). В принципе устройство К. ф. очень просто: она может состоять из вычерненной внутри коробки, в передней стенке которой сделано отверстие, впускающее свет, а в задней помещается светочувствительный материал. Такие К. ф. в нек-рых случаях применяются в художественной фотографии, но для обычных целей они неудобны. Для увеличения яркости изображения на матовом стекле в переднюю доску вставляют *объектив* (см.)—простую или сложную стеклянную линзу; светочувствительный материал помещают в кассету, к-рая м. б. сменена на свету или заменена матовым стеклом; расстояние между передней и задней стенкой делается переменным (посредством складчатого меха), для резкой наводки на фокус близких и отдаленных предметов; иногда в К. ф. помещается затвор, позволяющий точно регулировать экспозицию, и видоискатель для определения того, какая часть видимого пространства попадет на пластинку.

В настоящее время известно громадное число видов К. ф. Наиболее распространенные м. б. систематизированы по следующей схеме (А. М. Донде). I. К. ф. с длинным складчатым мехом: а) с подвижным матовым стеклом—дорожные, англ. типа; б) с подвижной объективной доской—фольдинг-камеры, или складные; в) с подвижными матовым стеклом и объективной доской — крупные репродукционные и павильонные камеры, предназначенные для серьезной работы по репродукции и для портретов в ателье. К. ф. типа II, клапп-камеры, с коротким нескладчатым мехом, допускают более точную работу, чем камеры типа Iб, но значительно более громоздки. Обычно они устраиваются со шторными затворами и применяются для быстрых спортивных съемок, а также туристами. В последнее время эти камеры вытесняются камерами других типов. К. ф. типа III—нескладывающиеся: а) с наводкой на фокус выдвижением объектива и б) без наводки на фокус; они предназначаются для снимков малых размеров и для малых фокусных расстояний; в этом случае можно обойтись постоянным фокусом. При бо́льших фокусных расстояниях необходима наводка, которая осуществляется перемещением объектива, в оправе, снабженной винтовой нарезкой. К камерам этого типа принадлежат как самые простые и дешевые К. ф. («гном», «брауни» и др.), так и весьма дорогие и совершенные [напр. стереоскопич. камеры *вераскоп* (см.), полископ и др.], малые камеры с сверхсветосильной оптикой—«эрманокс» и др. К. ф. типа IV — зеркальные — отличаются тем, что позволяют видеть изображение на матовом стекле (поставленном под углом в 90° к объективу) до самого момента съемки. В момент съемки, одновременно с открыванием затвора, зеркало особым приспособлением откидывается вверх и пропускает лучи от объектива к светочувствительному материалу. Это позволяет применять камеры этого типа для самых быстрых спортивных и репортажных съемок. Обычно зеркальные камеры снабжаются шторным затвором и делаются или нескладывающимися (в виде коробки) или складными.

В последнее время получили большое распространение весьма совершенные маленькие К. ф., снимающие на кинопленке до 36 маленьких снимков, выдерживающих большое увеличение. См. *Фотографические аппараты*.

А. Рабинович.

КАМЕРНЫЙ ШЛЮЗ, сооружение между двумя бьефами (участками) судоходной системы (реки, каналы, моря и т. п.), лежащими на различной высоте, служащее для подъема и опускания подвижного состава из одного бьефа в другой. К. ш. устраивается или непосредственно у плотины реки или в особых каналах, называемых обходными, или деривационными. В первом случае К. ш. состоит из двух шлюзовых частей или полушлюзов в виде ворот *A* и *B* (фиг.), отстоящих друг от



друга на таком расстоянии, что между ними свободно помещается подвижной состав, и соединяющих ворота двух боковых стенок. Пространство, огороженное боковыми стенками между шлюзовыми частями, носит название камеры.

Шлюзовые части называются головами шлюза; голова шлюза, примыкающая к верхнему бьефу, называется верхней, примыкающая к нижнему—нижней. Шлюзовые части снабжаются воротами—сплошными или двустворчатыми. Камера сообщается с верхним и нижним бьефом или посредством водопроводных каналов со щитами *m* или посредством окон в воротах со щитами *n*.

Для проводки подвижного состава из нижнего бьефа в верхний закрывают щиты m и верхние ворота, к-рые испытывают давление воды, соответствующее разности горизонтов H. Нижние ворота, подверженные одинаковому давлению с обеих сторон, свободно открываются, после чего через них вводят в К. ш. подвижной состав.

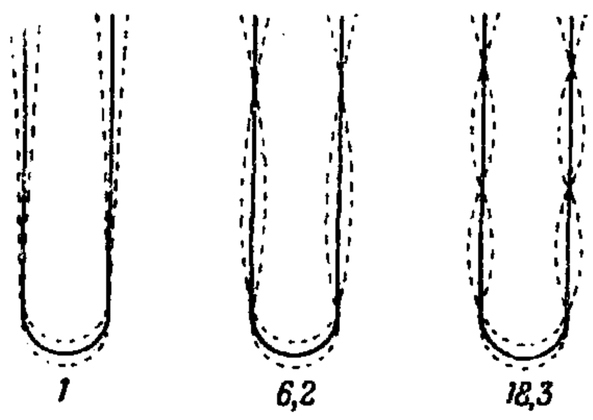
Для вывода подвижного состава из камеры в верхний бьеф закрывают нижние ворота и щиты в них n, открывают щиты m и наполняют камеру водой до горизонта верхнего бьефа, после чего открывают верхние ворота и выводят подвижной состав из камеры.

Для проведения подвижного состава из верхнего бьефа в нижний при открытых верхних воротах, вводят в камеру подвижной состав, закрывают верхние ворота и щиты m, после чего, открыв щиты n, спускают горизонт воды в камере до уровня нижнего бьефа, открывают нижние ворота и выводят судно в нижний бьеф.

При проведении подвижного состава из верхнего бьефа при закрытых верхних воротах или из нижнего в верхний при закрытых нижних воротах, уравнивают в камере горизонт воды с тем бьефом, из к-рого идет судно, открывают ворота, вводят судно в камеру и выводят после того, как сравняют горизонт воды в камере с горизонтом того бьефа, в к-рый судно вводится. Типы, расчет и детали шлюзов см. *Шлюзы*.

Лит.: Зброжек Ф. Г., Курс внутренних водяных сообщений, 3 изд., П., 1915; Акулов К. А. и Козлов Г. А., Курс внутренних водных сообщений, т. 2—Искусственные водные пути, Москва—Ленинград, 1928. **А. Калабугин.**

КАМЕРТОН, U-образный изогнутый металлический стержень, способный совершать поперечные колебания, при которых ветви его сближаются и расходятся; при этом на них создается четное число узловых точек (не менее двух). Колебания с двумя узлами дают основной тон, с бо́льшим числом узлов—его негармонич. обертоны (см. фиг.). Основное число колебаний определяется эмпирической формулой (Меркадье):



$$N = k \cdot \frac{d}{(l+\lambda)^2},$$

где d—толщина ветвей в плоскости колебаний в *мм*, l—длина ветвей от узловых точек в *мм*, $k = 818\,270$, $\lambda = 3{,}8$ *мм*. Отношение чисел колебаний основного тона и обертонов (по Ауербаху) таково: 1:6, 2:18, 3:35:58. Кроме того, камертон создает гармоническ. обертоны (октаву), которые возникают не в К., а в окружающем воздухе и обусловлены несимметричными колебаниями его частиц (Линдиг). К. могут давать от 16 до 90 000 колебаний в секунду; интенсивность обертонов сравнительно с основным тоном незначительна: затухание К. мало, и колебания его очень постоянны по частоте ($t°$-ный коэфф.—0,0001 на 1°). Поэтому К. применяются в музыке и в акустике как источники звуков постоянной высоты и как источники чистых тонов. К., приводимый в колебание электромагнитом, помещенным между его ветвями,—при чем ток электромагнита размыкается колебаниями ветвей К.,—применяют в качестве прерывателя с постоянным числом перерывов или как приспособление для записи промежутков времени. Для увеличения звуковой отдачи К. помещают на резонаторном ящике.

Лит.: Хвольсон О. Д., Курс физики, т. 2, Берлин, 1923; Handbuch d. Physik, hrsg. v. H. Geiger u. K. Scheel, B. 8, B., 1927. **П. Беликов.**

КАМНЕДРОБИЛКИ, машины для дробления и измельчения различных горных пород и строительных материалов. К. разделяются на два типа: щековые и конические (центробежные). Ответственными частями щековой К., к-рыми собственно производится дробление, являются установленные под острым углом плиты (щеки), в промежуток между к-рыми забрасывается предназначенный для дробления материал. См. *Дезинтегратор*, *Дробилки* и *Дробление*.

КАМНЕРЕЗНОЕ ДЕЛО, обработка поделочных и цветных камней для изготовления художественных изделий, украшений и мелких предметов повседневного и технического употребления.

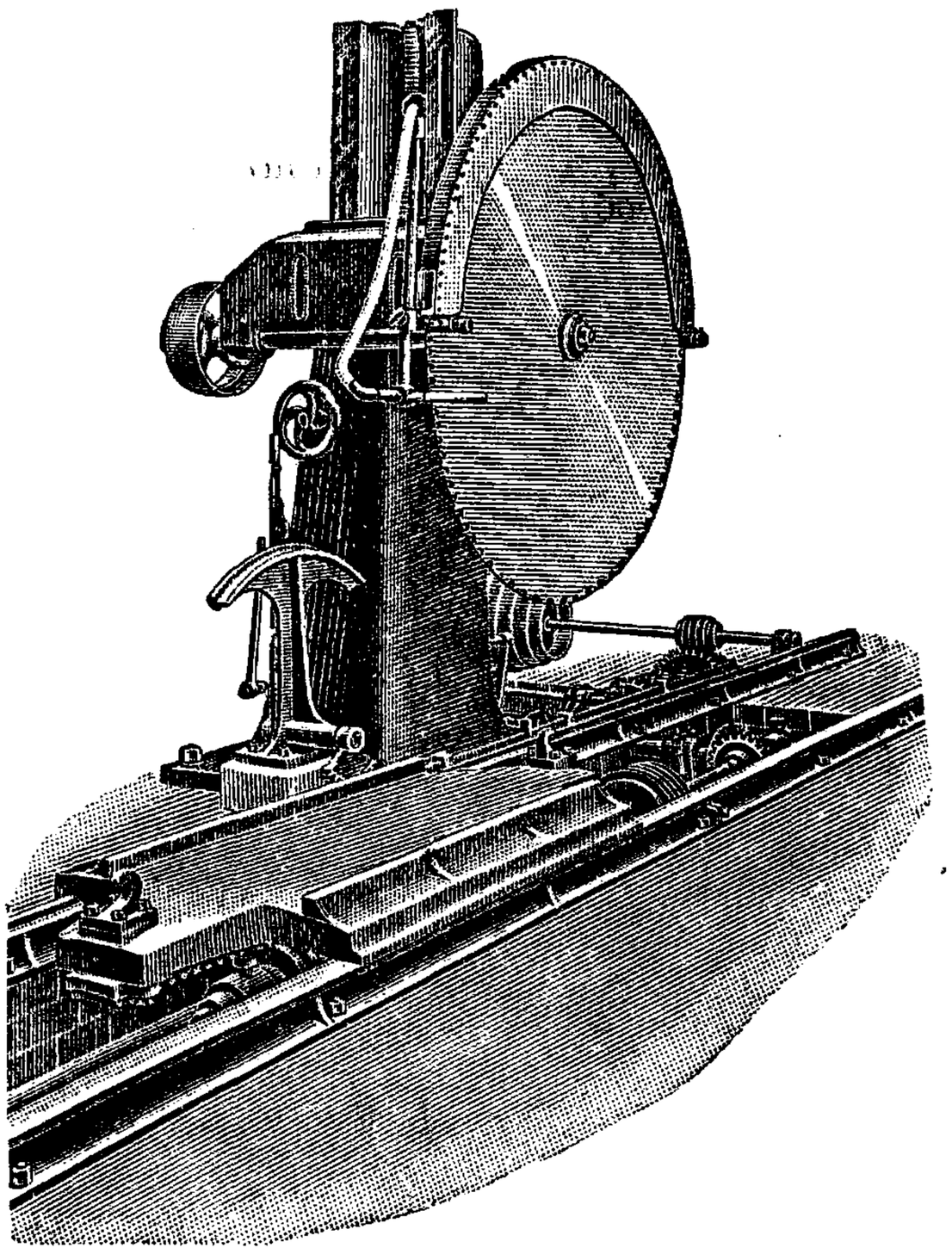
Материал для камнерезных работ. Поделочные и цветные камни, в соответствии с типом их обработки, м. б. разделены на две основные группы: 1) мягкие камни, напр. алебастр, агальматолит, сепиолит, тальк, гагат, янтарь, и 2) твердые камни, куда относятся: яшма, кварц, халцедон, родопит, лабрадор, лазурит, нефрит и т. п. Мягкий камень свободно режется обычными металлич. инструментами, тогда как для обработки твердых пород требуется б. ч. применение вспомогательных *абразионных материалов* (см.). Зернистые породы средней и высокой твердости (мрамор, гранит) допускают в известных случаях применение инструментов ударно-скалывающего типа.

Выбор материала является весьма ответственной задачей в К. д. Помимо структурных и технич. свойств камня, важных с точки зрения назначения изготовляемых предметов (твердость, прозрачность, кристаллооптич. свойства, однородность и пр.) в большинстве случаев является также существенным и ряд требований художественного порядка, в особенности когда мастер имеет дело с пестрыми и узорчатыми породами. Здесь приходится определять те плоскости разреза, по которым камень д. б. «раскрыт» для достижения наилучшего художественного эффекта. Необходимо также удостовериться в отсутствии внутренних пороков камня—пустот, раковин, трещин, вростков и пр. С этою целью приходится делать частичную распиловку камня или сравнивать уд. в. различных кусков камня той же породы; в последнее время начались попытки применения рентгенографии.

Обработка камня. Состоит в распиливании, высверливании, шлифовке и полировке камня.

Распиливание составляет или главную часть работы (при получении, напр., плит и фигур, ограниченных плоскими поверхностями) или же дает первое приближение к намеченной форме и удаляет излиш-

ний материал, затрудняющий дальнейшие более тонкие манипуляции (опиливание при художественных работах). Распиливание производится при помощи ленточных, тросовых или круглых пил, с обязательным применением какого-нибудь абразионного материала, помещаемого между обрабатываемым камнем и рабочей поверхностью пилы. При выборе абразионного материала принимают в расчет как твердость камня, так и требуемую быстроту работы; поэтому при распиловке, напр. мрамора, пользуются или ленточными пилами с обыкновенным кварцевым песком, или карборундовыми фрезерами, или, наконец, дисковыми алмазными пилами. Лезвие ленточной пилы, из железа



Фиг. 1.

или стали бóльшей или меньшей твердости, натягивается на раму, движущуюся с помощью шатуна между неподвижными станинами. Камень располагается под пилой на неподвижной подставке или на площадке, снабженной колесиками и могущей передвигаться на рельсах. Для распиловки крупных блоков на плиты существуют станки с 40, 60 и 80 параллельно натянутыми пилами. Абразионный материал подбрасывается в разрезы камня в течение всей работы. В т. н. тросовых пилах лезвием служит металлич. трос, который натягивается на раму или огибает вращающиеся ролки в виде бесконечного троса. Круглые (дисковые) пилы, из железа, стали или бронзы, изготовляются с диам., достаточным для распиливания камня от 30 до 65 *см* толщиной; для мрамора применяются круглые пилы с диам. до 3 *м*. Если камень велик, он обычно помещается на особой площадке, автоматически двигающейся под пилой вдоль рельсов. Величина, мощность и скорость работы этого рода машин варьируют в широких пределах; абразионным средством служат алмазы, вправляемые в цилиндрич. поверхность пилы—«диамантированные» пилы (фиг. 1). Металлич. диски с алмазами заменяются иногда сплошными карборундовыми дисками фрезерного типа. Для работ над небольшими штуфами твердого камня употребляются дисковые алмазные пилы: здесь металлич. диск пилы снабжен мелкими насечками на цилиндрич. поверхности для натравливания алмазным порошком. В распиловочных станках Петергофской фабрики обрабатываемый предмет подводится к диску пилы не снизу, а сверху. Для устранения нагрева пилы и уменьшения ее снашивания, а также для более прочного удержания алмазной пудры в насечках, под нижний край диска подставляется плоская коробка с керосином или маслом. Этим значительно уменьшается пылеобразование, вредное для здоровья рабочего.

Высверливание. Для этой цели служат станки с одним или несколькими вертикальными трубчатыми сверлами разных величин и диам. Обычно режущим материалом (при высверливании твердого камня) служит наждак или карборунд; перед началом работы на камне намечают площадь будущей высверловки и вылепливают на ней из глины полый цилиндр, центр основания к-рого точно совпадает с центром отверстия. В цилиндр насыпается абразионный порошок и приливается вода; затем сверло опускается в цилиндр, и станок приводится в движение. При вращении сверла абразионный материал располагается не только вокруг него, но и входит внутрь сверла через имеющиеся в нем отверстия.

При подготовке первоначальных болванок для сложных декоративных и художественных изделий из твердого камня мастер различным образом комбинирует приемы распиловки и высверливания, стараясь получить отдаленное и грубое подобие будущего изделия. После этого начинается серия сложнейших и кропотливых приемов для выработки деталей намеченной формы для устранения лишнего материала и для заглаживания дефектов первоначальной обработки (запилы, зарезы и т. д.). Выработка деталей ведется с помощью обширного набора орудий, среди к-рых главная роль принадлежит оловянным, свинцовым или свинцово-оловянным дискам различных профилей, форм и диаметров. Эти диски навинчиваются на горизонтальный шпиндель станка. Для обтачивания плоских поверхностей служат диски с прямоугольным профилем, при чем диск может работать как своей цилиндрич. поверхностью, так и плоскостью своего основания. Углубленно-сферическ. поверхности получаются с помощью выпуклых дисков (грибков), а выпукло-сферические — посредством чашеобразных дисков. Диски, несущие на своей окружности желобок, служат для получения валика на изделии; диски с выпуклостью—для выработки желобка. Все рабочие поверхности дисков натравливаются наждаком или карборундом. Глубокие сферич. углубления получаются путем последовательного «выбирания» камня шкивом (диском) прямоугольного сечения; по получении одного дугового вреза камень пово-

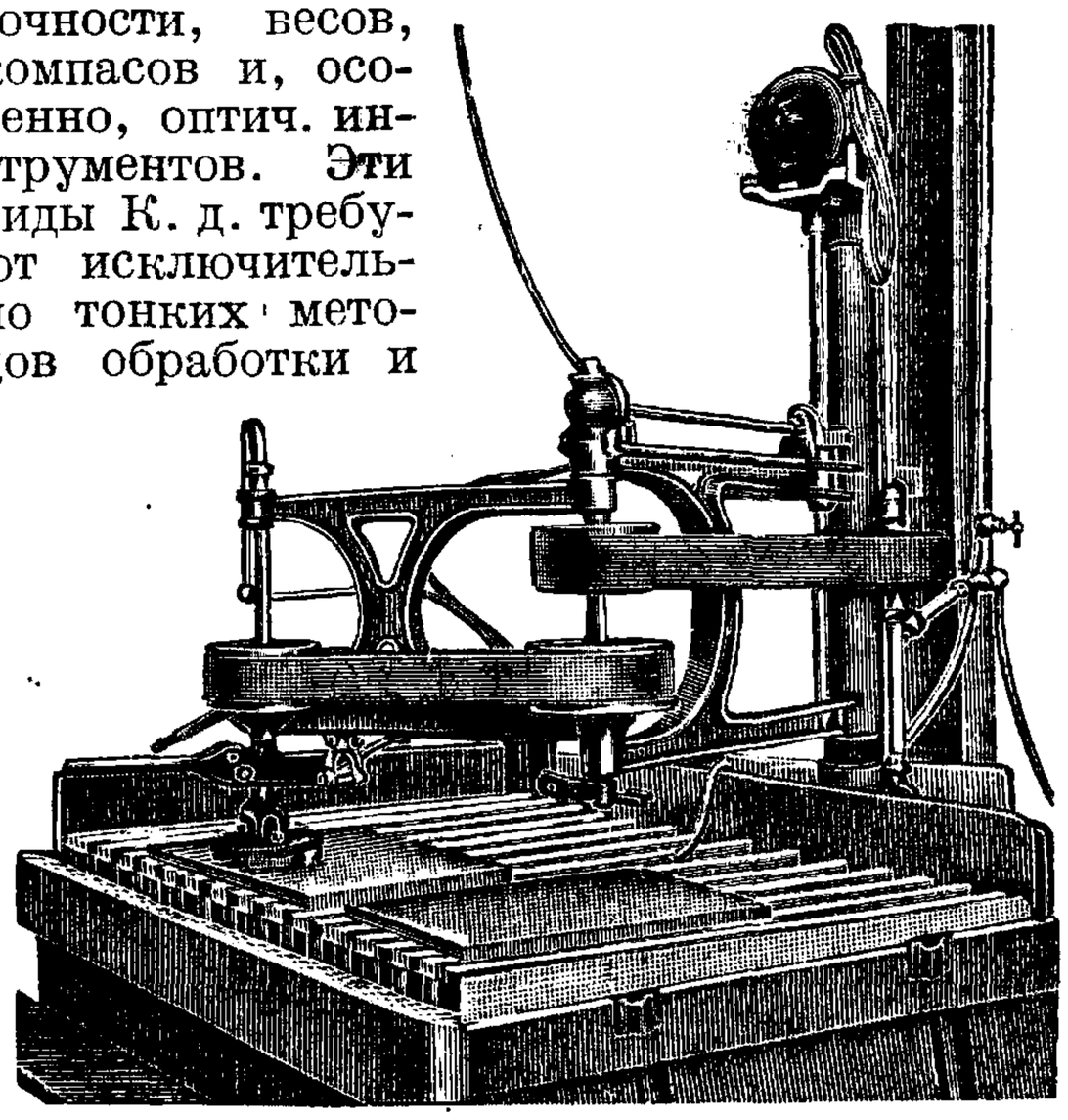
рачивается, и диск выбирает другую дуговую выемку; многократным повертыванием камня достигается слияние отдельных дуговых вырезов в сплошное сферическ. углубление. Получающиеся при этом неровности и зарезы сглаживаются особым вращающимся «грибком». Наряду с металлич. дисками для этих работ часто применяются абразионные диски разных форм и диаметров из корунда, карборунда, алундума и друг. Для обработки поверхностей вращения служат станки токарного типа, где вращающаяся каменная болванка подвергается действию неподвижно укрепленного резца или абразионного орудия.

Все эти работы м. б. обособлены друг от друга, а равно от следующей за ними шлифовки лишь условно. Часто смена одного процесса другим делается путем незаметных переходов и постепенной замены грубых абразионных материалов более тонкими. Таким образом, практически все эти работы составляют единый процесс, подчиненный материалу и форме вырабатываемого изделия. От станка с диском мастер переходит к подравниванию камня на т е р к е, медной доске, покрытой абразионным порошком, от терки—снова к станку. Различные мастерские часто пользуются различными приемами для аналогичных работ. Чисто ручная работа, без всякого участия машины, занимает большое место в обработке твердых камней. Иногда величина предмета (крупные изделия скульптурного типа) исключает возможность рационального применения машины, и детали вытачиваются вручную при посредстве различных брусков и оселков, смачиваемых водой.

Ш л и ф о в к а. Простейшим типом шлифовального аппарата, пригодным для шлифования небольших предметов, является станок с горизонтальным или вертикальным вращающимся кругом. Шлифовка отдельных частей крупных изделий производится ручным способом оселками, брусками и медными или агатовыми терками, укрепленными на деревянных рукоятках. Для шлифовки тел вращения пользуются станками токарного типа. Для шлифовки (и последующей полировки) плоских поверхностей служит особый коленчатый станок (фиг. 2), главную часть к-рого составляет шлифовальный круг, обращенный рабочей плоскостью книзу и вращающийся на вертикальном валу на конце подвижн. коленчатого рычага. К нижней части круга м. б. прикреплено или грубо шлифующее орудие для работы карборундом или наждаком (ш у р а л к а) или войлочная подушка, работающая тонкими полировальными порошками. В результате шлифовальных работ получают на изделии ровную и гладкую наощупь, но еще матовую и тусклую поверхность.

П о л и р о в к а имеет целью сообщить поверхности изделия чистый зеркальный блеск и вместе с тем обнаружить во всей полноте колористич. достоинства камня и пестроту его узоров. Полировка отличается от шлифовки большею длительностью работы и применением более тонких и нежных абразионных материалов. Твердые камни, как корунд, кварц, нефрит, агат и др., обычно полируются трепелом, разведенным водой или маслом; вместе с трепелом употребляется зеленый крокус. Для более мягких пород, напр. для мрамора, употребляется так наз. итальянский порошок (окись олова), наносимый на увлажненные войлочные круги или щетки. Для наведения окончательного глянца и удаления попавших в мельчайшие трещины и поры частиц зеленого крокуса употребляется на русских фабриках так наз. «с о с т а в», получаемый обработкой олова азотной к-той и смешиваемый с серой; для работы с этим составом употребляется тряпичная «кукла».

Особое место в ряду камнерезных работ занимает обработка камня для н а у ч н ы х и т е х н и ч. ц е л е й—для изготовления тонких научных приборов, механизмов высокой точности, весов, компасов и, особенно, оптич. инструментов. Эти виды К. д. требуют исключительно тонких методов обработки и



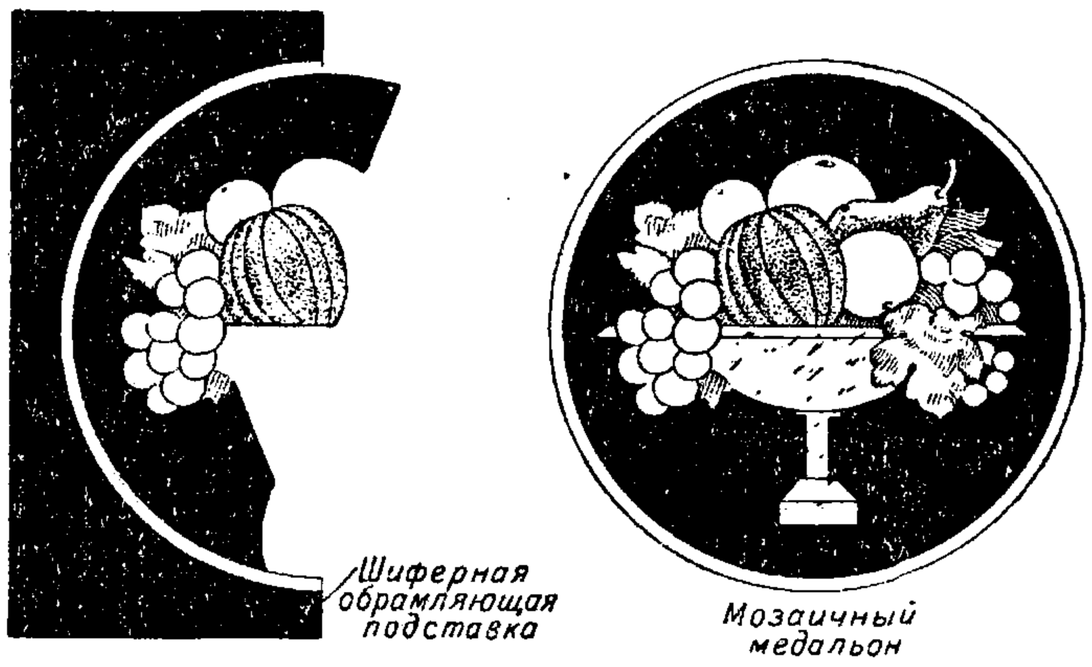
Фиг. 2.

совершенного знания всех специфич. особенностей камня. Напр. при изготовлении оптич. линз из прозрачного флюорита или николевых призм из исландского шпата необходимо считаться с резко выраженной спайностью этих минералов. При применении прозрачного горного хрусталя для оптических чечевиц, призм и клиньев требуются особая установка камня, соответственно его кристаллографическим свойствам, и тончайшая, безукоризненно точная его шлифовка и полировка. При обработке пьезокварца особенно важно подобрать лишь одиночные кристаллы минерала, а не двойники. В ходе работы предусматриваются все детали, обеспечивающие безукоризненность отделки камня; шлифующему кругу придается, напр., вертикальное положение для избежания оседания пыли, могущей быть причиной мельчайших царапин на камне.

Техника гравирования и мозаики. Техника гравирования на камне представляет ту особенность, что здесь во всех стадиях работы инструмент сохраняет неизменную установку, мастер же манипулирует изделием. Станок для гравирования представляет собою горизонтально вращающийся шпиндель, в который могут быть вставляемы различного рода резцы с цилиндрическим

шаровым или дискообразным окончанием, натравливаемым алмазной пудрой.

Гравирование на камне можно подразделить на два основных вида: 1) собственно граверное, или резное, дело и 2) художественное (рельефно-скульптурное) гравирование. К первому виду относятся: а) вырезывание на гладких (обычно небольших) поверхностях камня плоских рисунков, гербов и монограмм, с последующим их заполированием; для этой цели может служить любой твердый и красивый камень, но лучшим материалом здесь издавна считались все разности халцедона, гелиотроп и лазурит; б) инкрустация, т. е. врезывание в камень (обычно в черный агат) других камней в виде граненых вставок или



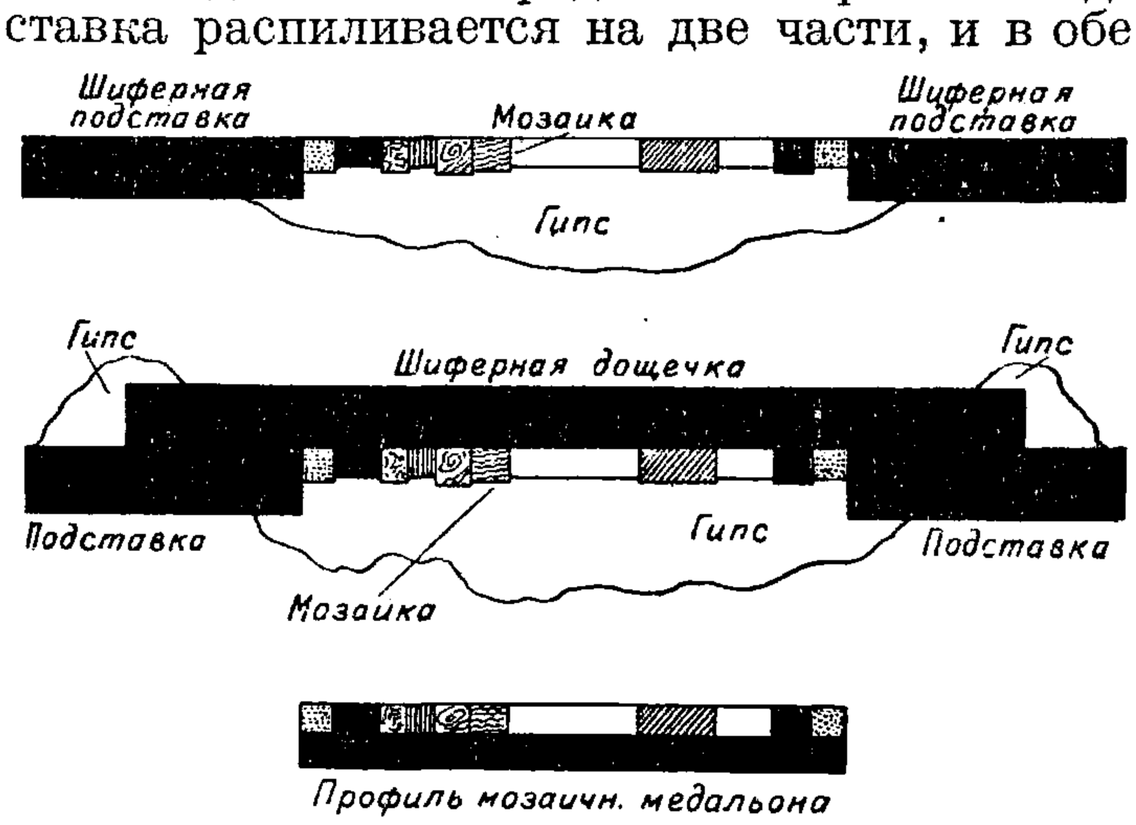
Фиг. 3.

составных кусочков; этот вид гравирования связан с отделкой мелких частиц камня и является до известной степени переходом к мозаичным работам; в) кристаллогравирование, состоящее в вырезывании различных орнаментов, цветов и фигур на плоской стороне прозрачного кварцевого кабошона; рассматриваемое сквозь выпуклую поверхность кабошона изображение принимает рельефный характер. Иногда выгравированный рисунок покрывается красками.

К виду рельефно-скульптурной, художественной или высокой гравировки относятся камеи (выступающий рельеф) и интальо (углубленный рисунок). Для камей и интальо пригоден всякий камень, но излюбленным с древних времен материалом являются параллельнополосатые разности халцедонов с различно окрашенными полосами. Подготовка камня к резьбе сводится к описанным выше процессам выпиливания, подравнивания, шлифовки. Обычно двуцветный камень, напр. черно-белый оникс, подготовляется к вырезыванию камеи с таким расчетом, чтобы получить белую выпуклую фигуру на черном фоне; для интальо работу начинают с темной части с тем, чтобы самая фигура была вырезана в белом слое. Иногда употребляются и трехслойные пластинки камня (сердоликовый оникс); на такой пластинке можно получить, напр., белую фигуру с красными волосами на темном фоне.

Мозаичные работы. Простейшим типом мозаики является составление приблизительно одинаковых по величине прямоугольных кусочков разноцветных, ровно окрашенных камней. Этот тип мозаики в различных вариантах широко применялся в разные времена в орнаментно-строительном деле; несколько сложнее представляется мозаичный орнамент из узорно вырезанных форм цветного камня. Особым типом мозаики, изобретенной русскими камнерезами, являются работы из накладных пластинок красивых цветных камней, которые, вследствие своей редкости и высокой цены, не м. б. получены в больших глыбах (лазурит, малахит и др.). Работа сводится здесь к вырезыванию из камня тонких пластинок (каменной фанеры) и к искусному их соединению. Наклеенные на медную доску или на форму, выточенную из какого-нибудь дешевого материала (сланца, змеевика, известняка), эти пластинки производят впечатление монолитного камня.

Наиболее тонким и ответственным в художественном отношении типом мозаичных изделий являются работы по составлению сложных цветных рисунков и картин (фиг. 3) из многочисленных разноцветных кусочков камня, вырезанных в самых разнообразных формах и размерах. Этот тип работ, зародившийся в Италии, сохранил за собою название флорентийской мозаики (pietra dura). Техника этих работ очень сложна. Подбору мозаики предшествует ряд подготовительных манипуляций. Точный контур рисунка или картины, служащей моделью задуманной мозаичной композиции, снимается на толстую ватманскую или александрийскую бумагу. Приготовляется подставка—шиферная дощечка (фиг. 4), размеры которой несколько превышают площадь будущей мозаики. Назначение шиферной «подставки»—служить временным обрамлением мозаичному набору в процессе его складывания. Перед началом работы подставка распиливается на две части, и в обе



Фпг. 4.

стороны от линии распила на ней вырезываются (по бумажной копии) внешние очертания будущего набора. Обычным материалом для мозаичных работ служат пестроцветные яшмы, нефрит, лазурит, кахолонг, серпентин, малахит и др. Из камней выпиливается ряд пластинок толщиной в 2—3 *мм*. Пластинки отшлифовываются с одной стороны. Выбрав исходный участок у края картины, мастер выбирает из приготовленных каменных пластинок подходящий по окраске и тону кусочек и, сообразуясь с его размерами, вырезывает ножом из бумажного снимка соответственную часть. Эта бумажная вырезка служит образцом каменной мозаичной части-

цы; по его контуру из цветной пластинки выпиливается круглой алмазной пилкой намеченный кусочек, который шлифуется по краям тонким наждаком или карборундом и приклеивается особой мастикой к соответственному месту обрамляющей подставки. Плоские кусочки мозаики склеиваются друг с другом только тонкими краями, а для придания всей работе надлежащей прочности нижняя сторона набора временно закрепляется на гипсе. По мере того как набор подходит к концу, к нему присоединяется вторая половина обрамляющей подставки. По выполнении всей композиции мозаика прикрепляется лицевой частью к гладкой шиферной доске, и гипсовое основание набора удаляется постепенным стачиванием на горизонтальном металлическом круге, после чего нижняя часть мозаики подравнивается на медной терке. Затем все временные вспомогательные части (подставка, верхняя шиферная доска) снимаются, и готовый мозаичный набор окончательно наклеивается на постоянную металлическую или каменную подкладку и полируется.

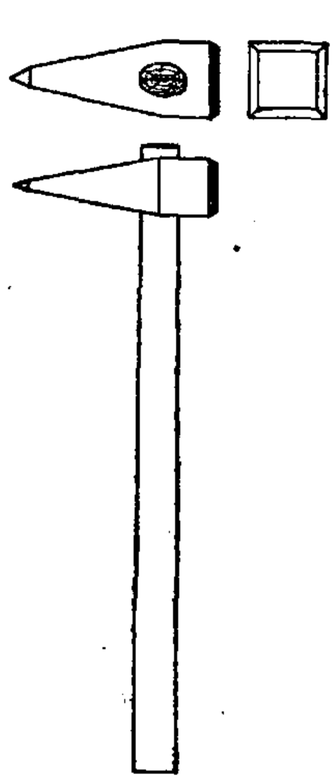
Инструментами при мозаичных работах служат: дисковая алмазная пилка от 0,5 до 10 *см* в диаметре, трубчатое или простое сверло и маленький шлифовальный круг—карборундовый, наждачный или металлический. Все эти инструменты могут заменять друг друга на шпинделе одного небольшого станка—лучше всего с ножным приводом, дающим возможность более легкой регулировки вращения при этой тонкой и кропотливой работе.

Камнерезная промышленность. Центры К. д. за границей — Идар-Оберштейн, где имеются десятки мастерских, обрабатывающих главн. обр. привозный америк. камень, и Турнау в Чехо-Словакии. В России расцвет К. д. относится к периоду 20—50-х гг. 19 века, когда изделия трех камнерезных и гранильно-шлифовальных фабрик (Петергофской, Екатеринбургской и Колыванской) приобрели широкую известность. Особенных успехов достигла Петергофская фабрика в художественных гравировках и флорентийской мозаике. После революции русское камнерезное дело было возобновлено трестом «Русские самоцветы». В настоящее время оно сосредоточено в Отделе силикатных искусств Академии художеств, который ограничил его обработкой мягких камней и изготовлением технических изделий из твердого камня.

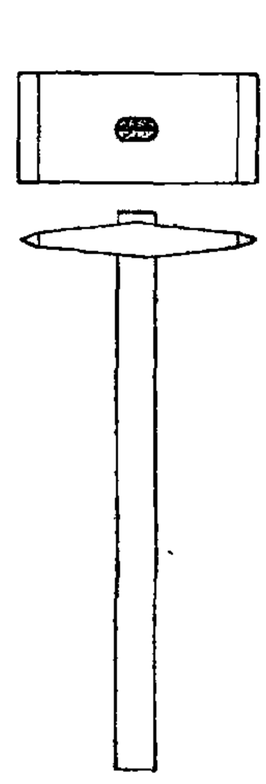
Лит.: Ферсман А. Е., Драгоценные и цветные камни СССР, т. 3 (печ.); его же, Самоцветы России, П., 1921; Ферсман А. и Шубников А., Задачи в области обработки цветного и драгоценного камня. Новые приемы обработки камня, «Труды Ин-та прикл. минералогии и петрографии», в. 49, М., 1924; Ферсман А. Е. и Влодавец Н. И., Гос. петергофская гранильная ф-ка в ее прошлом, настоящем и будущем, П., 1922; Фелькерзам А., Халцедон и его применение в искусстве, «Старые годы», П., 1916, Март, стр. 3—18; Мельников М., Обработка цветных камней в Екатеринбурге, «ГЖ», 1885, *11*; Пиляев М., Драгоценные камни, СПБ, 1896; Bauer M., Edelsteinkunde, 2 Auflage, Leipzig, 1909; Rau W., Edelsteinkunde f. Mineralogen, Juweliere u. Steinhändler, Wiesbaden, 1907; Krauss E. H. a. Holden E. F., Gems a. Gem Materials, N. Y., 1925; Dreher J. C., Ursprung, Geschichte u. Technik d. Achat- u. Edelsteinindustrie von Oberstein-Idar, «Deutsche Goldschmiede-Ztg», Leipzig, 1928, *37*.

Г. Будьков.

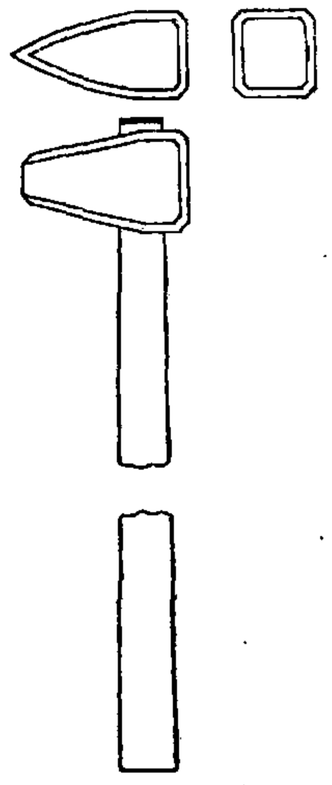
КАМНЕТЕСНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ. Камнетесная работа имеет целью сообщить камням ту форму, которая требуется от них при



Фиг. 1.

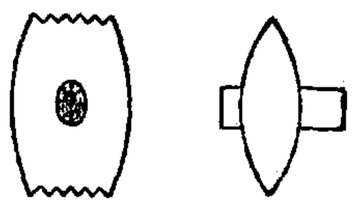


Фиг. 2.



Фиг. 3.

кладке стен, цоколя, перемычек, сводов, набережных, мостовых быков, лестничных площадок и ступеней, подоконников, тротуаров и проч. Для этого применяются следующие инструменты: 1) кирка (фиг. 1), весом до 18 *кг*; 2) тесовики (фиг. 2), большой—весом 5—8 *кг* и малый—3—4 *кг*; 3) киор (фиг. 3)—1—2 *кг*; 4) зубатка (фиг. 4); 5) долото (фиг. 5)—от 0,8 *кг*; 6) скарпель (фиг. 6); 7) киянка—небольшой молот, весом до 2 *кг*, служащий для ударов по долоту или скарпели; 8) пила ручная, сходная со столярной лучковой пилой, но значительно большего размера, без зубьев. Все эти инструменты, за исключением киянки и пилы, изготовляются из лучшей инструментальной стали, при чем лезвия и задки их закаливаются с отпуском при 240°; киянка делается из стали с содержанием 0,3 — 0,5% углерода, при чем бойки закаливаются с отпуском при 285°; пила изготовляется из тигельной стали высшего качества и закаливается без отпуска. Все инструменты не должны иметь раковин, трещин, а лезвия, бойки и задки должны быть, кроме того, свободны от плен и волосатин. Испытание инструментов (кроме киянок и пил), если оно не может быть сделано в лаборатории, производится 10 ударами по камню твердой породы, при чем лезвия не должны затупляться и получать каких-либо дефектов. Простейший способ испытания закалки заключается в пробе личным слесарным напильником, к-рый должен скользить по закаленным частям, но не вязнуть и не царапать; по бойкам киянки напильник должен слегка вязнуть, а посредине молотка слегка царапать. Кирка, тесовики, киор, зубатка и киянка имеют в широких сторонах овальные отверстия, к-рыми они насаживаются на рукоятки из рябинового дерева, с железными или деревянными заклинками.



Фиг. 4.

Фиг. 5.

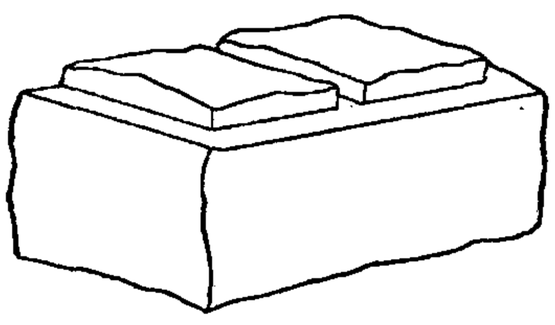
Фиг. 6.

Кроме перечисленных инструментов, для камнетесной работы необходимы: п р а в и́л о—прямой брусок, размером 1 400 × 44 × × 40 *мм*, из дубового дерева, с нанесенными на одной из сторон его делениями на *см* и *дм*; н а у г о л ь н и к—для нанесения прямых углов; м а л к а—раздвижной на шарнире наугольник для острых и прямых углов и ц и р к у л ь.

От тесового камня требуется, кроме стойкости против мороза, отсутствие трещин и прослоев, а также чтобы он хорошо поддавался обработке и удобно делился на штуки требуемого вида и величины. Правильно отесанный с шести сторон камень называется ш е с т и к а т о м; передняя его сторона называется л и ц о м, нижняя и верхняя поверхности—п о с т е л я м и, а боковые—з а у с е н н ы м и п л о с к о с т я м и (заусенками). Если задняя сторона камня не отесывается, то она называется х в о с т о м, а камень называется п я т и к а т о м.

До обделки камней производится их о б о л в а н е н и е, к-рое состоит в отделении от них лишних частей, что делается тесовиком; если нужно отделить крупные части, то сначала вытесывают борозду и вставляют в нее железные клинья, а затем ударами по ним молотка отделяют крупные части. Для получения простейших форм камня, например призмы, параллелепипеда, куба, необходимо иметь лишь размеры; при более сложных формах необходимо иметь шаблоны граней и знать углы между гранями. При сложных формах камней предварительно составляют чертеж (развертка плоскостей в натуральную величину) и по нему изготовляют шаблоны из деревянных щитов или листового железа. Для камней с числом граней более шести, со сложными, косыми и кривыми поверхностями, делают по шаблонам деревянные модели, на к-рых надписывают все размеры сторон и диагоналей.

Обделка камня состоит: из обтески камня, наковки, шлифовки и полировки. При о б т е с к е камня размеры берутся с запасом, который д. б. для твердых пород—13 *мм*, для средней твердости—19 *мм* и для слабых—25 *мм* по всем направлениям. На камне, подлежащем обтеске, камнетес делает тесовиком вдоль одной кромки камня борозду шириной 10—15 *см*, так наз. заправку; при больших камнях делают несколько заправок (фиг. 7). Когда заправки сделаны, сбивают все неровности верхней грани камня, при чем правильность работы проверяется правилом. После грубой обтески всей грани, на ней по шаблону, наугольнику или малке очерчивают кромки и отбивают их; все эти работы производятся киркой, а при мягких породах форма камня иногда выпиливается. После отбития кромок их отделывают долотом и киркой на ширину 10—16 *см*, после чего переваливают камень на бок и приступают к обтеске верхней поверхности камня. По окончании обтески одной поверхности последовательно переходят к обтеске другой, определяя по малке вторую грань, и т. д. до последней грани. Можно обтеску производить и другим способом, а именно: сперва из камня вытесывают какое-либо тело простейшего вида, напр. призму или параллелепипед, а затем снимают лишние части, но этот способ дороже.



Фиг. 7.

Н а к о в к а камня состоит в более чистой отеске камня и производится киором или зубаткой, так чтобы каждый раз следы ударов были перпендикулярны к следам предыдущей наковки, при чем удары делаются каждый раз слабее.

Ш л и ф о в к а камня уничтожает следы, оставленные камнетесными инструментами, и производится специальными шлифовальными брусками из наждака и т. п. материалов.

П о л и р о в к а придает камню блестящую поверхность. Для этого камень натирают железными или чугунными утюгами, под которые насыпают наждак, трепел или пемзу; под конец поверхность присыпают порошком азотнокислого свинца и натирают войлоком, кожей и фланелью. Твердые мелкозернистые камни получают очень хорошую и прочную полировку; мягкие пористые породы полируются плохо и скоро теряют свой блеск; песчаники же и известняки совершенно не принимают полировки. В последнем случае поверхность камня нагревают горячими утюгами и поры камня заполняют мастикой (из гарпиуса, скипидара и какого-либо красящего вещества под цвет камня), разглаживая затем поверхность снова горячим утюгом. При машинной полировке применяют стальной вращающийся диск, стирающий камень. Шлифовка и полировка увеличивают срок службы камня.

Лит.: Ф а д е е в Н., Строительное искусство, ч. 1—Материалы и работы, 5 изд., М.—П., 1923; Ф е д о р о в и ч О., Каменные работы, 2 изд., Москва, 1923; B r e y m a n n G. A., Allgemeine Baukonstruktionslehre, B. 1—Konstruktionen in Stein, Leipzig, 1903.

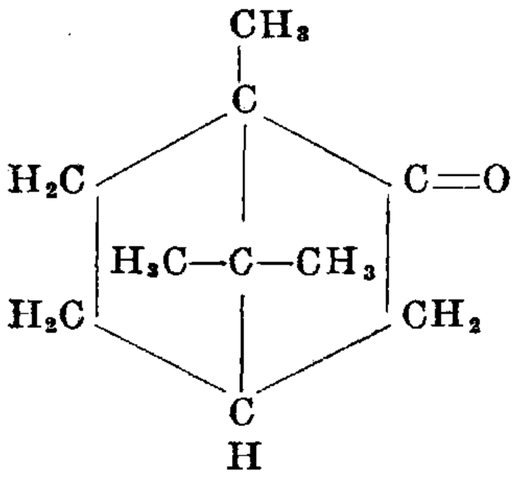
Н. Туманов.

КАМПЕШЕВОЕ ДЕРЕВО, к а м п е ш н и к, с а н д а л ь н о е д е р е в о, ф и о л е т о в о е д е р е в о, с а н д а л с и н и й, некрупное дерево сем. бобовых, Haematoxylon campescheanum. Область распространения—Центр. и Ю. Америка и Вест-Индия. Древесина К. д. тверда, тяжела (уд. в. 1,0) с красивым рисунком, кроваво-красная, на воздухе сильно темнеющая, без сердцевинных лучей. В древесине К. д. содержится *гематоксилин* (см.), при окислении легко переходящий в *гематеин* (см.). Древесина К. д. в измельченном виде употребляется для получения краски — с и н е г о с а н д а л а. Кроме того, древесину К. д. употребляют на изготовление паркета и мебели. Кампешевый экстракт, к а м п е ш, широко применяется в кожевенной промышленности, а также при окрашивании шерсти, шелка (см. *Красящие вещества* е с т е с т в е н н ы е).

КАМФЕН, см. *Терпены*.

КАМФОРА, триметил-(1,7,7)-бицикло-(1,2,2)-гептанон-(2), $C_{10}H_{16}O$, представляет собою зернисто-кристаллическую массу, полупросвечивающую, легко возгоняющуюся, легко растворимую в органич. растворителях и мало растворимую в воде, в чистом виде имеющую $t°_{пл.}$ 178°. К. встречается в формах—

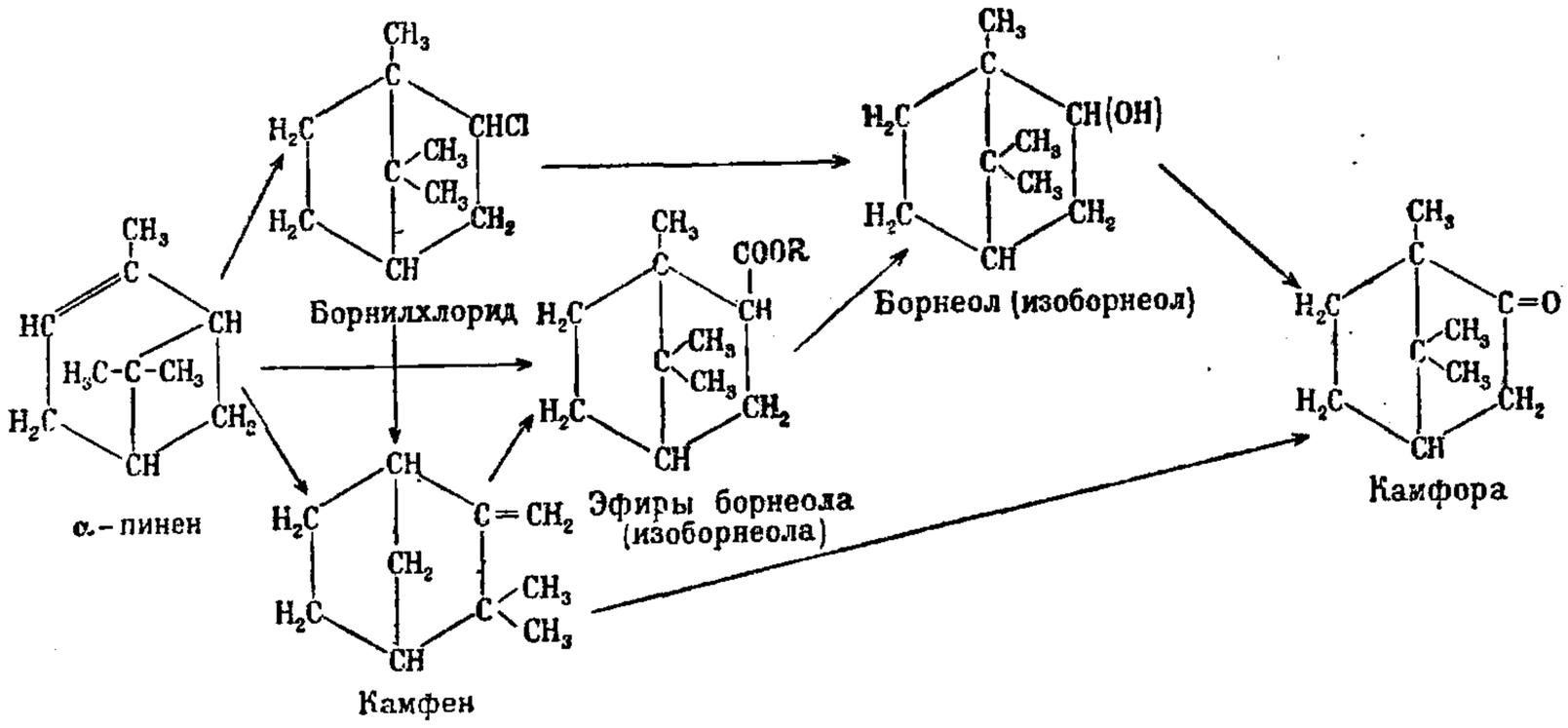
правовращающей, левовращающей и инактивной, при чем К. первых двух форм находится во многих эфирн. маслах. Правовращающая К. найдена в эфирном масле камфорного лавра Cinnamomum Camphora, розмарина, далматск. шалфея, спиковом, сассафрассовом и др. маслах; левовращающая—в ряде масел различн. видов Salvia, Artemisia и др. До последнего времени на рынке обращалась гл. обр. правовращающая К., получавшаяся в Японии, Китае, а в особенности на острове Формоза выкристаллизовыванием или вымораживанием из эфирного камфорного масла. Последнее добывается гл. обр. кустарным способом: перегонкой с водяным паром измельченной древесины камфорного лавра, для чего служат деревянные конич. чаны с дырчатым дном, поставленные над вмазанным в печь котелком для воды и соединенные при помощи труб из бамбука со специального типа ящичным холодильником. Из получающегося т. о. камфорного масла, выход к-рого составляет около 4%, бо́льшая часть К. выделяется в холодильнике, дальнейшие же количества получаются вымораживанием в течение зимних месяцев. Сырая К. подвергается очистке при помощи возгонки, в Японии или на европейских или американских з-дах.



В состав камфорного масла, кроме правовращающей камфоры, входят: ацетальдегид, d-α-пинен, камфен, d-фенхен, β-пинен, фелландрен, цинеол, дипентен, d-лимонен, борнеол, терпинеол-1, α-терпинеол, цитронеллол, сафрол, Δ^1-ментенон-3, карвакрол, куминовый спирт, эвгенол, бисаболен, кадинен, каприловая к-та. Жидкое камфорное масло после выделения камфоры подвергается разгонке и поступает на рынок в виде масла двух главных сортов: легкого, белого камфорного масла, содержащего терпены и цинеол и применяемого в лаковом производстве или для типографских нужд, и тяжелого, красного камфорного масла, применяемого для извлечения из него сафрола. Иногда встречается синее камфорное масло, представляющее собою погоны, кипящие выше 300°; применение его ограничивается лаковым производством или выработкой колесных мазей и т. п. продуктов.

Существование монополии на производство и торговлю К. в Японии, диктовавшей цены на мировом рынке, а также постепенное уничтожение естественных зарослей камфорного лавра, произрастающего дико только в Японии, Китае и на острове Формоза, привело к попыткам культуры этого дерева в ряде тропич. и субтропич. стран (в Вест-Индии, Ю. Америке, Алжире, Италии и др.) и к переработке его листвы. Получаемое из листьев в количестве 0,5—3% камфорное масло содержит ок. 90% правовращающей К., бо́льшая часть к-рой выделяется в твердом виде во время отгонки. От масла, получаемого из древесины, камфорное масло из листьев отличается отсутствием сафрола. Те же причины вызывали многочисленные попытки производства синтетической К., встречавшие до начала прошлого десятилетия почти непреодолимые затруднения в отношении конкуренции с японской К.

В зависимости от исходного сырья синтетическ. К. может быть получена различной оптич. активности, но большинство способов базируется на скипидаре, как на исходном сырье, и приводит к инактивной К. Все многочисленные методы получения К. из скипидара м. б. представлены следующей схемой:



Получение пиненхлоргидрата ведется насыщением скипидара хлористым водородом на холоду, при чем при $t°$ выше −10° получается непосредственно борнилхлорид. Превращение последнего в камфен достигается самыми различными способами (нагреванием со щелочами, основаниями, солями слабых к-т и т. п.). Следующая стадия заключается либо в непосредственном окислении камфена в К. либо—в превращении его в эфиры борнеола и изоборнеола; последние после омыления и окисления дают К.

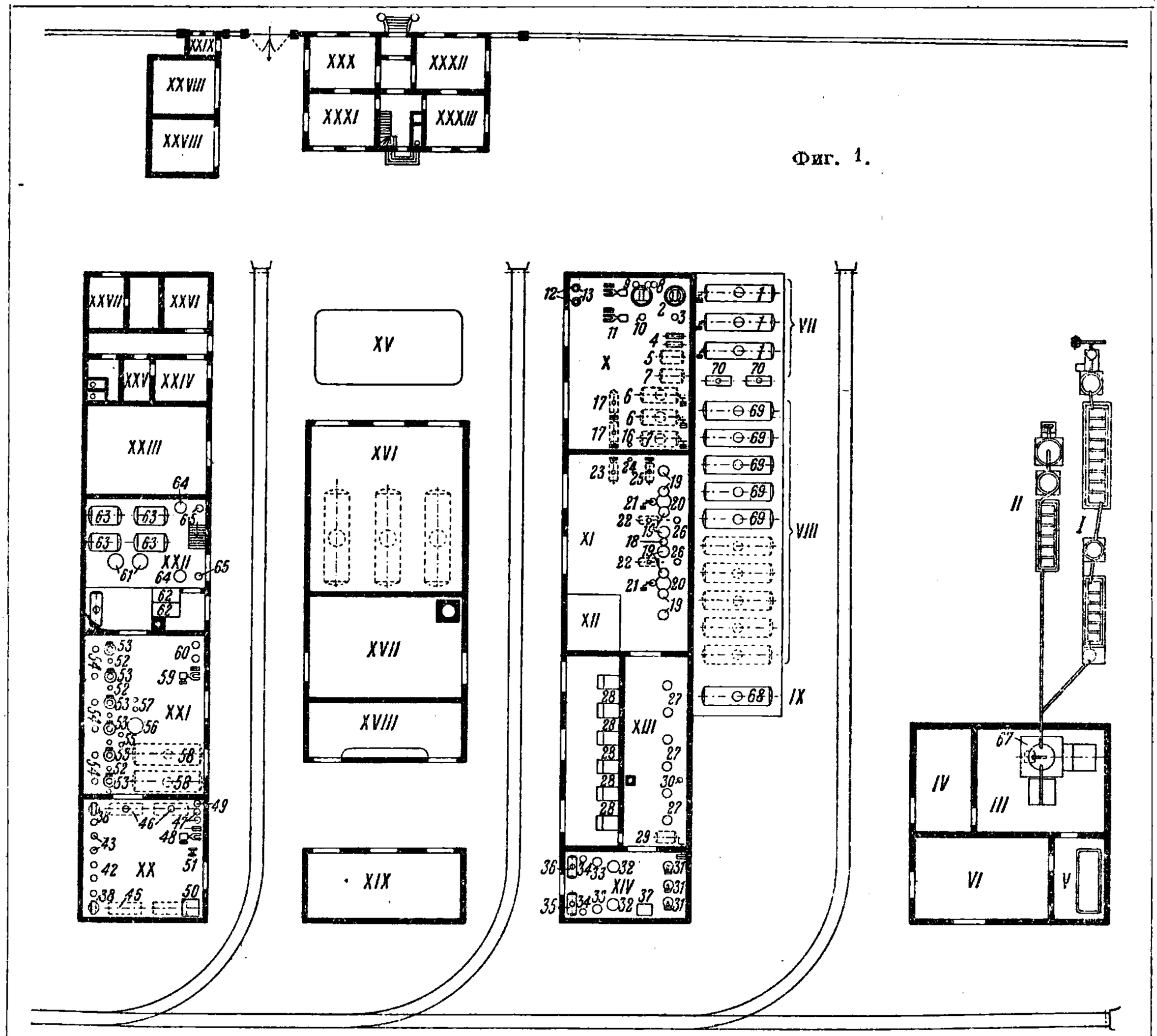
В большинстве случаев процесс получения К. составляет секрет з-да. Примерное представление о з-де мощностью около 40 *т* К. в месяц дает приводимый план (фиг. 1). Производство ведется по схеме:

пинен→борнилхлорид→камфен→камфора.

Первой стадией является подготовка скипидара к хлорированию и получение борнилхлорида. Для хлорирования применяется строго определенный и хорошо отфракционированный погон скипидара, и поэтому для разгонки пользуются вакуум-ректификационными аппаратами (*2*—*3*) типа, изображенного на фиг. 2. Легкие погоны обычно поступают в продажу как растворители, а тяжелый остаток подвергается очистке и продается как специальный сорт скипидара.

Перегонное отделение (на плане помещение *X*) снабжается мерными приспособлениями, сливными баками, насосами и т. п. (по плану аппараты *2*—*17*). Получаемый в отдельной установке (по плану *I*—*IV*) хлористый водород подводится к специальным, снабженным сильнодействующими мешалками аппаратам *19*, соединенным с холодильной установкой (помещения *XI* и *XII*), где он насыщает предварительно осушенный пинен, образуя борнилхлорид. Выделившийся борнилхлорид отфильтровывается (*23* и *24*), а маточник подвергается вымораживанию (*20*) для получения дальнейших количеств борнилхлорида. Для отщепления хлористого водорода и получения камфена (поме-

щение *XIII*), в данном примере проводимого едким натром в присутствии стеарина, служат автоклавы *27*, снабженные мешалками и обогреваемые перегретой водой по системе Фредеркинга (фиг. 3). Полученный камфен подвергается перегонке (помещение *XIV*) в специальных алюминиевых аппаратах. Окисление, проводимое в данном примере хромовой смесью (помещение *XXI*), ведется после предварительной тщательной фракционировки камфена (помещение *XX*) в вакууме. Для окисления служат чугунные, выложенные свинцом аппараты *53*, снабженные мешалками и обратными холодильниками *54*. В том же отделении (помещение *XXI*) находятся промывные аппараты *56* и фильтры *55*, *57*. Сырая К. подвергается вакуум-возгонке в аппаратах *63*—*65*, обогреваемых перегретой водой, получаемой в печах *62* системы Фредеркинга. При заводе имеется отделение регенерации хромовых щелоков (помещение *XIX*), котельная (помещение *XVI*) и другие вспомогательные отделения и помещения, назначение к-рых ясно из обозначений на плане.

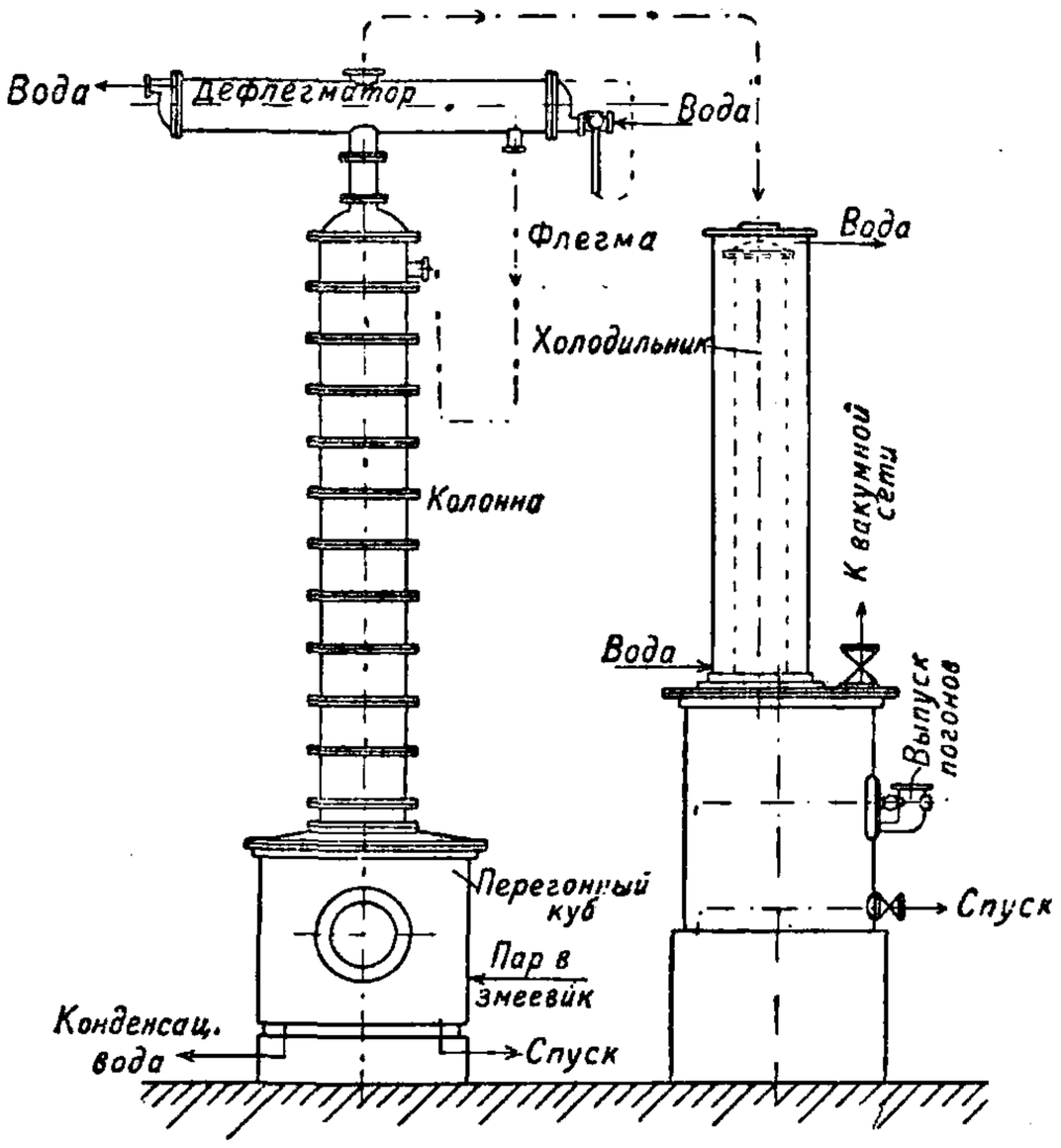


Фиг. 1.

I—концентрация соляной к-ты; *II*—осушка хлористого водорода; *III*—производство хлористого водорода; *IV*—склад соли; *V* и *VIII*—склад серной кислоты; *VI*—склад бисульфата; *VII*—склад скипидара; *IX*—склад отработанного раствора едкого натра; *X*—разгонка скипидара; *XI*—насыщение скипидара хлористым водородом; *XII* — холодильная установка; *XIII* и *XIV* — получение и перегонка камфена; *XV* и *XVI*—склад топлива и котельная; *XVII*—машинное отделение и центральная электрическая станция; *XVIII*—механические мастерские; *XIX*—регенерация окислителя (хромовых растворов); *XX*—ректификация камфена; *XXI*—окисление; *XXII*—возгонка; *XXIII*—склад камфоры; *XXIV* и *XXV*—раздевальная и душ для рабочих; *XXVI*—лаборатория; *XXVII*—*XXXIII*—управление и обслуживающие помещения.

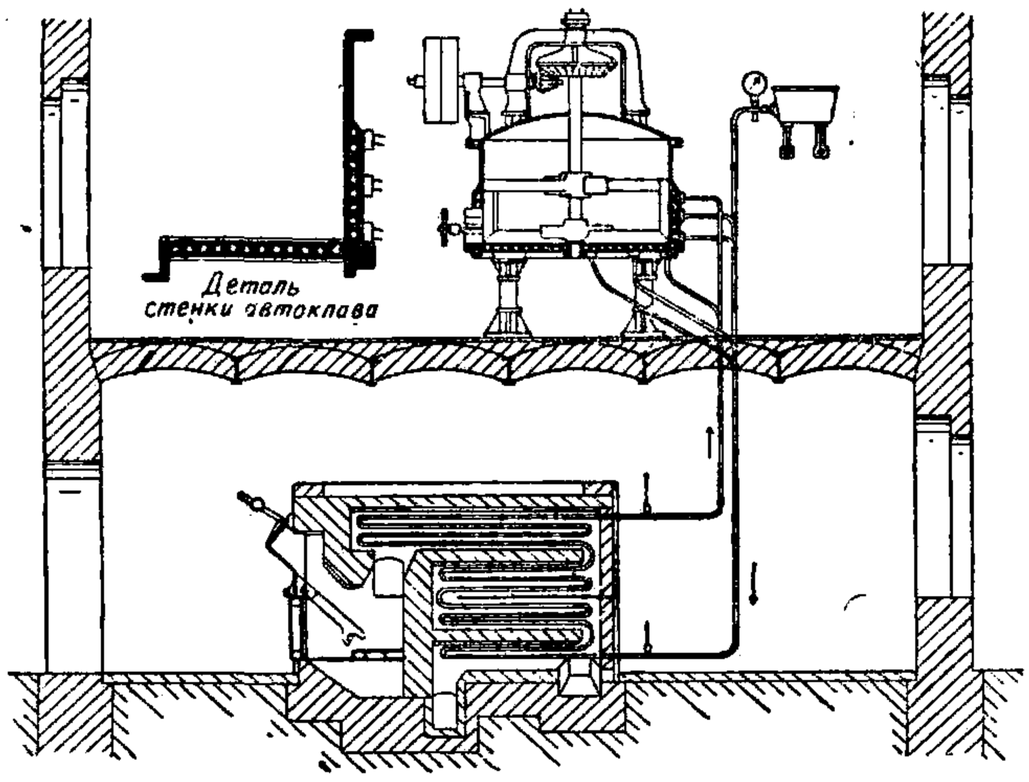
1—цистерны для скипидара; *2* и *3*—вакуум-ректификационный аппарат с холодильником, эпруветкой и счетчиком-автоматом; *4*—приемники для фракций; *5*—баки для предгона; *6*—баки для пинена; *7*—баки для остаточных фракций; *8* и *9*—вакуум-насос и воздушные баки; *10*—вакуум-аппарат для ректификации отбросного скипидара; *11*—*13*—воздушный компрессор и воздушные баки к нему; *16*—фильтры для пинена; *17*—аппараты для осушки пинена; *18*—мерный бачок для пинена; *19*—аппарат для насыщения хлористым водородом; *20*—аппарат для вымораживания; *21*—центрифуга; *22*—приемники для борнилхлорида; *23* и *24*—бак и фильтры для маточников; *25*—бак для фильтрования маточника; *26*—монжю с подогревом; *27*—автоклавы; *28*—печи Фредеркинга; *29* и *30*—бак для растворения едкого натра и мерный бачок; *31*—отстойники; *32* и *33*—перегонные аппараты и холодильники к ним; *34*—водоотделители; *35*—бак для камфена; *36*—бак для остатков; *37*—ящик для стеарина; *38*, *42*—ректификационные аппараты для камфена с холодильником и эпруветкой; *43*, *46*—приемники для погонов и чистого камфена и баки для хранения; *47* и *48*—воздушные баки и вакуум-насос; *49*—бак для отходящего из вакуум-установки воздуха; *50* и *51*—бак и насос для горячей воды; *52*—мерные бачки для камфена; *53*, *54*—аппараты для окисления с обратными холодильниками; *55*, *57*—фильтры; *56*—промывной аппарат; *58*—баки для хромовых растворов; *59* и *60*—воздушный компрессор и воздушные баки; *61*—аппараты для возгонки; *62*—печи Фредеркинга; *63*—*65*—камеры для возгонки с холодильниками и приемниками; *67*—реторта для получения хлористого водорода; *68*—цистерна для отработанного раствора NaOH; *69*—цистерна для серной к-ты; *70*—цистерна для предгона и остатка скипидара.

В ряде патентов приведены способы получения эфиров борнеола и изоборнеола непосредственно из пинена, наприм. нагреванием с высокомолекулярными к-тами жирного



Фиг. 2.

ряда, с щавелевой, тетрахлорфталевой и некоторыми другими к-тами, а также с уксусной к-той в присутствии борной к-ты. Окисление борнеола и изоборнеола может производиться разными способами и различными веществами: азотной к-той, окислами азота, хромовой к-той, марганцовокислым калием, гипохлоритами, озоном и воздухом в присутствии катализатора. Наконец, при способах, основанных на непосредственном действии окислителей на пинен, можно предполагать промежуточное образование камфена и его дальнейшее окисление в К. Все эти способы дают приблизительно одинаковые выходы К., считая на исходный пинен, не превышающие, однако, 30%. Поэтому, при сравнительно низких ценах на японскую



Фиг. 3.

К. и установившихся ценах на скипидар, производство синтетическ. К. до последних лет находилось под постоянной угрозой вытеснения ее с рынка японской К. Только последние 5—6 лет изменили положение в пользу синтетической камфоры, производство и вывоз которой из Германии заняли видное место на мировом рынке.

Производство натуральной К. в Японии и на о-ве Формозе за последние годы держится в пределах 5—6 млн. *кг* (Япония в 1927 г.—1 360 000 *кг*, Формоза в 1925 г.—4 413 000 *кг*), в Китае—ок. 100 000 *кг*. Производство синтетич. К. сосредоточено гл. обр. в Германии, где выработка достигает в настоящее время 5—6 млн. *кг* в год; производство других стран (Франции, Испании, С. Ш. А.) имеет лишь ограниченное значение.

В СССР производство К. до последнего времени не существовало, хотя делались попытки использовать для этой цели отечественное сырье (Голубев, завод Жукова). Исходным продуктом может служить пихтовое масло, содержащее ок. 37—40% уксусного эфира борнеола и 10—15% камфена. При использовании только борнеола м. б. получено левовращающей К. ок. 26—28% от веса исходного пихтового масла; при использовании одновременно камфена выход несколько повышается за счет получаемой инактивной К. По этому способу в настоящее время получается на Охтенском з-де в Ленинграде около 200 000 *кг* К. в год. Одновременно ведутся научно-исследовательские и подготовительные работы по получению левовращающей К. из нек-рых видов полыней, дико произрастающих в Казакстане (Artemisia leucoides) и Нижнем Поволжьи (Artemisia maritima astrachanica). В отношении правовращающей К. выявлена полная технич. и экономич. целесообразность получения К. в Абхазии и Аджаристане путем переработки листвы камфорного лавра, произрастающего в этих районах так же хорошо, как на его родине. Выходы камфорного масла достигают 1,7% при содержании в масле 70—90% К. Производство пока имеется лишь в зачаточном состоянии, так как насаждений, достаточно крупных для заводской переработки, не имеется.

Главное применение К. находит в производстве целлюлоида, на к-рое расходуется приблизительно две трети ее мирового производства. Следующей по значению отраслью применения К. является производство взрывчатых веществ; в этом производстве К. имеет значение стабилизатора. Довольно широко применяется К. в медицине, как средство, повышающее работу сердца, при приемах внутрь и подкожных впрыскиваниях, или как наружное средство—в мазях и втираниях. До самого последнего времени для медицинского применения допускалась лишь правовращающая К., и только последняя Германская фармакопея (1926 г.) признает также инактивную К. Под названием камфорного масла в фармации понимается раствор К. в жирном масле, по преимуществу в миндальном. Потребность СССР в К. для технических надобностей исчисляется примерно в 500 000—600 000 *кг*, для медицинских нужд—ок. 40 000 *кг* в год.

Под суррогатами К. долгое время понимались вещества, к-рые должны были заменить К. при производстве целлюлоида из нитроклетчатки; впоследствии этот термин был расширен, и под названием суррогатов К. были объединены различные вещества, применяемые при производстве целлюлоидообразных масс (напр. из ацетилцел-

люлозы). Основные свойства, которыми должен обладать такой продукт: способность образовывать с производными клетчатки твердые растворы, способность давать желатинообразные массы в этих условиях и сообщать получаемым массам определенную пластичность. Кроме того, присутствие суррогата К. не должно уменьшать прозрачности массы и способности ее принимать окраску. Число предложенных для этой цели веществ чрезвычайно велико, но замены камфоры в полном смысле слова не дает ни одно из них. Для этой цели пригодны алициклические соединения (например, циклогексаноны и циклогексанолы), нафталин, ацетанилид, фосфорные эфиры некоторых фенолов. В большинстве случаев суррогаты К. применяются для ее частичной замены. Для медицинского применения также предложен ряд продуктов, заменяющих К., из которых главнейшие: гексетон (3-метил-5-изопропил-2,3-циклогексенон), корамин (диэтиламид пиридинкарбоновой кислоты) и кардиацол (пентаметилентетразол).

Борнейская камфора, или Суматра-К., представляет собою d-борнеол, выделенный из эфирного масла, получаемого из Dryobalanops aromatica Gartn. путем подсочки или перегонки с паром древесины. Применение находит на месте, для ритуальных целей и бальзамирования трупов. Нгаи-К. получается из эфирного масла Blumea balsamifera DC (Индокитай и Малайский архипелаг) и представляет собою l-борнеол. Применение—такое же, как и Суматра-К.

Из производных К. медицинское применение находят: монобромкамфора, оксикамфора (оксафор), эфиры камфорной кислоты, $C_{10}H_{16}O_4$ (гваяколовый, санталоловый, метиловый) и соли камфорной кислоты (с антипирином, пирамидоном).

Лит.: Козлов В. М., Промышлен. значение камфорного лавра на Черноморском побережьи, «Труды Научн. хим.-фарм. ин-та», вып. 11, Москва, 1925; Рутовский Б. Н. и Виноградова И. В., там же, вып. 17, М., 1927; Рутовский Б. Н., «Химич. промышленность», М., 1924; его же, «Хим.-фарм. журнал», М., 1926, т. 4; Рихтер, Казакевич, Соболевская и Сухоруков, «Журнал опытной агрономии Юго-Востока», Саратов, 1927, т. 4; Gildemeister E. u. Hoffmann Fr., Die ätherischen Öle, 2 Aufl., B. 1—3, Lpz., 1910—1916; Klimont J. M., Der technisch-synthetische Kampher, Lpz., 1921; Perrot E. et Gatin V., Le camphrier et ses produits, P., 1920; Trabut L., La culture industrielle du camphrier, Lyon, 1922; Musso, «Parfumerie moderne», Paris, 1928, v. 21; Eckelt J. L. und Gassner O., Projektierungen u. Apparaturen f. chemische Industrie, I Gruppe: Nitrozellulose, synthetischer Campher, Pulver, Lpz., 1926; Mieske H., Die Kampherversorgung der Welt, Berlin, 1929.

Б. Рутовский.

КАНАДСКИЙ БАЛЬЗАМ, получается из произрастающих в Канаде Abies balsamea и Pinus Fraseri и представляет собою *живицу* (см.) этих деревьев. Добывание К. б. производится либо подсочкой либо вскрытием набухших смоляных ходов, в которые втыкают специальной формы приемники. Последний способ дает лучшие сорта К. б., в особенности если сбор производится в июне—июле и если после каждого сбора дереву дается 2—3 года отдыха. К. б.—вязкая, прозрачная жидкость, совершенно бесцветная, реже—с слабым зеленоватым оттенком; уд. вес 0,9984 (при 14,5°); кислотное число 82—86, число омыления 197. Свойственный К. б. запах, напоминающий скипидар, обусловлен присутствием 20—24% эфирного масла, которое содержит гл. обр. l-α-пинен. Кроме того, в состав К. б. входят: канадиновая к-та, $C_{19}H_{34}O_2$—в количестве ок. 13%; α- и β-канадинолевые к-ты, $C_{19}H_{30}O_2$—вместе ок. 49%; канадолевая к-та, $C_{19}H_{28}O_2$—ок. 0,3%; резен, $C_{21}H_{40}O$ и следы янтарной к-ты. Применяется К. б. для приготовления препаратов в микроскопии, для склеивания составных объективов и других систем оптич. стекол, а также для изготовления призм Николя, так как коэфф. преломления К. б. близок к коэфф. преломления оптич. стекла. К. б. растворяется в спирте, эфире, хлороформе и сероуглероде.

Лит.: Вольф Г., Бальзамы, смолы, искусств. смолы, олифы и лаки, пер. с нем., П., 1923; Wolff H., Die natürlichen Harze, Stg., 1928.

Б. Рутовский.

КАНАЛИЗАЦИЯ, метод *ассенизации* (см.), при к-ром сточные воды системой подземных труб направляются на очистительные сооружения для их обезвреживания. Благодаря тому, что сточные воды удаляются из зданий до загнивания и очищаются на специальных сооружениях, К. улучшает санитарные условия данного населенного места. Кроме того, К. представляет собою более дешевый способ удаления нечистот, чем вывозка. В настоящее время сеть канализованных городов в Зап. Европе и Америке развита весьма сильно. В СССР канализовано всего 38 городов, не считая 4 городов, в которых К. находится в периоде постройки. Одесса начала канализоваться в 1862 году, в Киеве К. действует с 1894 г., в Москве—с 1898 г., в Ростове-на-Дону—с 1906 г. и в Харькове—с 1914 года.

Системы канализации. К. служит для удаления следующих сточных вод: клозетных, хозяйственных (из кухонь, ванных, прачечных и пр.), банных, промышленных (с ф-к и заводов) и атмосферных. Если отводятся все перечисленные категории вод, то система К. носит название общесплавной, а если отводятся все воды за исключением атмосферных, то такая система К. называется раздельной. Если в последнем случае атмосферные воды отводятся особой независимой системой труб (водостоков), то система называется полной раздельной, в противном случае — неполной раздельной. Есть еще полураздельная система К., при которой существуют также две отдельные сети подземных труб; первая сеть отводит все грязные домовые и промышленные воды и первые загрязненные порции дождевых вод, а вторая—исключительно атмосферные воды, после того как начальная порция отведена первою сетью. Переключение дождевых вод делается при помощи особых приспособлений (щитов, особой конструкции каналов и пр.). На практике приходится иногда комбинировать в одном и том же населенном пункте различные системы К. В общесплавной системе, благодаря большому количеству воды, особенно дождевой, каналы, равно как и очистительные сооружения, получают бóльшие размеры, нежели при раздельной. Эксплоатация общесплавных систем сложнее в технич. и санитарном отношениях, потому что каналы, рассчитанные на большие количества вод, во время засух отводят их весьма мало. Выбор системы

К. в каждом отдельном случае необходимо делать на основании конкретных санитарных и технич. условий. Неполная раздельная система дешевле общесплавной и применяется преимущественно для центрального района СССР. Где имеет место большое количество осадков, там общесплавная система может оказаться экономически выгоднее. Общесплавная система устроена в Одессе, Самаре и Тифлисе; раздельная—в Москве, Киеве, Харькове, Ростове-на-Дону, Саратове и др. городах.

По методу движения жидкости канализационные системы разделяются на самосплавные, когда сточные воды движутся по проложенным с известным уклоном трубам под влиянием силы тяжести, механические, когда жидкость приводится в движение механическими приспособлениями—насосами различной конструкции, а также пневматическ. способом (сист. Лиернура или Шона), и смешанные, где доминирует самосплавная система, но часть жидкости гонится механич. способом.

Проектирование канализации. Чтобы определить количество сточных вод, к-рое будет отводиться К., поступают след. образом. Для определения количества фекальных и хозяйственных вод необходимо знать число жителей и плотность населения по районам города. При этом необходимо сообразоваться с приростом населения за тот период времени, на который канализационные сооружения проектируются. В общем для больших (100 000 жителей и выше) и средних (от 20 000 до 100 000 жителей) городов в СССР принимается прирост населения в 2—3%, для малых—1—1½%, но для правильного разрешения вопроса д. б. учтены все местные условия. Имгоф считает ежегодный прирост населения для промышленных городов до 10%. Плотность населения выражается числом жителей, приходящихся на 1 *га* площади данного района. Для составления проекта К. необходимо установить несколько градаций (обычно 2—3) плотности в различных районах. Э. Генцмер подразделяет плотность населения на три категории: большую—при 250 чел. и более на *га*, среднюю—при 125—250 чел. и малую—менее 125 чел. Для правильности расчетов следует остерегаться преувеличивать плотность. Примеры расчетных плотностей, принятых при составлении проектов К. в разных городах:

Москва . . .	440 и 220	Самара . .	300, 200, 150 и 100
Ленинград . .	550, 440, 330 и 220	Берлин	800 и 500
		Мюнхен	470
Одесса	440, 220 и 132	Будапешт . . .	500
Харьков . . .	440 и 275	Кёльн	400
Баку	450 и 300	Кёнигсберг . . .	600

Расчетные периоды времени для отдельных частей канализационных сооружений в настоящее время рекомендуются следующие: для уличных труб—25—30 л., для главных коллекторов—15—20 л., для зданий насосных станций—15—20л., для их оборудования — 10 л., для очистных сооружений—10 л. Очистные сооружения и станции перекачки д. б. запроектированы с учетом их расширения. Запас земельного участка д. б. рассчитан не менее как на 40 л. Определив число жителей к концу расчетного периода, задаются нормами водоотведения в *л* на 1 жителя в сутки. Современные нормы для фекальных и домовых вод приведены в табл. 1. Количество сточных вод из

Табл. 1.—Нормы отведения фекальных и хозяйственных вод.

Число жителей в городах	На 1 жителя *л* в сутки
В Германии:	
предместья и поселки	40— 60
города:	
до 50 000	60— 80
от 50 000 до 100 000	80— 110
свыше 100 000	100— 150
В С. Ш. А.	400—1 000
В СССР	60— 80

промышленных предприятий, бань и проч. должно устанавливаться по действительному расходу, с учетом будущего расширения предприятий. Так как поступление сточной жидкости меняется по временам года, дням и часам, то при расчете пользуются т. н. коэфф-тами неравномерности, представляющими собою отношение максимального часового расхода в сутки к среднему часовому за год. Для расчета сетей принимаются следующие коэфф-ты неравномерности: для труб диам. до 1 *м*—1,5—1,8; свыше 1 *м*—1,3—1,8; для насосных станций—2—2,3; в случае спуска сточных вод промышленных заведений с большой неравномерностью расхода коэфф-ты м. б. повышены.

В основание исчисления расчетного расхода атмосферных вод следует брать умеренный ливень, повторяющийся в известной местности не чаще одного раза в год; иначе сооружения получат слишком большие размеры и потребуют чрезмерного вложения капитала (см. *Водосток*). Очистные сооружения при общесплавной системе рассчитываются на двойное или тройное количество хозяйственных вод в сухое время года.

Составлению проекта К. населенного пункта должен предшествовать целый ряд предварительных работ, собирание статистич. сведений о населении, характере застройки, ф-ках, з-дах, банях, прачечных, скотобойнях и пр., с указанием их продукции, количества и состава сточных вод, предполагаемого расширения, об общем потреблении воды населением, о выгребах, вывозимых нечистотах. Далее, д. б. произведено санитарное обследование населенного пункта и окружающих селений в отношении заболеваемости и смертности, собраны сведения о химич., биологич. и бактериологич. свойствах водоема, куда предположено спускать очищенные сточные воды, о характере грунтов, расположении грунтовых вод и плывунов, об имеющемся главном водоеме, об атмосферных осадках, и получены данные для составления финансового плана. Кроме того, д. б. сделаны следующие планы: для эскизного проекта—общий план населенного места с окрестностями 1 : 10 000 или 1 : 20 000, нивелирный план пункта и окрестностей, имеющих уклон по направлению к населенному месту от линии водораздела, с горизонталями не реже чем через 1 *м*, в масштабе 1 : 5 000, с нанесением на него строительных кварталов,

ф-к, э-дов, бань, прачечных, скотобоен и пр.; планы и профили по трасе коллекторов в масштабах: 1:500—1:1 000 для планов и профилей, 1:1 000—1:2 000 для горизонтального расстояния и 1:100—1:200 для вертикального расстояния; для детального проекта нужны те же общий и нивелирный планы и, кроме того, планы проездов 1:500 и профили их: 1:1 000—1:2 000 для горизонтального расстояния и 1:100—1:200 для вертикального расстояния и план участков, намеченных под постройку насосных и очистительных станций 1:500 с горизонталями через 0,25—0,50 *м* (для полей орошения — масштаб 1:1 000—1:2 000 с горизонталями через 0,5 *м*). Для составления проекта желательно иметь проект перепланировки населенного места. Очевидно, что устройство водопровода, обеспечивающего населенный пункт водою, должно предшествовать устройству К. или, в крайнем случае, сопровождать его.

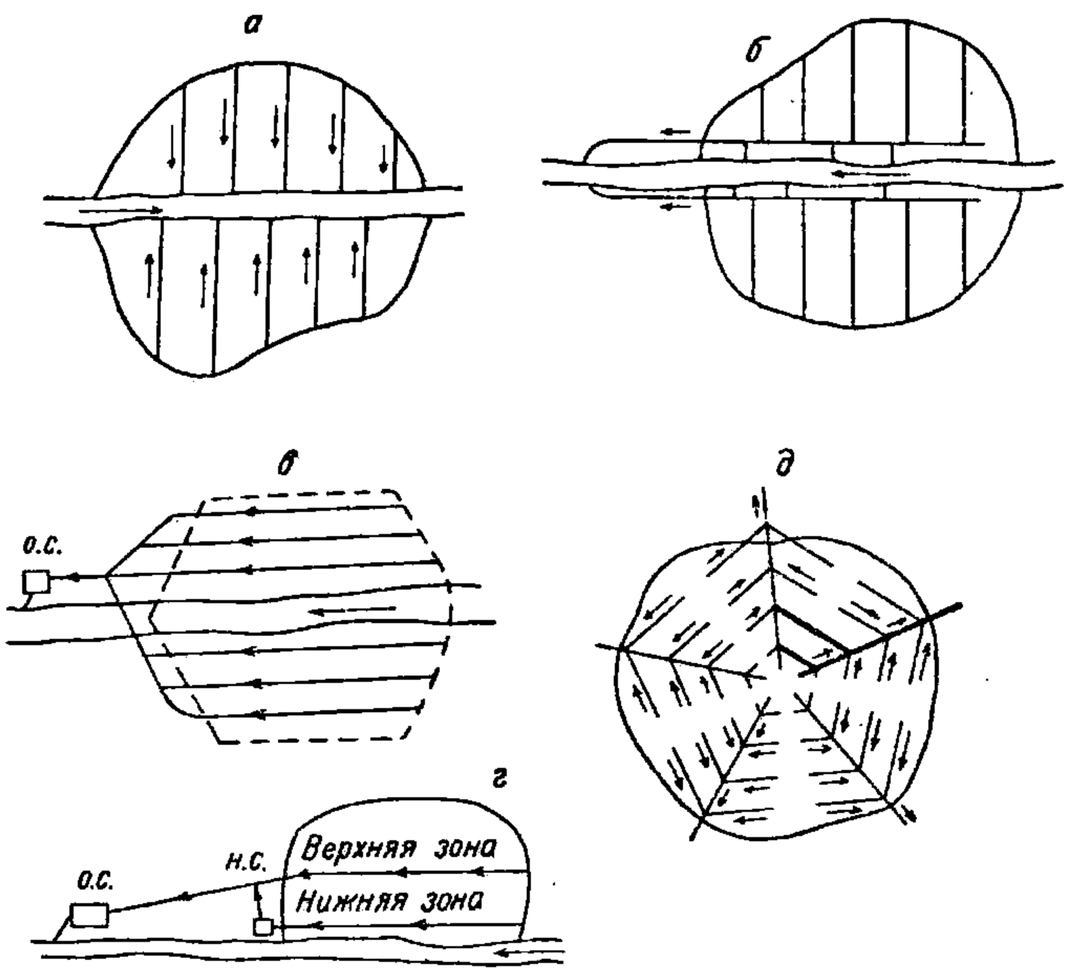
Канализационные сооружения. Такие сооружения разделяются на сеть (уличную, дворовую и домовую), водоподъемные сооружения и очистительные станции (см. *Биологический способ очистки сточных вод*).

Уличная (городская канализационная) сеть состоит из: уличных труб, в к-рые сточная вода поступает из домовладений; коллекторов, в к-рые вода поступает из ряда труб, расположенных на известной территории (бассейн) населенного места, и каналов, принимающих воды из нескольких коллекторов. Иногда каналы носят название главных коллекторов, водоводов и магистралей. Расположение уличной сети зависит от рельефа местности, расположения водных протоков и от пункта, куда сточные воды направляются для их обезвреживания. По расположению коллекторов различаются следующие системы. Перпендикулярная система (фиг. 1, а) направляет сточные воды через коллекторы, расположенные перпендикулярно к реке, в воды последней без очистки; эта система возможна, если местность имеет скат к водоему и количество сточных вод, поступающее в него, мало по сравнению с водоемом, т. е. получается большое разжижение; на практике это встречается редко или же применяется исключительно для отвода атмосферных вод (Ленинград). Если, во избежание загрязнения реки, устья коллекторов перехватываются каналами, идущими вдоль берега, то получается пересеченная система (фиг. 1, б), при к-рой сточные воды спускаются в реку ниже города (Лондон, Париж, Киев, Самара, Сталинград и др.). Во избежание слишком сильного заглубления береговых коллекторов, что сопряжено с работой в насыщенных водою грунтах, применяется веерная, или параллельная, система (фиг. 1, в) (Висбаден, Брюссель, Рига, Бреславль). При поясной (зональной) системе (фиг. 1, г) каждая зона имеет свой независимый канал и может иметь даже особую систему К. (Франкфурт н/М., Кёльн, Стокгольм, Варшава, Днепропетровск, отчасти Москва). При радиальной системе (фиг. 1, д) населенное место разделяется на особые участки, из которых каждый канализуется самостоятельно по направлению от центра к периферии (Берлин). На практике, в зависимости от рельефа местности, обычно приходится комбинировать различные системы.

Наименьшая глубина заложения уличной канализационной трубы определяется по формуле:

$$H = h + i\left(L + \frac{l}{2}\right),$$

где h — глубина подвала или глубина промерзания в данном месте, i—уклон дворовой трубы, L—длина дворовой трубы, зависящая от глубины домового участка, и l—ширина улицы. Для средней полосы СССР наименьшая глубина h установлена в последнее



Фиг. 1.

время Всесоюзным водопроводным и санитарно-техническим съездом, в виду климатическ. условий, в 1,5 *м*, а в крайних случаях, при соответствующ. утеплении труб,—0,7 *м*. В Москве глубина заложения делается не менее 1,7, в Киеве — 1,5, в Харькове — 1,3 *м*.

Трубам канализационной сети сообщают такие уклоны, чтобы скорости движения жидкости по ним не повреждали материала труб и в то же время не допускали осаждения взвешенных веществ из сточной жидкости (самоочищающиеся скорости). Практикой установлены следующие скорости, в зависимости от размеров труб: для труб диам. до 250 *мм*—0,9 *м/ск*, для труб диам. до 450 *мм*—0,75 *м/ск* и для труб диам. от 500 *мм* и выше — 0,60 *м/ск*. Сеть д. б. спроектирована т. о., чтобы скорость движения жидкости постепенно возрастала от верховья трубы до ее устья, хотя на практике, в силу местных условий, приходится отступать от этого правила, так как приходится сообразоваться с уклоном местности, глубиной заложения труб и пр. В большинстве случаев при крутых уклонах местности трубы укладываются с перепадами.

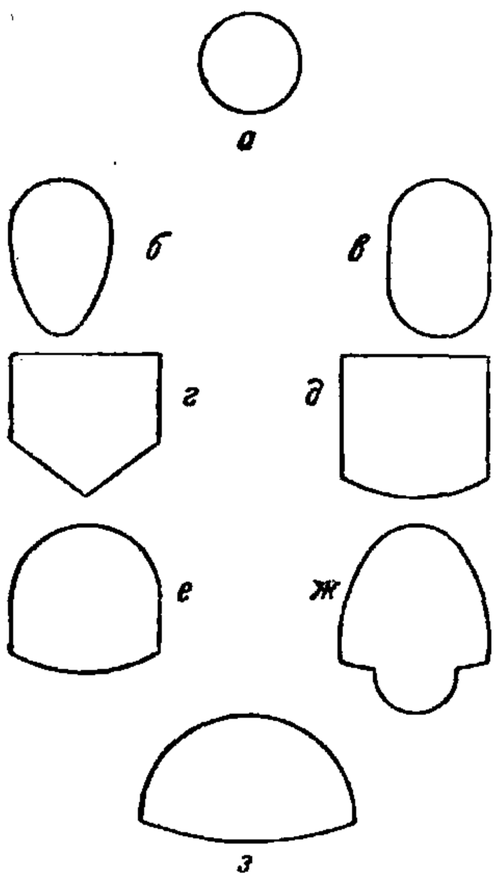
Для труб дворовых сетей допускаются следующие уклоны:

Диам. 125 *мм*	0,015—0,010
» 150 »	0,012—0,008
» 200 »	0,010—0,006
» 250 »	0,008—0,005
» 300 »	0,006—0,004

Цифры справа показывают минимальные уклоны. Что же касается максимальных уклонов, то, по герм. правилам 1926 г., уклоны больше 0,10 допускаются лишь в исклю-

чительных случаях. По московским правилам, уклоны более 0,15 не допускаются.

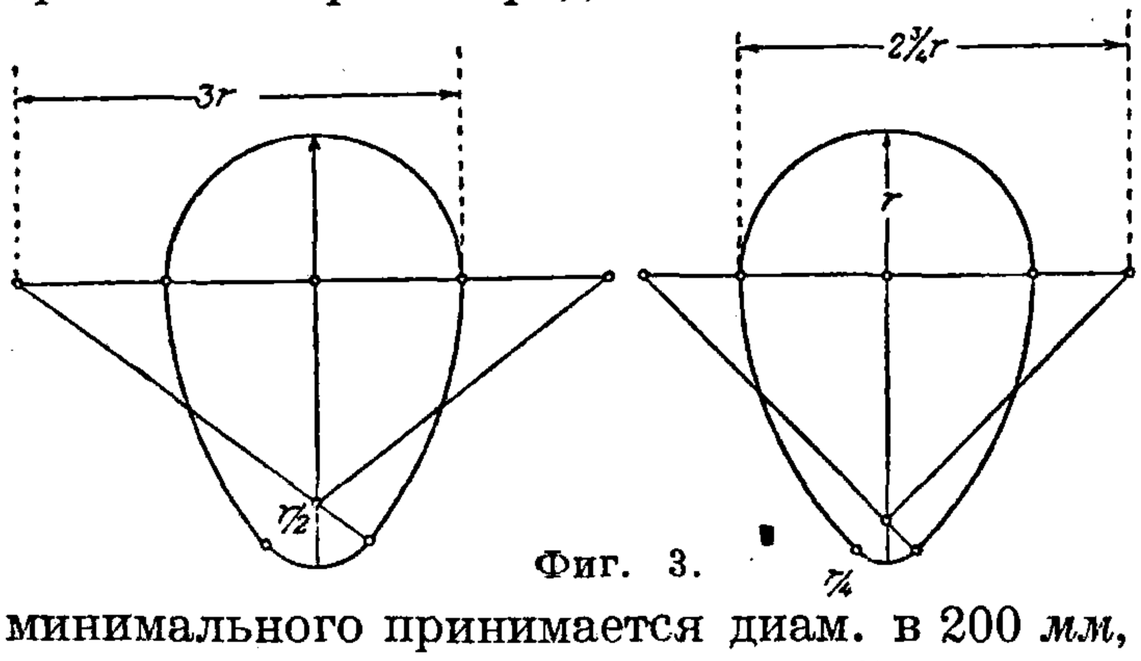
Форма поперечного сечения канализационных труб бывает весьма разнообразна (фиг.2)



Фиг. 2.

в зависимости от характера отводимых вод (домовых или атмосферных), расхода их, скорости движения и различных местных условий (подземные сооружения, ширина улиц и пр.). Наиболее употребительны круглая и яйцевидная формы (а, б). Там где имеются сильные колебания расходов сточных вод, например при общесплавной системе, яйцевидное сечение имеет преимущество перед круглым, так как в первом случае при малых расходах получается бóльшая скорость, чем при втором. Когда почему-либо желают выиграть в высоте, применяют сжатые лотковые сечения (фиг. 2, е, з), например для ливнеспусков. В некоторых случаях, если трубы или канал будут заложены неглубоко, применяют сжатые профили с плоским перекрытием (фиг. 2, г и д). Иногда применяются банкетные сечения (фиг. 2, ж), где жидкость течет по среднему лотку, а банкеты служат для прохода рабочих. На фиг. 3 показаны наиболее часто употребляющиеся яйцевидные (овоидальные) сечения (Филлипса—справа и обыкновенное—слева).

Наименьшие размеры круглых уличных труб—150 *мм* (Москва, Киев, нек-рые англ. и америк. города). При выборе минимальных диаметров круглых труб следует иметь в виду могущие быть засорения труб от попадающих в них при небрежном пользовании К. крупных предметов. Поэтому в последнее время в нек-рых городах СССР в качестве



Фиг. 3.

минимального принимается диам. в 200 *мм*, но в этом случае следует считаться также и с расходами сточной жидкости, т. к. при малых расходах может получиться недостаточное наполнение труб и малая скорость течения, в силу чего на стенках будут оседать взвешенные вещества, засоряя трубы. Диаметры труб различаются между собою на 25—50 *мм*. Минимальная высота яйцевидного (овоидального) сечения—700 *мм*.

Расчет канализационных труб производят по эмпирич. ф-лам, при чем при раздельной системе во внимание принимают не полное сечение трубы, а лишь часть его, т. к. предполагается лишь частичное наполнение труб во избежание их переполнения в нек-рые моменты. Наполнение труб при раздельной системе принимается: для круглых труб ∅ 150÷300 *мм*—0,5 диам., ∅ 350÷450 *мм*—0,6 или 0,66 диам., ∅500÷600 *мм*—0,66 диам., свыше 600 *мм*—0,66 или 0,75 диам.; для овоидальных труб высотой от 750 *мм*—0,66 высоты.

Расчетных ф-л для канализационных сетей существует весьма много, но все они м. б. приведены к основному типу ф-лы Ш е з и:

$$v = c\sqrt{Ri},$$

где v—скорость жидкости в трубе в *м/сек*; $R = \frac{F}{P}$—гидравлич. радиус, т. е. отношение площади, занятой водой (живого сечения), к смачиваемому периметру; i—гидравлический уклон, т. е. уклон на единице длины поверхности протекающей по каналу жидкости, а не дна канала (при малых расходах воды в канале этот уклон можно принять равным уклону дна канала); c—некоторый численный коэфф-т трения (или скорости, как его иногда называют). Значение c различными авторами дается неодинаковое. Ф-лы, к-рые наиболее приняты в настоящее время для расчетов, следующие. Т. н. с т а р а я формула К у т т е р а:

$$v = \frac{100\sqrt{R}}{m+\sqrt{R}} \cdot \sqrt{Ri},$$

где m—коэффициент шероховатости, имеющий, по Куттеру, следующие значения:

Тонко отполированные материалы	0,10—0,15
Чистый (очень хорошо заглаженный) цемент и очень тщательно выстроганное дерево	0,15
Хорошо пригнанные доски, большие железные и железобетонные водоводы . .	0,20
Обыкновенные доски, тщательно выложенные кирпичные и чисто обработанные стенки из тесаного камня, чистые керамические каналы	0,25
Кирпичные стенки и стенки из толстых досок, находившиеся в употреблении, каменные стенки и каналы из цементных труб, гладкие кирпичные каналы, не очень широкие железные трубы, клепаные поперек и в длину	0,30—0,35
В СССР (наиболее часто)	0,25—0,30
В Германии	0,35

Формула Б а з е н а:

$$v = \frac{87\sqrt{R}}{\gamma+\sqrt{R}} \cdot \sqrt{Ri}.$$

Коэфф. γ для очень гладких стенок (заглаженный цемент, строганое дерево)—0,06; для гладких (камен. стенки, кирпичн. кладка)—0,16 и негладких (бутовая кладка)—0,46.

Формула П. Ф. Г о р б а ч е в а:

$$v = \frac{70\sqrt{R}}{b+\sqrt{R}} \cdot \sqrt{Ri},$$

где коэфф. шероховатости b для керамич., бетонных, кирпичных и чугунных труб и каналов равен 0,10.

В СССР широкое применение прежде имела сокращенная формула Г а н г и л ь е и К у т т е р а, которая для метрических мер выражается так:

$$v = \frac{\left(23+\frac{1}{n}\right)\sqrt{R}}{23n+\sqrt{R}} \cdot \sqrt{Ri},$$

где коэффициент шероховатости n имеет следующие значения.

Притертый цемент, тщательно выстроганные доски	0,010
Дощатые стенки, цемент с песком	0,012
Тесаный камень, кирпич с тщательно расшитыми швами, тощий бетон	0,013
Обыкновенная кирпичная кладка	0,015
Бутовая кладка	0,017
Керамич. трубы	0,012—0,013

(Коэфф. 0,012 приблизительно соответствует коэфф. $m = 0{,}25$ в старой ф-ле Куттера.)

Степенная формула Маннинга:

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}}.$$

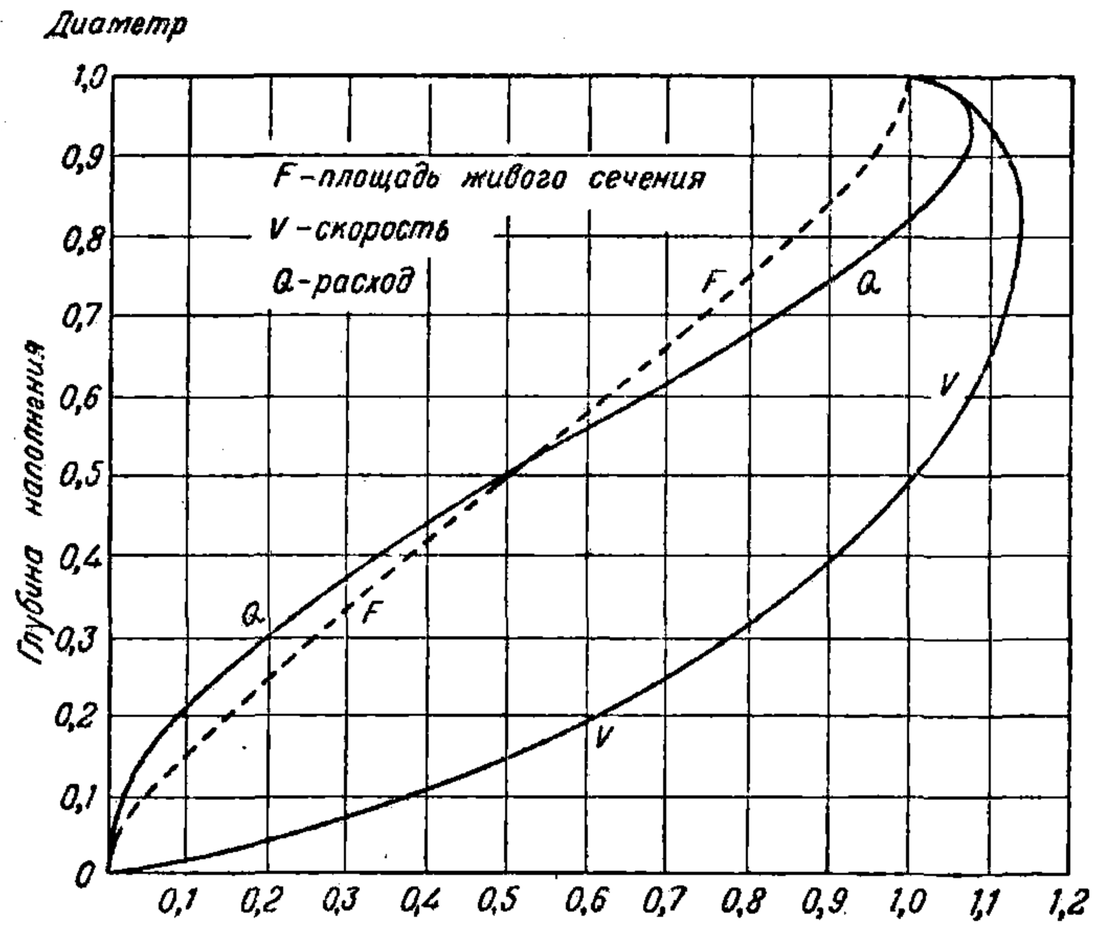
Формула А. Я. Миловича:

$$v = 80\, R^{0,7} i^{0,5} \text{ и др.}$$

Для расчетов весьма важное значение имеет также секундный расход жидкости Q, т. е. количество воды (в $м^3$ или $л$), протекающее через данную площадь живого сечения в 1 ск.; он равняется

$$Q = Fv.$$

Расчет по ф-лам представляет собою довольно кропотливое дело, в виду чего для упрощения работы и сбережения времени пользуются специальными таблицами, составленными по различным ф-лам для различных коэфф-тов и наполнений труб. Кроме того, на практике пользуются также графич. методами (номограммами, диаграммами и пр.). Графич. изображение зависимости между величиной наполнения, площадью живого сечения F, скоростью v и расходом Q в круглом сечении дано на фиг. 4, а для обыкновенного овоидального сечения на фиг. 5. При общесплавной системе К. в основание исчисления расчетного расхода берется умеренный ливень, повторяющийся не чаще

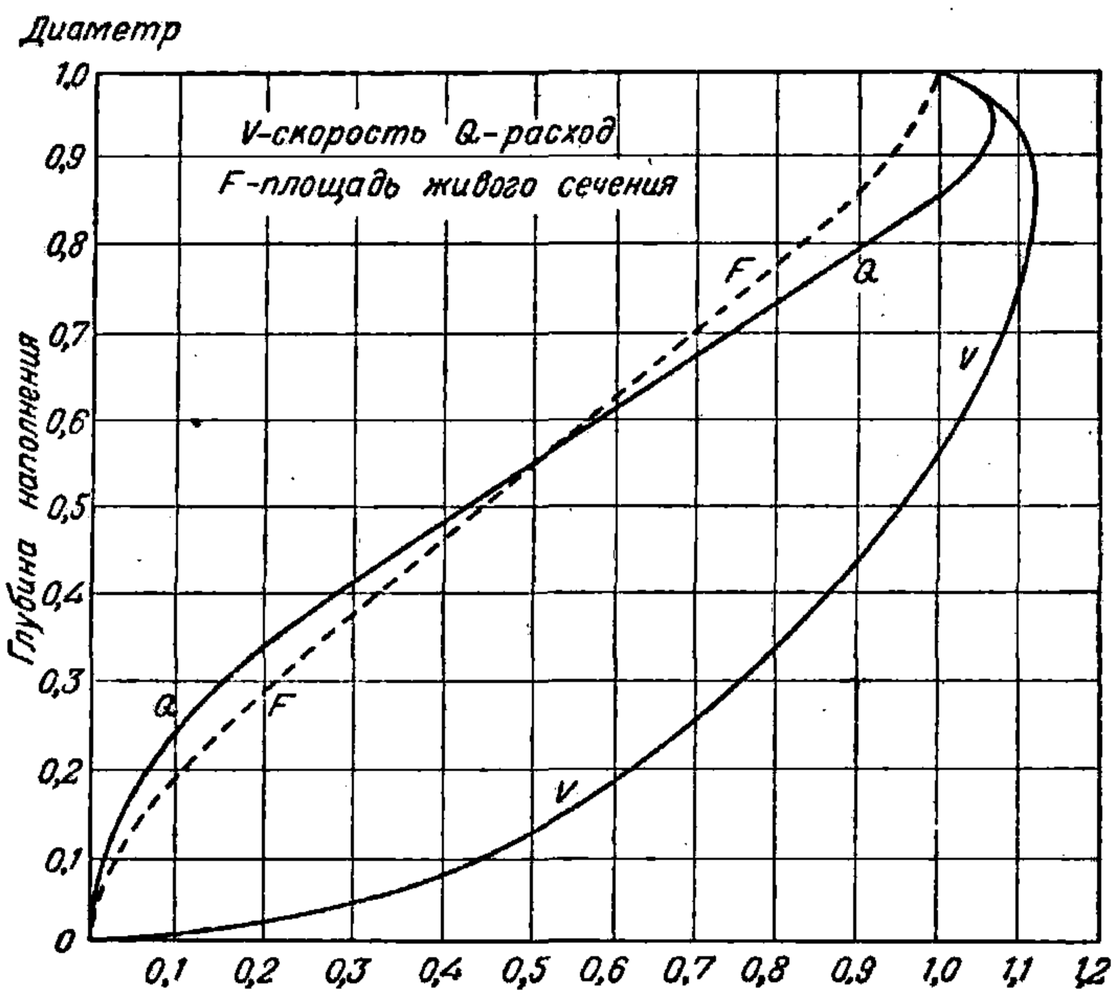


Фиг. 4.

одного раза в год в данной местности, а также коэфф-ты стока и замедления стока (см. *Водосток*).

Материалы, из к-рых устраиваются канализационные сети, должны удовлетворять, кроме требований прочности, еще следующим условиям: они не должны разрушаться от химич. и механич. воздействий сточной жидкости, должны быть непроницаемыми и обладать гладкой внутренней поверхностью, не представляющей препятствий движению сточной жидкости. Наиболее часто применяются трубы керамические (каменно-керамические), кирпичные, бетонные, железобетонные и металлические.

Керамические трубы имеют очень большое применение при К. населен. мест, и большая часть протяжения сети состоит из таких труб. Так, в Москве 533,48 *км*, 91,4% всего протяжения сети, в Харькове

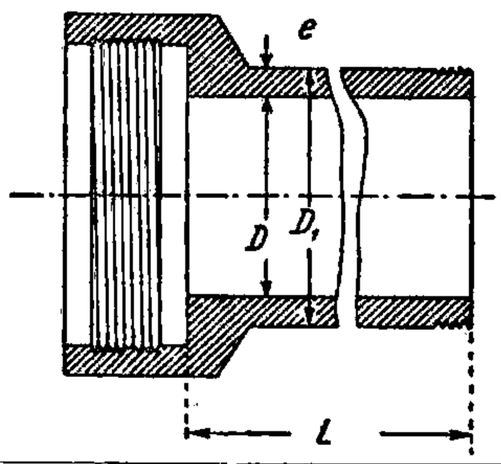


Фиг. 5.

77 *км*, или 86,4%, состоят из керам. труб. Эти трубы отличаются хорошими гидравлич. свойствами и дешевизной. В настоящее время в СССР установлен обязательный сортамент, по ОСТ 68 — 73 (табл. 2). Трубы в

Табл. 2. — Стандарты керамических канализационных труб (ОСТ).

Продольный разрез керамических канализационных труб

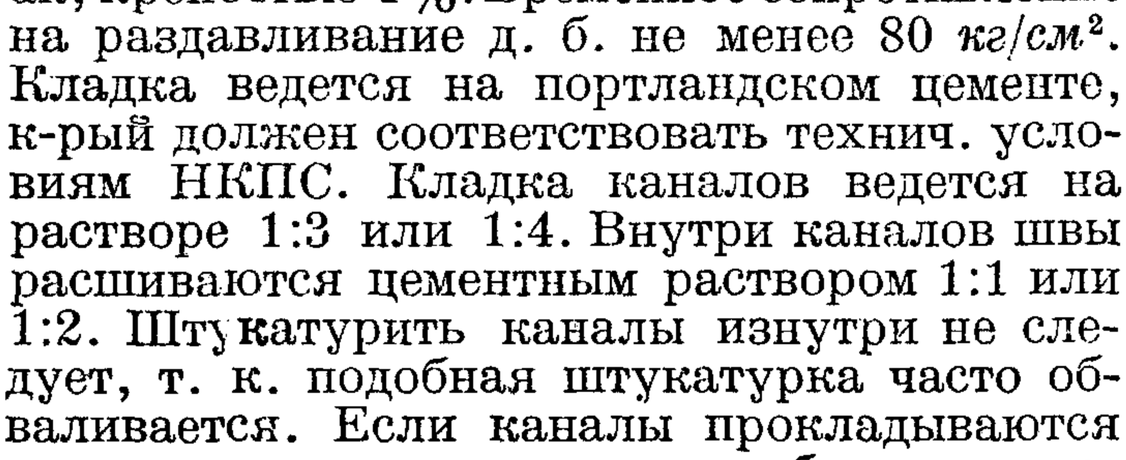


D	e	D_1	L
125	18	161	800—1 000
150	19	188	800—1 000
200	22	244	800—1 000
250	25	300	800—1 000
300	28	353	800—1 000
350	30	410	800—1 000
400	32	464	800
450	35	520	800
500	38	576	800
550	40	630	800
600	43	686	800

500 *мм* и более укладываются в бетонном стуле. Из фасонных частей нормированы: тройники с углами в 45 и 60°, отводы в 30 и 45° для труб ⌀ 125, 150 и 200 *мм*, переходы: 125 × 150, 125 × 200 и 150 × 200 *мм*, муфты и

пробки (заглушки) для труб ⌀ 125, 150 и 200 *мм*. Керамич. трубы и фасонные части д. б. круглого сечения с равномерной толщиной стенок, машинной формовки, хорошо и однородно обожжены; глазурь должна равномерно и без пропусков покрывать обе поверхности трубы, быть гладкой, без недоливов, наплывов, пузырей и трещин. Трубы должны впитывать не более 4% воды. Труба вместе с раструбом должна на 1 *м* строительной длины выдерживать внешнюю нагрузку не менее: 2 000 *кг* при ⌀ 125, 150, 200 и 250 *мм*, 2 500 *кг*—при ⌀ 300, 350 и 400 *мм* и 3 000 *кг*—при ⌀ 450, 500, 550 и 600 *мм*. Гидравлическое давление они должны выдерживать не ниже: 4 *atm* при ⌀ 125—250 *мм* и 3 *atm* при ⌀ 300 *мм* и выше. Серная или соляная к-та, а также едкий натр или кали не должны разрушать глазури или тела трубы. При кипячении в воде черепка трубы глиняная масса должна поглощать не более 9% воды. Соединение керамич. труб друг с другом делается посредством заделки одной половины зазора между трубами смоленой прядью, а другой—асфальтовой массой (асфальтовый стык). В последнее время наиболее часто применяется асфальтовый стык. Заливка стыков портландским цементом не рекомендуется, т. к. стык теряет в этом случае упругость и труба при осадке земли может разрушиться.

Очень распространенным материалом для кладки канализационных каналов является к и р п и ч. Он д. б. хорошего качества и обжига. Процент всасывания воды д. б. не более 13 при нахождении в воде в течение суток. На кирпич не должны оказывать разрушающего действия в течение суток серная и соляная кислоты, едкое кали и аммиак, крепостью 1%. Временное сопротивление на раздавливание д. б. не менее 80 *кг/см*^{2}. Кладка ведется на портландском цементе, к-рый должен соответствовать технич. условиям НКПС. Кладка каналов ведется на растворе 1:3 или 1:4. Внутри каналов швы расшиваются цементным раствором 1:1 или 1:2. Штукатурить каналы изнутри не следует, т. к. подобная штукатурка часто обваливается. Если каналы прокладываются в водоносных грунтах, то во избежание проникновения в них грунтовых вод наружная поверхность каналов штукатурится цементным раствором 1:1 или 1:2. Обычно кладка каналов ведется концентрическими рядами, при чем между ними делается смазка из



Фиг. 6.

цемента. Часто применяется фасонный кирпич. В зависимости от условий работы кирпичные каналы должны подвергаться статическ. расчету. Иногда, для придания лотку каналов большего механич. сопротивления, применяют особые подошвенные камни, изготовленные из каких-либо естественных твердых пород, или делают облицовку обожженными керамиковыми плитками или кирпичом-железняком; ранее делались для этой цели специальные керамиковые фасонные части, но они не оправдали себя на практике. Кирпичные коллекторы имеются в Москве, Харькове, Самаре, Риге, Варшаве. На фиг. 6 показано несколько типов кирпичных коллекторов московской канализации.

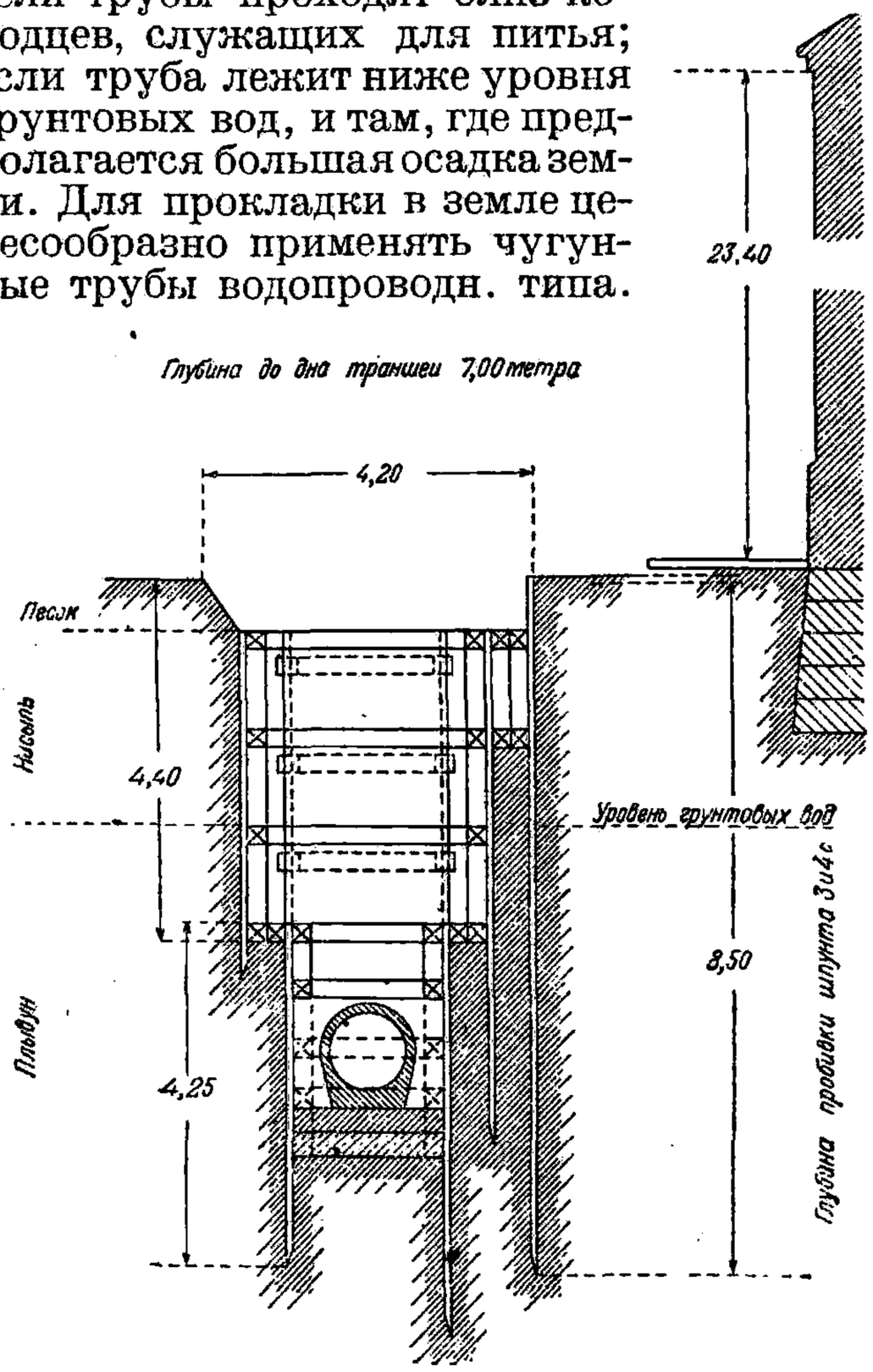
Для устройства уличных сетей применяются также трубы малого диаметра из портландского ц е м е н т а с песком и большого диаметра—из б е т о н а. Применению таких труб способствует их сравнительная дешевизна, возможность придания им любой формы и гладкой поверхности. Однако, употреблять такие трубы в канализационной практике следует с большой осторожностью, т. к. из заграничной и русской практики известны случаи разрушения бетонных труб от химического воздействия сточной жидкости, газов, выделяющихся из нее, а также грунтовых вод.

По последним научным данным, бетон представляет собою коллоидальную массу кремнезема, пронизанную кристаллами гидрата окиси кальция (гашеной извести), сросшимися согласно кристаллографическим силам сцепления. Эти кристаллы извести обладают также большим механическим сцеплением с песком и определяют те механич. свойства, к-рыми отличается бетон. Чистая вода, растворяя гидрат окиси кальция, нарушает прочность бетона, а вода, содержащая поваренную соль, растворяет известь еще более, т. к. поваренная соль физически ускоряет процесс растворения извести. Если в воде содержатся магнезиальные соли, то гидрат окиси кальция, взаимодействуя с ними, образует бессвязную массу гидрата окиси магния. Сернокислые соли, а особенно сернокислый кальций, образуют с бетоном соли Деваля, что сопровождается увеличением объема и появлением больших напряжений, разрушающих бетон. Если через стенки бетонных труб фильтруется вода, заключающая углекислый газ, то вся углекислота остается возле поверхности, а чистая вода проходит в бетон, растворяет гидрат окиси кальция и, выходя в виде насыщенного раствора гашеной извести, под влиянием углекислоты воздуха, образует натеки углекислого кальция на стенках водоводов. К-ты и щелочи вредно действуют на бетон. Рекомендуется ряд способов для придания стойкости бетону, например применение цемента с добавками пуццолановых или трассовых пород, глиноземистого цемента, покрытие поверхностей различными флюатами, торкретирование и пр., но одни из этих способов весьма дороги, другие еще недостаточно изучены. Поэтому до применения бетона следует точно изучить состав сточной жидкости, а также состав грунтовых вод. Применение бетонных труб для водостоков, отводящих атмосферные воды, сопряжено с меньшим риском.

К. из бетонных труб выполнена во многих городах Германии и других стран Европы, в Америке, а в СССР—в Одессе, Алупке, Ялте, Н.-Новгороде, Перми, Оренбурге, на всех группах Кавказских минеральных вод. К. из бетонных труб для отвода хозяйственных и атмосферных вод строится в настоящее время в Ленинграде (на Васильевском о-ве с 1925 г.). На фиг. 7 показан поперечный разрез траншеи для прокладки бетонной трубы в Ленинграде с теми креплениями, которые применялись возле высоких домов.

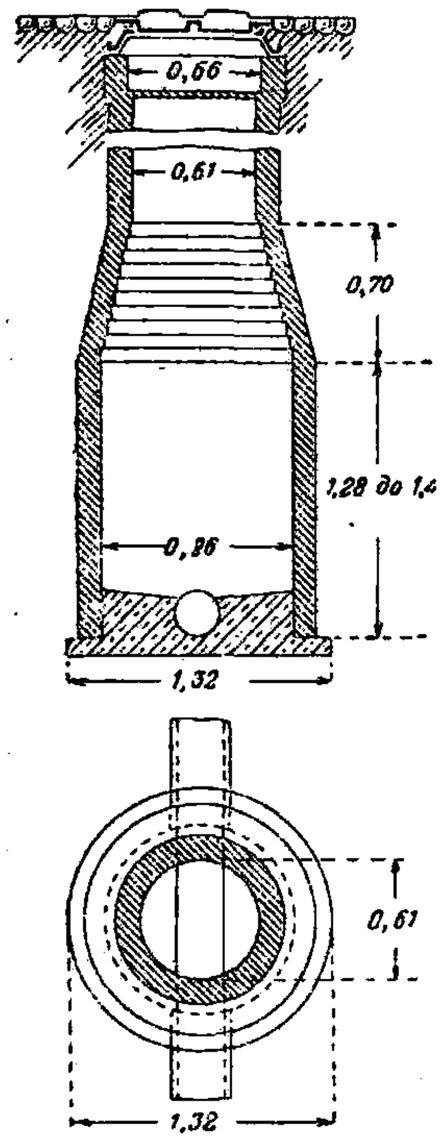
Все сказанное о бетонных трубах справедливо и для железобетонных. Они применяются гл. обр. при общесплавной системе для главных коллекторов и ливнеспусков. Применение металлическ. (чугунных, железных и стальных) труб для прокладки в земле сравнительно ограничено. Они употребляются как напорные трубы для обхода препятствий, в виде сифонов и дюкеров. В домовладениях чугунные асфальтированные тру-

бы применяются для дворовых сетей в следующих случаях: если они проходят ближе 2 *м* от стен зданий, погребов и ледников; если трубы проходят близ колодцев, служащих для питья; если труба лежит ниже уровня грунтовых вод, и там, где предполагается большая осадка земли. Для прокладки в земле целесообразно применять чугунные трубы водопроводн. типа.



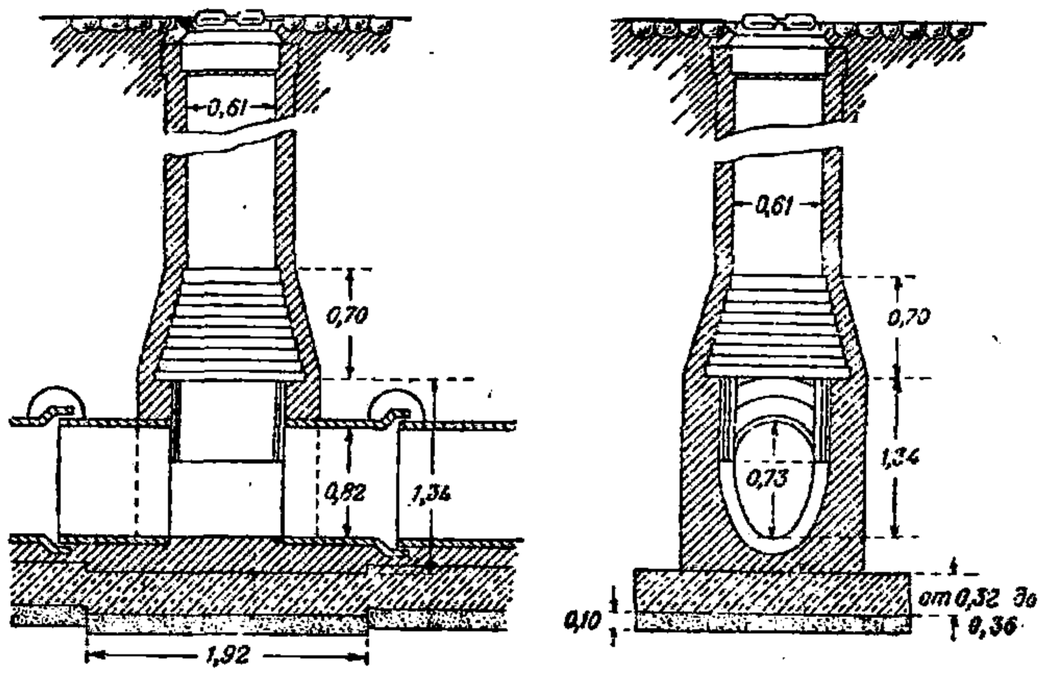
Фиг. 7.

Рвы для прокладки канализационных труб и каналов роются обычно, в виду ограниченности места, с вертикальными стенками. При этом, во избежание обвалов земли, стенки укрепляются распорами (см. *Земляные работы*). Если при копании канав встречается грунтовая вода, то горизонтальные распоры доводят обычно до уровня ее или немного ниже, а нижнюю часть канавы обделывают вертикальными досками, которые по мере углубления канав забиваются ручными бабами. В плывучих грунтах вдоль стенок канав забивают дощатые шпунтовые ряды (фиг. 7). Деревянная обделка стенок канав служит предохранением против осадки почвы и повреждения зданий. При глубине, превышающей 8—10 *м*, может оказаться экономически выгодным тоннельный способ работ.

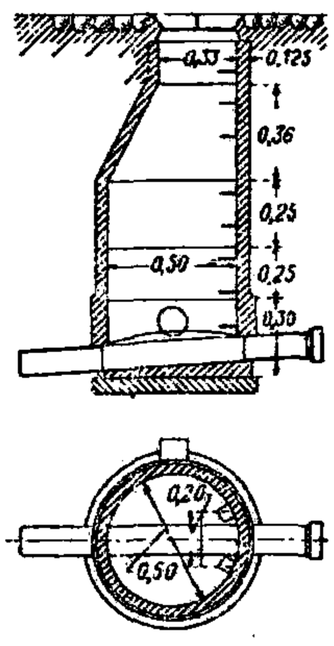


Фиг. 8.

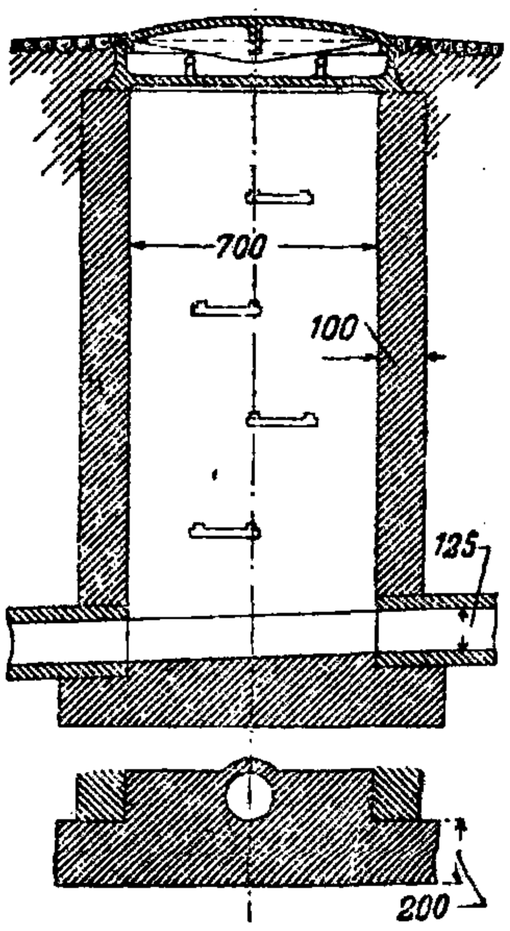
Для удобства осмотра, промывки и прочистки сетей устраиваются смотровые колодцы в местах соединения отдельных канализационных линий, на поворотах, в точках переломов уклонов труб, в местах соединения дворовых труб с выпусками из зданий и на прямых участках труб. В этом случае, для удобства прочистки труб, они ставятся на расстоянии не более 50 *м* друг от друга, а в дворовых сетях даже не более 40 *м*; на больших же каналах, через к-рые можно проходить стоя, это расстояние увеличивается до 100—150 *м* и более. Смотровые колодцы имеют круглое, квадратное, овальное или иное сечение и делаются из кирпича, толщиною в $^1/_2$—1 кирпич, или из бетона, толщиною 10—15 *см*. При небольших каналах в них помещают иногда задвижки и специальные клапаны для промывки труб. Сверху колодцы закрываются чугунными люками с крышками; для возможности спуска в них в стенки заделываются в шахматном порядке чугунные или железные скобы на расстоянии 0,3—0,4 *м* друг от друга. На улицах с большим движением колодцы помещают часто в стороне и соединяют с каналами особыми галлереями. На фиг. 8 и 9 изображены смотровые колодцы (на круглой и яйцевидной трубах) в Москве, на фиг. 10 дан несколько иной тип (Кавказские минеральные воды, Сталинград и др.). На фиг. 11 показан смотровой колодец из бетонных колец для дворовых сетей. В днище колодцев для сточной жидкости делается особое углубление, соответствующее диаметру трубы, т. н. лоток.



Фиг. 9.



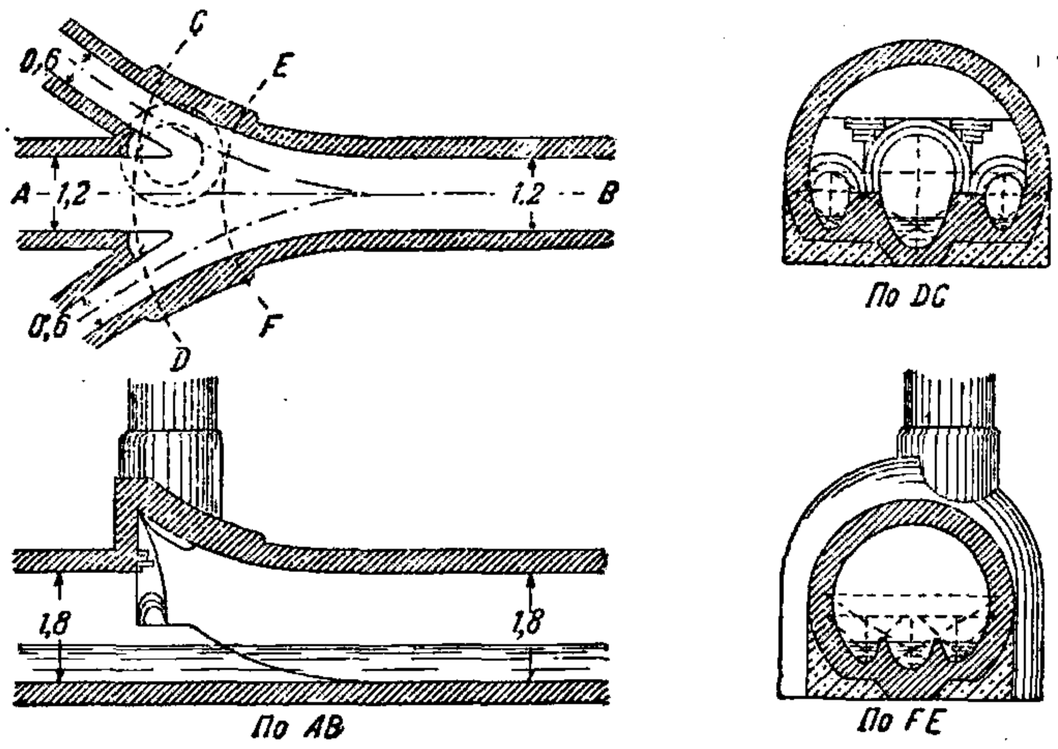
Фиг. 10.



Фиг. 11.

Соединение больших канализационных коллекторов между собою производится т.о., чтобы ось бокового канала была касательной

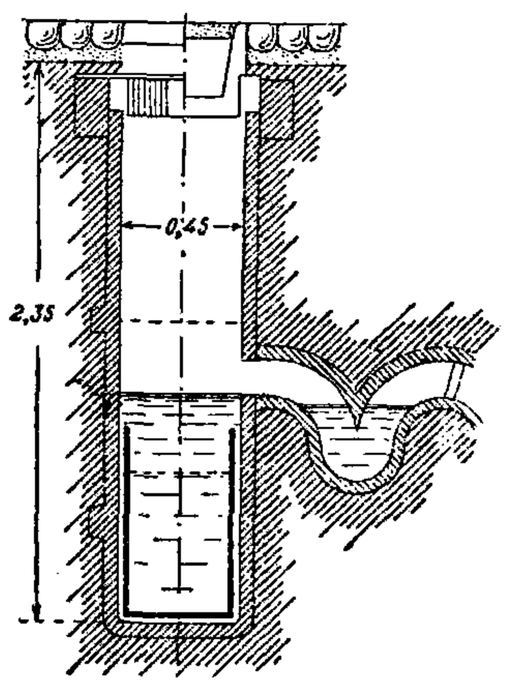
к оси главного, для того чтобы струи протекающей сточной жидкости не перебивали друг друга, не уменьшали этим скорости течения и не способствовали отложению осадков. На фиг. 12 показано соединение трех каналов, перекрытое трубчатым сводом; здесь



Фиг. 12.

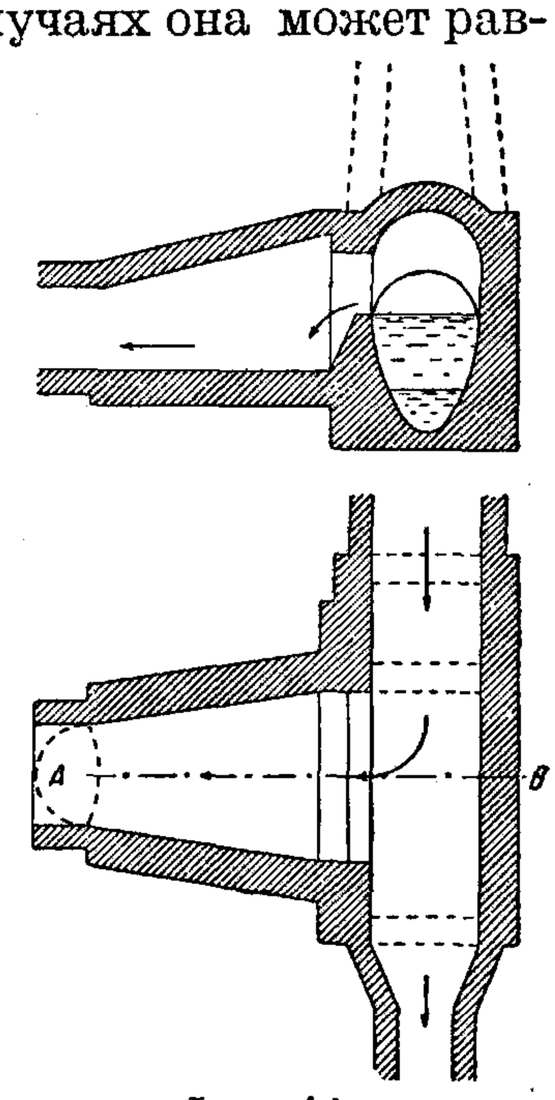
виден также смотровой колодец. Для уменьшения количества смотровых колодцев в прежнее время устраивались т. н. ламповые колодцы, представляющие собою керамич. или бетонную трубу, соединяющуюся с канализационной трубой. Ламповый колодец перекрывался чугунной крышкой на особом фундаменте во избежание порчи трубы. Для осмотра трубы в ламповый колодец опускали горящую лампу, а из смотрового колодца рабочий при помощи зеркала просматривал трубу. В последнее время ламповые колодцы стали применяться как вентиляционные отверстия.

При общесплавной К. для приема атмосферных вод на улицах, площадях и во дворах владений устраивают особые колодцы круглого, квадратного, прямоугольного или овального сечения с решетками — т. н. дождевые приемники. Они бывают кирпичные, бетонные, керамические, а при небольших размерах, для дворов домовладений, — и чугунные. Решетки делают с прозорами в 15—25 *мм*. С канализационными трубами приемники соединяются обыкновенно керамическ. трубами диаметром 100—150 *мм*. Для того чтобы газы из сети не выходили наружу, дождевые приемники снабжаются гидравлическими затворами (сифонами). В колодцах делаются отстойники для осаждения песка и тяжелых веществ, и для более удобной очистки (при диаметре 0,45—0,25 *м*) в них ставят ведра из оцинкованного железа толщиною 3 *мм*. Площадь стока, приходящаяся на один колодец, принимается в 400—700 *м*². На фиг. 13 изображен немецкий тип дождеприемника (Гейгера).



Фиг. 13.

Если бы каналы при общесплавной К. рассчитывались на воды ливней, бывающих всего несколько раз в году и продолжающихся обычно недолго, то каналам пришлось бы придать очень большие размеры. В виду этого на каналах или в колодцах устраивают особые отверстия—л и в н е с п у с к и, от которых идут кратчайшим путем в водный проток особые каналы—л и в н е о т в о д ы. Назначение ливнеспусков состоит в том, чтобы сточные воды из каналов, значительно разжиженные дождевой водой, отводить кратчайшим путем в реку. На фиг. 14 показан ливнеспуск и начало ливнеотвода. Конструкция ливнеспуска зависит, во-первых, от разницы между горизонтом сточной жидкости в подводящем канале на уровне водослива (порога) ливнеспуска и горизонтом воды в водном протоке. Эта разница уровней бывает иногда значительной, иногда весьма малой, а в иных случаях она может равняться нулю или даже быть отрицательной (например во время высоких вод в реке); во-вторых, она зависит от к о э ф ф и ц и е н т а р а з ж и ж е н и я, т. е. числа объемов ливневой воды, которые д. б. смешаны с 1 объемом домовых вод в часы максимального поступления последних, при учете всех местных условий и без вреда с санитарной точки зрения. Средние величины для этого коэфф-та m—в пределах города 4—5, вне пределов 1,5—2; во всяком случае в каждом данном месте этот вопрос д. б. согласован с санитарным надзором. Нек-рыми городами приняты следующие величины m:



Фиг. 14.

Варшава	0,5	Бреславль	3
Висбаден	5	Эмден	7
Данциг	2—3	Гамбург	3,4
Самара	4—6	Мюльгаузен	8,8
Кёльн	2,2—3,5	Франкфурт н/М.	4
Берлин	6,4	Штеттин	9,5

Для определения высоты от дна канала, на к-рой следует расположить порог ливнеспуска, можно, определив максимальный секундный расход домовых вод, притекающих к ливнеспуску, умножить его на $(m+1)$ и определить глубину наполнения канала, пользуясь графиками фиг. 4 и 5, что и будет соответствовать искомой высоте порога. Ширина ливнеспуска определяется обычно по ф-лам гидравлики для расхода через незатопленный (совершенный) водослив, если истечение совершается свободно в водный проток, и через затопленный (несовершенный) водослив, если уровень воды в протоке выше порога водослива, но ниже уровня воды в канале. Для первого случая ширина водослива определяется по ф-ле

$$Q = 0{,}5\, bh\sqrt{2gh},$$

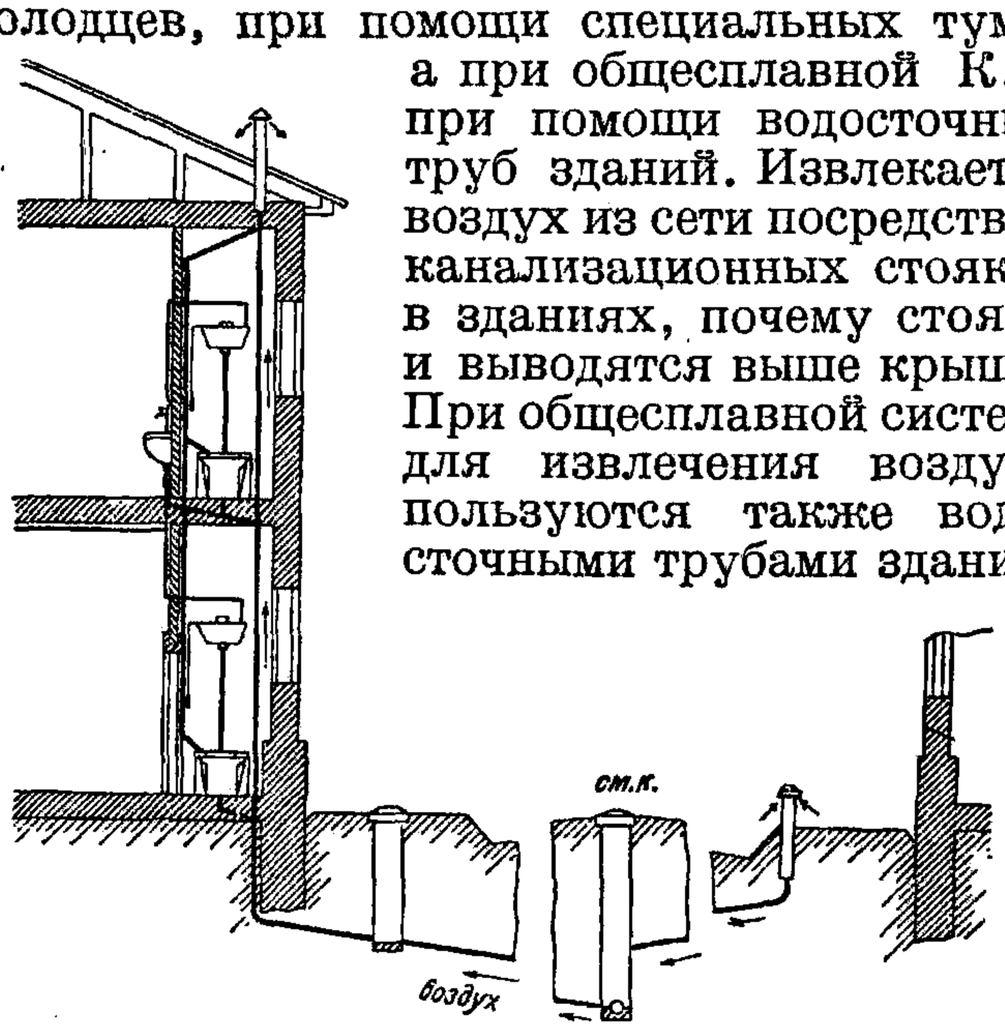
где Q—расход воды в 1 ск. через водослив, h—высота слоя воды, сливающейся через порог, b — ширина водослива и $g = 9{,}81$ *м/ск*². Для второго случая служит ф-ла

$$Q = b\,(0{,}53\,h + 0{,}6\,a)\sqrt{2gh},$$

где *a*—высота слоя воды между порогом водослива и уровнем воды в ливнеотводе. Ливнеотводы рассчитываются как обыкновенные каналы; сечение их имеет по большей части лоткообразную или круглую форму.

В нек-рых случаях на пути канализационного коллектора встречается какое-нибудь препятствие, напр. река, овраг, водопроводная или газовая труба и пр.; тогда часть коллектора для перехода через препятствие делается в виде изогнутой трубы, носящей название *дюкера* (см.), перевода. Изогнутая труба, имеющая положение обратное дюкеру, носит название *сифона* (см.).

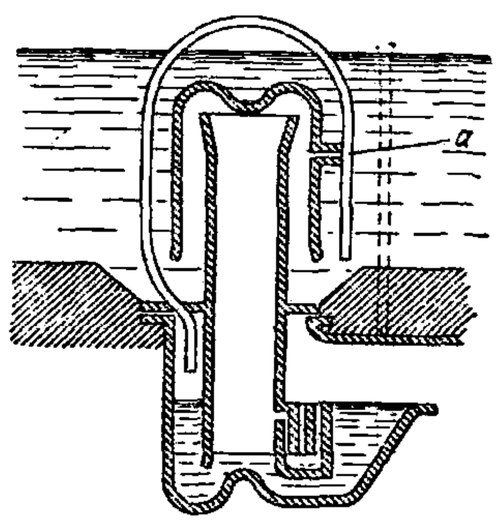
На стенках канализационных труб происходит отложение осадков, которые, разлагаясь, выделяют дурно пахнущие газы (сероводород, аммиак и др.). Эти газы через домовые ответвления могут проникнуть в жилые помещения. Для устранения этого необходимо устраивать в е н т и л я ц и ю канализационной сети, для чего с одной стороны в сеть вводят свежий воздух, а с другой удаляют испорченный. Циркуляция воздуха происходит вследствие разницы температур наружной и в трубах. Введение свежего воздуха в сеть осуществляется при помощи решетчатых крышек смотровых колодцев (где нет снежного покрова), ламповых колодцев, при помощи специальных тумб, а при общесплавной К.—при помощи водосточных труб зданий. Извлекается воздух из сети посредством канализационных стояков в зданиях, почему стояки и выводятся выше крыши. При общесплавной системе для извлечения воздуха пользуются также водосточными трубами зданий,



Фиг. 15.

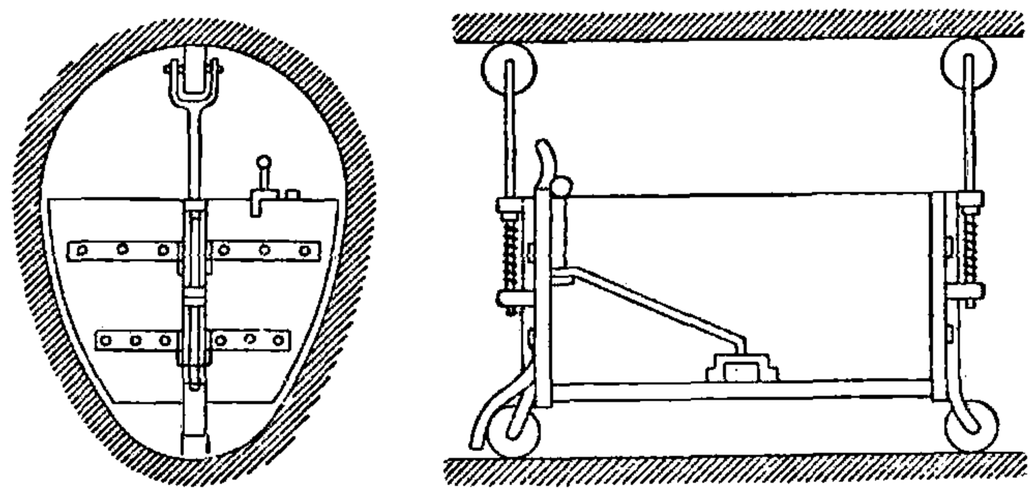
присоединяющимися к уличным каналам в их вершине. На фиг. 15 изображена схема вентиляции сети при раздельн. канализации.

Для содержания канализационной сети в удовлетворительном состоянии за ней нужен постоянный н а д з о р и у х о д. Отношение населения к канализационным сооружениям в наших городах самое небрежное: в сеть спускают самые недопустимые предметы, в клозеты бросают мусор, золу, очистки овощей, через колодцы спускают камни, кирпичи, сено, солому, битое стекло и пр.; в результате происходит закупоривание сети, очень часто связанное с приостановкой действия К. в целых населенных районах. В Москве на сто владений, пользующихся К., в 1928 году приходилось 48 засорений, а в Киеве в 1923 г.—75. Промывка сети может происходить сточной же водой или водой из водопровода. Для промывки сети канализационной жидкостью в трубах (колодцах или камерах) применяют пробки или задвижки, а в больших каналах—дверки, помощью к-рых подпирают воду на вышележащих участках трубы. Открывая быстро задвижки или дверки, всю массу воды направляют с большой скоростью в нижележащую по течению часть трубы и т. о. промывают ее. При промывке сети водопроводной водой чаще всего пользуются брандспойтами с пожарными рукавами. Воду для промывки собирают иногда в особые колодцы с сифонами или танками, которые опоражниваются автоматически. На фиг. 16 показан автоматич. сифон Женеста и Гершнера, действие к-рого начинается после затопления отверстия *a* и сжатия воздуха под колоколом. Особенное внимание следует обращать на должную промывку глухих концов труб. Кроме периодич. промывки сети, необходимо прочищать канализационные трубы, проверять механич. приспособления, смазывать задвижки и дверки и пр. Небольшие трубы прочищаются протаскиванием между двумя смотровыми колодцами особых цилиндрических щеток при помощи стальных тросов и лебедок, а трубы большего размера—протаскиванием металлич. совков. Большие каналы иногда прочищаются особыми щитами, к-рые приводятся в действие напором самих сточных вод (фиг. 17). Ведра в дождевых приемниках должны быть периодически очищаемы. Случайные засорения прочищаются промывкой, проталкиванием особых приспособлений, носящих название «кошек» и напоминающих собой кошачью лапу, или стальной проволокой.



Фиг. 16.

При устройстве канализационных сетей иногда бывает невозможно отводить все воды самосплавом и приходится устраивать в о д о п о д ъ е м н ы е сооружения. Сюда относятся насосы, приспособления, действующие разрежением (система Лиернура) и сжатым воздухом (система Шона). Кроме того, существуют гидравлич. подъемники системы Грибоедова, гидро-пневматическ.—Адамса, пневматич.—Сальмсона и др. При проектировании насосных станций следует



Фиг. 17.

прежде всего определить число и размеры насосов, согласно притоку сточных вод. Целесообразнее всего пользоваться диаграммой притока сточных домовых вод в день наибольшего расхода их и ливневых вод в часы максимального расхода домовых, нанося на

диаграмму количества воды, к-рые будут подниматься насосами, по часам дня. Если при станции имеется сборный резервуар, то емкость его д. б. принята при расчетах во внимание. С санитарной точки зрения является нежелательным устраивать у насосных станций, расположенных на заселенных территориях, значительные резервуары, в к-рых будут отлагаться взвешенные вещества, могущие гнить. При определении количества насосов следует иметь в виду число работающих в часы максимального притока, присоединяя к ним известный запас машин, в том числе и на случай ремонта. Индикаторная мощность насоса определяется по ф-ле

$$N_i = \frac{\gamma Q (h + h_1)}{75 \cdot \eta_1},$$

где Q—количество поднимаемых в 1 ск. вод в $м^3$, γ—вес 1 $м^3$ воды ($\cong$ 1 000 $кг$), h—геометрич. высота подъема в $м$, h_1—сумма всех потерь напора при всасывании и нагнетании в $м$, η_1—кпд насоса, равный 0,50 ÷ 0,85. Индикаторная мощность двигателя определяется по формуле

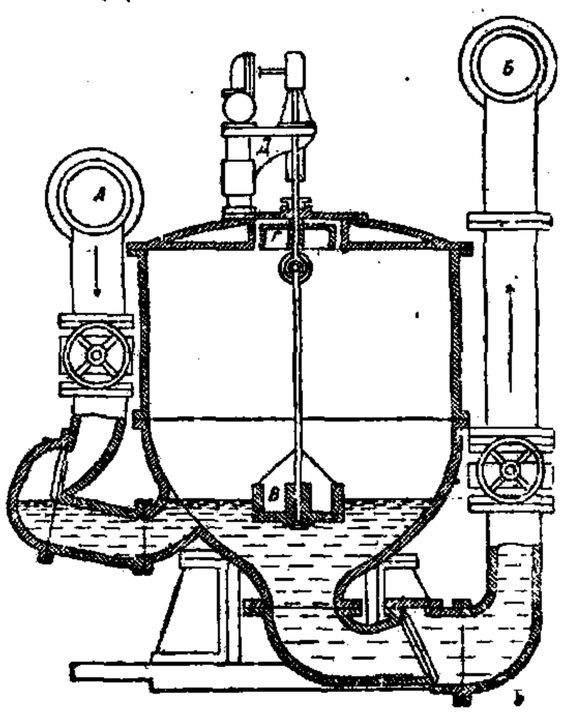
$$N_m = \frac{N_i}{\eta_2},$$

где η_2 —кпд двигателя, равный 0,7 ÷ 0,9. Насосы употребляются поршневые и центробежные. Конструкция канализационных насосов должна считаться со свойствами сточной жидкости и допускать возможно легкую и быструю очистку насосов.

При проектировании станций для перекачки сточных вод обычно предвидят устройство специальных решеток или сит для удерживания плавающих веществ. Иногда строят автоматические насосные станции: электрич. моторы включаются и выключаются посредством поплавков, плавающих в сточной жидкости в подводящем канале, песколовке или резервуаре. Подъем воды сифонами производится редко. Зарядка сифона происходит или посредством выкачивания воздуха особым насосом или же наполнением сифона водопроводной водой.

По системе Лиернура отводятся только фекальные воды, за исключением хозяйственных. При ней город разделяется на небольшие участки, примерно в 6 *га* каждый; все отхожие места соединяются чугунными трубами с чугунными герметич. резервуарами, рассчитанными обычно на 500 чел. Резервуары, в свою очередь, соединяются чугунными трубами с главным резервуаром, герметически закрывающимся и расположенным за городом около машинного здания. Местные и главный резервуары можно соответствующим образом включать и выключать из работы посредством задвижек, поставленных на трубопроводах. Производя насосом разрежение воздуха в местном резервуаре, заставляют нечистоты из отхожих мест поступать в него, а производя разрежение в главном резервуаре, переводят нечистоты из местных резервуаров в главный. Из нечистот добывают удобрение, но с санитарной точки зрения этот метод неудовлетворителен.

При системе Шона подъемный аппарат (эжектор) приводится в движение сжатым воздухом, доставляемым к нему со станции. Эжектор (фиг. 18) представляет собою чугунный резервуар; по трубе *А* в него поступают сточные воды, а по трубе *Б* они удаляются из него под действием сжатого воздуха, поступающего из распределителя *Д*. Чашка-поплавок *В*, соединенная стержнем с чашкой *Г*, поднимается и опускается вместе с уровнем жидкости и автоматически приводит в действие аппарат. Система Шона работает в нек-рых городах З. Европы, а равно применялась прежде для нек-рых частей Киева и на московских бойнях. В Харькове она применяется для перекачки ила из отстойников биологич. станции на площадки для подсушки.



Фиг. 18.

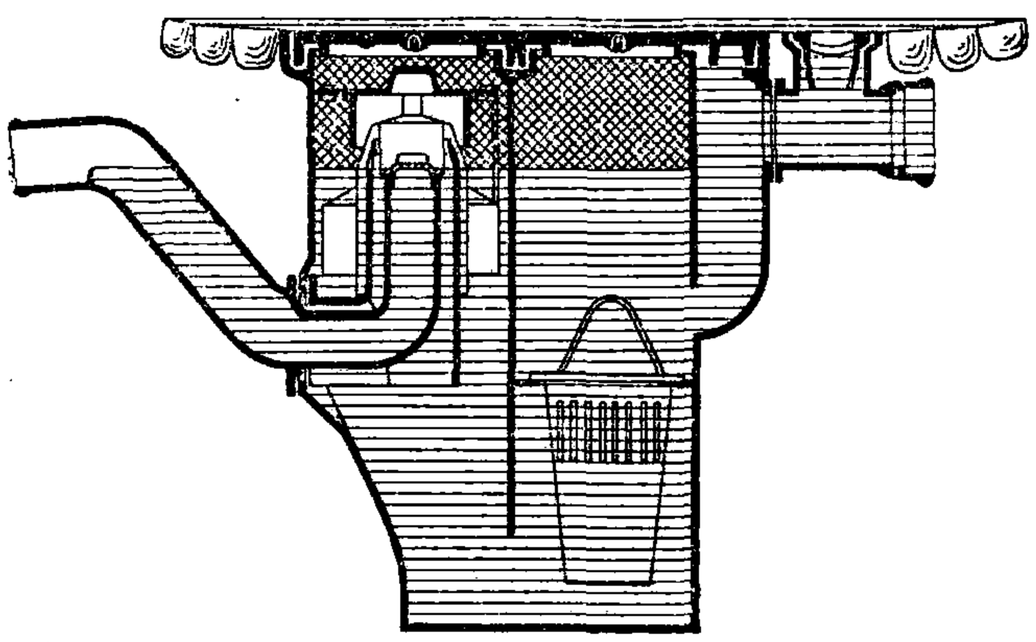
Сточная жидкость поступает в уличную сеть через домовые канализационные устройства. Последние разделяются на дворовую и домовую сети (трубопроводы и т. н. санитарные приборы, или приемники—клозеты, писсуары, раковины, умывальники). О дворовой сети уже сказано выше. Трубы в зданиях, отводящие сточную жидкость, носят название стояков (вертикальные) и отводных. Фановыми называют трубы, несущие экскременты, т. е. воды от ватерклозетов. Стояки выводятся выше крыши для вентиляции сетей. Размеры труб по правилам Всесоюзных водопроводных и санитарно-технических съездов приведены в табл. 3.

Табл. 3.—Размеры домовых канализационных труб.

Назначение труб	Отводные трубы		Уклоны	Стояки	
	чугунные	железные		чугунные	железные
	в *мм*	в дм.		в *мм*	в дм.
От одиночных и двойных кухонных раковин, писсуаров, умывальников и одиночных ванн	50	1½	0,04	50	2
От 3 до 6 вышеуказанных приемников, за исключением ванн	50	2	0,035—0,025	75	2½
От 7 и более вышеуказанных приемников, за исключением ванн	75	2½—3	0,025—0,015	100	4
От больших кухонных раковин и приборов для мытья посуды	75	2½—3		75	2½—3
От клозетов	100	—	0,020—0,012	100	—
От нескольких 100-*мм* стояков, если это является необходимым по числу и расположению приемников	125	—	0,015—0,010	—	—

Примечание. Одна ванна принимается за 1½ раковины.

Уклон отводных труб от приемников до стояков делается, независимо от диаметра, в 0,01. Стояки должны располагаться внутри зданий, но их не следует заделывать в стены. Диаметр вытяжных труб внутри зданий делается одинаковым с диаметром сточных частей, а на чердаке и выше крыши, где возможно промерзание труб,—на 50 *мм* более сточных. Диаметры спускных труб для дождевой воды с крыш делаются в 100, 125 и 150 *мм*, а с крылец, балконов и пр.—50 и 75 *мм*. Сточные трубы для домовой сети употребляются чугунные асфальтированные. Свинцовые трубы нежелательны, т. к. они плохо противостоят механич. повреждениям. Чугунные канализационные трубы еще не нормированы в СССР. На чугунных сточных трубах для прочистки их местами ставятся особые фасонные части—р е в и з и и, имеющие отверстия, герметически закрывающиеся крышками. Все санитарные приборы должны иметь гидравлические затворы (сифоны), расположенные непосредственно под ними и препятствующие проникновению газов из канализационной сети в помещения. Все приборы, кроме клозетов, д. б. снабжены решетками, прикрепленными наглухо, с отверстиями не более 6 *мм*, при чем общая площадь их д. б. не более площади поперечного сечения отводной



Фиг. 19.

трубы, предпочтительно — не более половины ее. Все санитарные приборы должны иметь округлую форму, чтобы грязь не могла нигде задерживаться, и д. б. сделаны из материалов, не поддающихся влиянию сточной жидкости. Лучший материал для клозетных чаш—фаянс и штейнгут. В последнее время за границей появились чаши т. н. консольного типа, к-рые прикрепляются к стене, так что пол под ними легко содержать в чистоте. Писсуары делаются фаянсовые, чугунные эмалированные и керамические (плиточные). Последние особенно хороши для мест общественного пользования. Число мест в общественных уборных и общежитиях рассчитывается по 1 очку на 20—25 чел.

В последнее время при развитии автомобильного дела с полов гаражей может попадать в канализационную сеть бензин; в таких случаях необходимо ставить особые бензиноотделители, которые отделяют бензин в силу разности удельных весов его и воды (фиг. 19). К у х о н н ы е раковины и мойки делаются керамические, фаянсовые, фарфоровые, чугунные эмалированные и медные луженые. При раковинах в больших кухнях и ресторанах для улавливания сала следует ставить т. н. сальные горшки. У м ы в а л ь н и к и делаются медные, железные оцинкованные, чугунные и фаянсовые. По обязательным постановлениям, в СССР один умывальный кран приходится на 4 — 20 чел. В а н н ы делаются цинковые, железные оцинкованные, чугунные эмалированные, медные, фаянсовые, мраморные, гранитные, бетонные, железобетонные, из каменной кладки и проч. Одна ванна в общежитиях, больницах и пр. устраивается в СССР на 25 человек.

Стоимость сооружений. Для оценки строительной стоимости канализационных сетей имеется очень разнообразный и ненадежный материал, основанный на различных методах подсчета. Для ориентировки могут служить следующие цифры (без технич. надзора и составления проекта). При общесплавной системе в нек-рых городах З. Европы стоимость сети обошлась в 28—54 р. на 1 *п. м* и 22—35 р. на жителя, в Бармене полная раздельная К. обошлась в 42 р. на 1 *п. м*, в Москве раздельная неполная (II очер.) К.—31 р. 87 к. на 1 *п. м* с административно-техническими расходами. По материалам Гл. упр. комм. хоз. НКВД РСФСР, стоимость раздельных неполных К. по сметам для нек-рых городов обходится от 22 р. 67 к. до 57 р. 56 к. на 1 *п. м* протяжения сети в современных, золотых рублях. Устройство насосных станций, по данным для Москвы, обошлось от 11 р. 42 к. до 14 р. 70 к. на 1 $м^3$ перекачиваемой сточной жидкости в сутки в довоенных рублях. Что касается эксплоатационных расходов, то, по довоенным данным, стоимость отведения 1 $м^3$ сточной жидкости на очистные сооружения для систем сплавного типа составляла 5 — 7 к., а с районными станциями 7—9 к.; расход на текущий ремонт канализационных сетей и др. сооружений равняется примерно 0,5—1% их стоимости.

Лит.: Д а н и л о в Ф. А., Удаление и обезвреживание городских нечистот, канализация, очистка сточных вод, М., 1927; Е н ш А. К., Канализация городов и очистка сточных вод, СПБ, 1903; З в я г и н с к и й Я. Я., Канализация зданий, М.—Л., 1928; е г о ж е, Канализация г. Москвы, М., 1929; И в а н о в В. Ф., Канализация населенных мест, Одесса, 1926; е г о ж е, Водоснабжение и канализация поселков, М.—Л., 1927; У ш а к о в Н., Канализация населенных мест, М.—Л., 1927; Ч и ж о в Н. К., Водостоки, канализация городская и домовая, СПБ, 1895—96; Каменно-керамические канализационные трубы и фасонные части к ним, ОСТ 68—73, 1927; Постановления Бюро Всероссийских водопроводн. и санитарно-техническ. съездов. Основные положения для составления проектов водоснабжения и канализации, Москва, 1927; Правила устройства домовой канализации, Москва, 1923; G e n z m e r E., Die Entwässerung d. Städte, Lpz., 1924; I m h o f f K., Taschenbuch d. Stadtentwässerung, 4 Aufl., Mch., 1925; K n a u e r H., Kanalisation, Strelitz in Mecklenburg, 1924; P u t z e y s F., Q u e s t i e n n e P., S c h o o f s F., R u l o t H., Assainissement des villes, Paris, 1925.

Я. Звягинский.

КАНАЛЫ СУДОХОДНЫЕ, искусственно созданное русло, по своим размерам допускающее движение по нему судов. В зависимости от того, для каких судов, морских или речных, предназначаются каналы, они делятся на: а) морские и б) внутрен. плавания.

Морские каналы можно подразделить по целям устройства на три главнейших вида: 1) каналы, соединяющие моря для сокращения длины пути; 2) каналы подходные, устраиваемые с целью дать возможность морским судам подходить к крупным промышленным

центрам, если естественная глубина недостаточна для этого; 3) каналы входные в портах. Каналы первого вида устраиваются как открытыми, т. е. свободно соединяющими моря, так и шлюзованными; иногда шлюзованными устраиваются и каналы второго вида, но б. ч. они устраиваются открытыми; каналы эти иногда ограждаются дамбами. Направление каналам дают по возможности прямолинейное. Если, по местным условиям, необходимы закругления, они д. б. очерчены по кривым достаточно большого радиуса; на кривых участках ширина канала увеличивается. Величину уширения обычно определяют (в *м*) по ф-ле: $E=26-\frac{R}{100}$, где E—уширение и R—радиус закругления в *м*. Дно канала в продольном направлении делается обычно горизонтальным.

Сопротивление движению судов по каналам даже при небольших скоростях, по сравнению с сопротивлением в неограниченном водном пространстве, значительно больше; оно зависит от формы судна и размеров сечения канала, быстро возрастая с увеличением скорости и уменьшением размеров сечения канала. Это сопротивление S можно получить из сопротивления судна s на пути неограниченных размеров путем умножения на некоторый коэффициент c, называемый коэффициентом сопротивления пути: $S=cs$.

При одинаковых прочих условиях, сопротивление движению по каналу зависит от отношения площади сечения канала Ω к площади миделевого сечения судна ω (сечения по миделевому шпангоуту). Наиболее употребительно соотношение для наибольшего судна $n=\frac{\Omega}{\omega}\geqslant 5$. Запас глубины под килем для судов наибольшей осадки делается не менее 1,0 *м*. Заложение откосов К. с. делается в зависимости от грунта берега и способа укрепления; обычно оно равно 2:1÷3:1; если же канал представляет прорезь в открытой части моря или речном русле, то стенки прорези образуются в виде естественного откоса грунта и не укрепляются. Берег канала укрепляется как выше поверхности воды, так и ниже ее для защиты от волнения, развивающегося при проходе судов. Если канал пресноводный, возможно укрепление берега растительностью или каменной наброской, сухой кладкой, фашинами и пр.; для каналов с морской водой укрепление растительностью неприменимо.

Примерами К. с., соединяющих моря, могут служить каналы Суецкий и Панамский. Суецкий канал, между Средиземным и Красным морями, от Порт-Саида до Суеца,—открытый; начат постройкой в 1859 году. Ширина по дну первоначально была 22 *м*, глубина 8 *м*. В дальнейшем ширина была увеличена до 45 *м* на глубине 11 *м*, а местами и до 60 *м* на глубине 10 *м*. Из общей длины в 161 *км* 87% приходится на прямые участки; на длине 14,5 *км* канал проходит по озерам. Выходы в моря ограждены молами. Панамский канал, между Мексиканским заливом и бухтой Лиман на Тихоокеанском побережьи, общей дл. 81 *км*,—шлюзованный. Ширина канала—от 91,5 до 300 *м*, глубина—12,2 *м* в шлюзованной части и 13,7 *м* в подходах к последней. Средняя шлюзованная часть, длиной 51 *км*, имеет горизонт воды на 26,0 *м* выше уровня океана.

Примерами подходных каналов могут служить многие каналы на побережьи Балтийского, Азовского и Черного морей (Ленинградский, Ростовский, Николаевский, Мариупольский и др.).

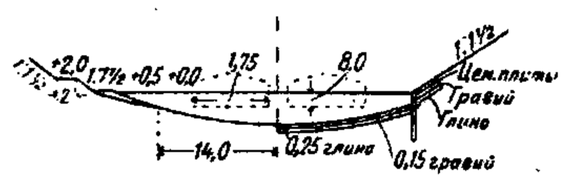
Входные каналы в портах на песчаных побережьях также имеются во многих портах СССР. Глубина их образуется и поддерживается землечерпанием; для сохранения ее часто входные каналы ограждаются молами.

Каналы внутреннего плавания устраивают не только тогда, когда нужно создать водный путь для соединения двух рек, разделенных водоразделом, но нередко и вдоль существующих рек и озер, когда эти последние почему-либо не м. б. использованы с выгодой и удобством для судоходства. Каналы первого рода называются соединительными, при чем, если канал проходит через водораздел, то он устраивается всегда шлюзованным; наивысший его бьеф называется раздельным. Каналы второго рода называются боковыми, или обходными. Озера, входящие в водные системы, обыкновенно обходят каналами во избежание опасностей для речных судов при волнении, устранение к-рых требует от судов более прочной конструкции, ненужной при речном плавании. Боковые и обходные К. с. устраивают как открытыми, так и шлюзованными.

Прибегать к шлюзованию каналов вообще приходится в случаях: 1) когда открытый канал требует слишком больших работ, 2) когда питание канала водой недостаточно, чтобы обеспечить глубину, требуемую судоходством, и 3) когда скорости в каналах при открытом его состоянии вызывали бы затруднения для движения судов.

В каналах внутреннего плавания размеры и форма сечения их определяются, с одной стороны, условием минимума земляных работ по устройству ложа канала, а с другой—требованием, чтобы при движении по каналу судов с определенной, установленной экономич. условиями скоростью судно не испытывало чрезмерных сопротивлений, делающих самую эксплоатацию канала дорогой и невыгодной для судоходства. Вопрос о выборе наиболее рационального типа поперечного сечения канала подвергался обширным исследованиям и не может считаться окончательно решенным и в настоящее время. Крайними типами являются трапецоидальный и криволинейный, но имеет большое распространение и ложбинообразный, образованный рядом пересекающихся прямых.

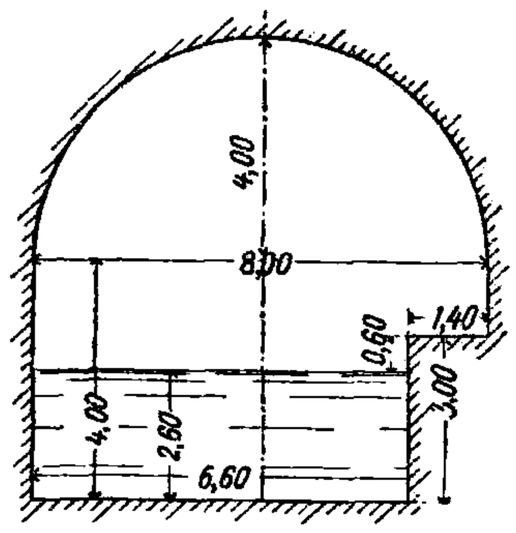
Фиг. 1 дает представление о поперечных сечениях французских и германск. каналов. В СССР поперечные сечения каналов имеют трапецоидальную форму, и размеры их зависят гл. образом от размеров судов, совершающих по ним рейсы, интенсивности судоходства и свойств грунтов, из которых состоят откосы берегов.



Фиг. 1.

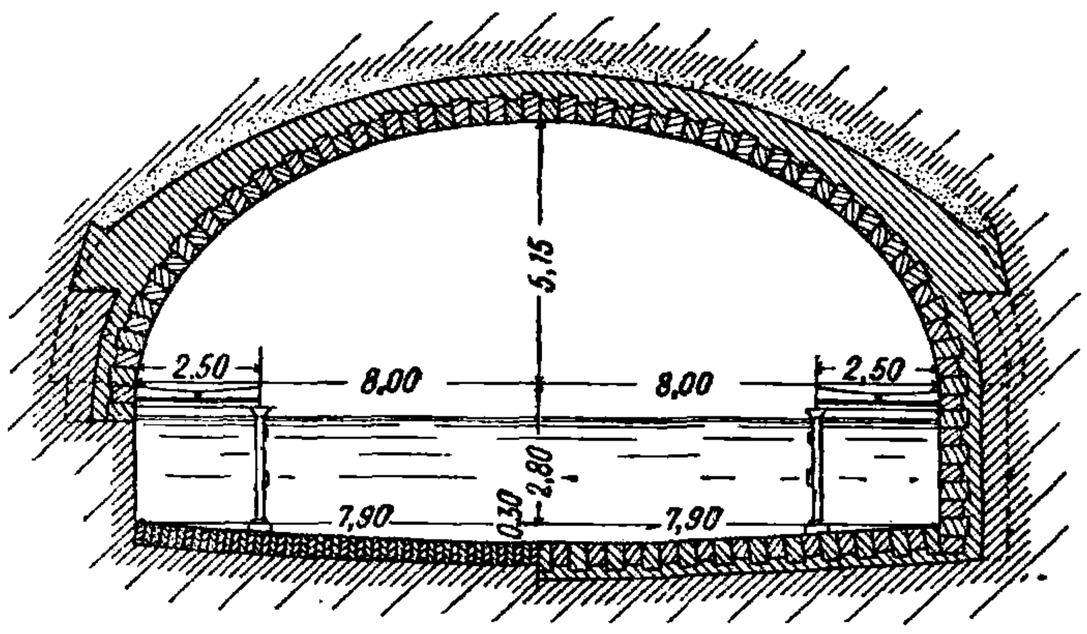
В СССР судоходные каналы имеются почти на всех водных системах. В Мариинской системе, соединяющей Ленинградский порт с г. Рыбинском, имеются каналы: Приладожский, Онежский, Белозерский и Ново-Мариинский. Приладожские каналы образуют две параллельные друг другу линии старых и новых каналов. К старой линии принадлежат каналы: Старый Ладожский, дл. 110,94 *км*, Старый Сяськый, дл. 10,66 *км*, Старый Свирский, дл. 51,20 *км*. К новой линии принадлежат каналы: Новый Ладожский, дл. 110,41 *км*, Новый Сяськый, дл. 10,24 *км* и Новый Свирский, дл. 45,87 *км*. Новые Приладожские каналы имеют ширину по дну 25,60 *м*. Откосы каналов: от подошвы у дна до высоты 1,7 *м* двойные, далее на высоту 1,06 *м* — тройные, а верхние — опять двойные. Белозерский канал имеет ширину по дну до 23,47 *м*; откосы берегов — полуторные, глубина канала при нормальном подпертом горизонте 2,13 *м*. Ново-Мариинский канал имеет ширину от 21,33 до 23,5 *м*; подводные откосы в землистых грунтах—двойные, надводные — полуторные, в плитном грунте — половинные. Глубина воды при нормальном подпертом горизонте 2,13 *м*. В Вышневолоцкой водной системе имеются каналы: Тверецкий, Цнинский, Сиверсов и Вишерский. Тверецкий канал, соединяющий р. Тверцу с р. Цной, имеет длину 2,9 *км*, ширину по дну 21,33 *м*, глубину от 2,13 до 3,62 *м*. Правый берег канала держится в естественном состоянии, левый укреплен на всем протяжении гранитной обделкой. Цнинский канал (обходит плотину с Цнинским бейшлотом) имеет длину 1,17 *км*, ширину по дну 21,33 *м* и глубину от 2,83 до 3,55 *м*. Берега канала имеют гранитную обделку. Сиверсов канал, соединяющий р. Мсту с р. Волховом, имеет длину 9,06 *км* и ширину по дну 21,33 *м*. Вишерский канал, соединяющий р. Вишеру с р. Мстой, имеет длину 15,46 *км* и ширину по дну 9,59 *м*. В Березинскую водн. систему, соединяющую Днепр с Зап. Двиной, входят каналы: Сергучевский, Соединительный, Веребский, Лепельские 1-й и 2-й и Чашницкий. Сергучевский канал, соединяющий р. Сургут с Березиной, имеет дл. 9,03 *км* и шир. по дну 10,66 *м*. Соединительный канал, соединяющий оз. Плавно с оз. Берешто, имеет длину 7,48 *км*, ширину по дну 17,06 *м*. Канал проложен в торфе. Глубина канала от 0,6 до 1,7 *м*. Веребский канал, соединяющий р. Берешту с р. Ессою, имеет длину 2,62 *км*, ширину по дну 10,66 *м*; глубина фарватера 1,49 *м*. 1-й Лепельский канал соединяет оз. Просно с оз. Лепельским, длина канала 0,49 *км*, ширина по дну 17,06 *м*. 2-й Лепельский канал обходит верхнюю часть р. Уллы при выходе ее из Лепельского озера, имеет длину 0,23 *км*, ширину по дну 12,8 *м*. Чашницкий канал имеет длину 1,2 *км*, ширину по дну 12,8 *м*. В Тихвинской водной системе имеется Тихвинский канал, идущий по раздельной части системы. В Сибири имеется соединительный канал Обь-Енисейского водного пути; он соединяет оз. Большое и р. Малый Кас и имеет длину 7,83 *км*. Ширина канала по дну выполнена в 12,8 *м*.

При устройстве соединительных каналов, пересекающих высокие водоразделы, нередко, в целях снижения стоимости работ, а иногда и по условиям питания каналов, раздельный бьеф его устраивают в тоннеле. Поперечное сечение этих тоннелей бывает различное, гл. обр. в зависимости от того, рассчитаны ли они на встречное движение судов или на одностороннее. На фиг. 2 изображено сечение тоннеля Сен-Кентенского канала, рассчитанного на одностороннее движение судов, а на фиг. 3 — сечение Кондского тоннеля для двустороннего движения судов. Оба эти канала находятся во Франции.



Фиг. 2.

Во избежание повреждения от волнения при проходе судов откосы каналов укрепляются в пределах волнения (волнобоя) наиболее целесообразным в данных местных условиях способом. Выбор типа укрепления в каждом данном случае зависит, конечно, от того, какой материал имеется под рукой и из какого материала постройка и содержание укрепления будут стоить дешевле. В СССР укрепления берегов по типам их могут быть разделены: 1) на укрепления, для постройки которых употребляется лес в разных видах (бревна, пластины, доски, хворост), 2) укрепления из камня разных пород и 3) укрепления так называемого смешанного типа—из дерева и камня.



Фиг. 3.

Для производства бечевой тяги на всем протяжении канала устраиваются по берегам особые пути, т. н. бечевники. При одностороннем движении судов бечевники устраиваются с одной стороны, при двустороннем—по обоим берегам канала. В местах впадения в канал речек, для возможности перехода через них, устраиваются так называемые бечевые мосты.

Питание каналов водой производится, в зависимости от местных условий, как с концов, так и на протяжении канала посредством особых питательных каналов, а также и естественных водостоков. В отдельных случаях питание каналов производится из специально устраиваемых для этой цели водохранилищ. Для регулирования горизонта воды в канале, на протяжении его устраивают специальные сооружения—*водосливы* (см.) и *водоспуски* (см.).

Пропускная способность каждого канала, как искусственного пути, имеет предел,

зависящий от размеров его поперечного сечения, типов плавающих по нему судов и скорости их движения, а также от размеров шлюзов, если они на нем имеются, и совершенства их оборудования.

Лит.: Акулов К. А., Судоходные каналы и их устройство, СПБ, 1913; Акулов К., Брилинг Е., Марцелли М., Курс внутр. водных сообщений, т. 2, М.—Л., 1928; Engelhard F., Kanal- und Schleusenbau, Handbibliothek f. Bauingenieure, T. 3, B. 2, B., 1921; Handbuch d. Ingenieurwissenschaften, T. 3—Der Wasserbau, Leipzig, 1912—1924; Bénézit M., Cours de ports et travaux maritimes, livre 3, P., 1923. **Н. Акулов.**

КАНАТНАЯ ДОРОГА, см. *Подвесные дороги.*

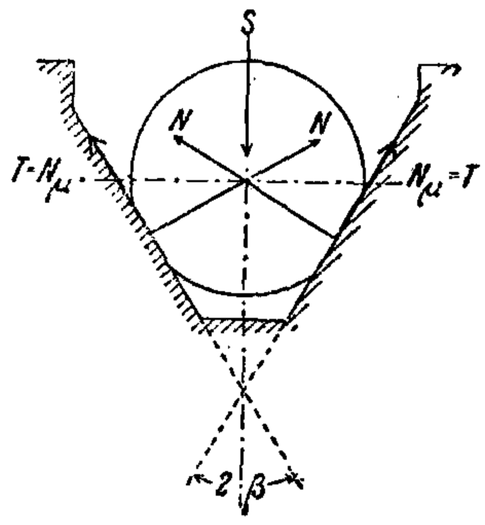
КАНАТНАЯ ПЕРЕДАЧА служит для передачи вращательного движения от одного вала к другому при помощи гибкого тела—каната, охватывающего шкивы, сидящие на ведущих и ведомых валах. Характерная особенность К. п. по сравнению с зубчатой заключается в ее плавности; внезапное увеличение крутящего момента вызывает лишь усиление скольжения каната, благодаря чему предотвращается резкое увеличение напряжений в движущихся частях системы. В тех случаях, когда требуется сохранение безусловно точного соотношения между скоростями валов, К.п. (так же, как и ременная) не м. б. применена. К. п. удобна для передачи умеренных окружных скоростей при больших расстояниях между осями валов и в тех случаях, когда требуется распределить энергию на несколько валов. При расстояниях между осями до 25 *м* применяют пеньковые и хл.-бум. канаты, при бо́льших расстояниях—проволочные канаты.

Существуют две основные системы К. п.: 1) параллельная, когда шкивы несут ряд параллельных замкнутых канатов, и 2) последовательная, или круговая, передача, при к-рой применяется только один канат, но длина его такова, что он охватывает все ручьи (желоба) шкивов, последовательно переходя с ведущего шкива на ведомый и обратно на ведущий. Преимущество параллельной передачи заключается в том, что при разрыве одного каната передача не нарушается: остальные канаты принимают на себя всю работу, и это не представляет никакой опасности, так как при параллельной передаче всегда добавляется 1—2 каната к расчетному их числу. Преимуществом последовательной передачи является определенность фактического натяжения в концах канатов, всецело зависящая от груза, к-рым нагружается оттяжной аппарат.

Передача при помощи пеньковых и хл.-бум. канатов. Пеньковые канаты изготовляются из баденской, русской или из более крепкой—манильской пеньки (последняя отличается большей устойчивостью против атмосферных влияний). Хл.-бум. канаты отличаются мягкостью и гибкостью и поэтому применяются для шкивов малых размеров. В настоящее время, кроме крученых канатов круглого сечения, применяют канаты квадратного сечения, а также трех-, шести- и восьмигранного и трапецоидального сечений, плетеные, по патенту Бека, из прядей правой и левой крутки, чем абсолютно исключается возможность раскручивания каната во время его работы. Плетеные по такому способу канаты отличаются относительно большей гибкостью. Для канатной передачи наиболее употребительны круглые канаты диам. 45—50 *мм* и равноценные им по передаваемой мощности квадратные канаты со стороною 40 и 45 *мм*. Канаты меньших сечений употребляются только при незначительных мощностях и при шкивах малых диаметров; следует стремиться, чтобы диам. шкива $D \geqslant (40 \div 50)$ диам. каната; минимальными размерами шкивов можно считать: для пенькового каната $D = 25$ диам. каната (это относится также и к направляющим и натяжным шкивам), для манильской пеньки $D = 30$ диам. каната и для хл.-бум. пряжи $D = 20$ диам. каната. В случае необходимости принять для D меньшие значения надо уменьшить нагрузку или же считаться с меньшей долговечностью каната. Для сращивания канатов расплетают их концы на длину от 2 до 4 *м*, укорачивают уступами и вплетают распущенные пряди друг в друга таким образом, чтобы диаметр каната заметно не увеличивался.

Соотношение сил и напряжений в передачах с пеньковыми и хл.-бум. канатами. Следует отметить 4 отличительных свойства канатной передачи.

1) В канатной передаче канат ложится в ручей шкива, опираясь не на дно ручья, а на коническую поверхность его щек. При таком расположении каната сила трения значительно увеличивается; если канат нажат силой S, то на щеках ручья появятся силы нормального давления N, N и трения T, T (фиг. 1). По условию равновесия:



Фиг. 1.

$$S = 2N \sin\beta + 2T \cos\beta = 2N(\sin\beta + \mu\cos\beta),$$

где μ — коэффициент трения. Если P—сила трения, вызываемая натянутым канатом, то

$$P = 2N\mu = \frac{S\mu}{\sin\beta + \mu\cos\beta} = S\mu',$$

где μ'—приведенный коэффициент трения:

$$\mu' = \frac{\mu}{\sin\beta + \mu\cos\beta}.$$

При обычном угле ручья шкива, $2\beta = 45°$, получим следующие значения μ' при различных значениях μ:

μ	0,200	0,250	0,300	0,350
μ'	0,435	0,522	0,603	0,679

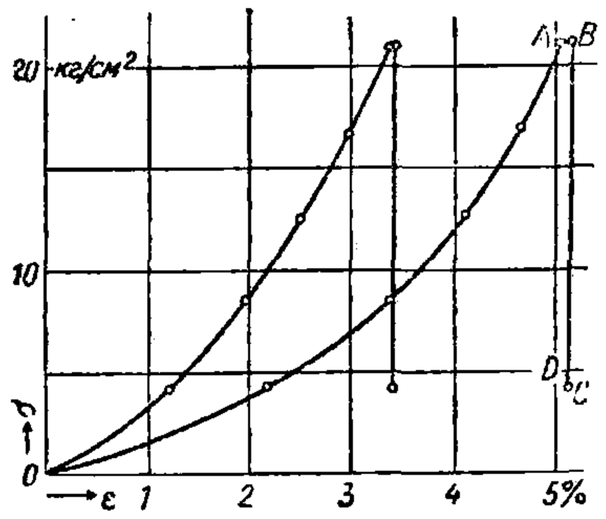
Камерер при опытах с канатами из манильской пеньки получил $\mu' = 0{,}6$ при отсутствии скольжения и при отношении напряжений в ведущем и в ведомом концах каната $\sigma_1 : \sigma_2 = m = 6{,}5$. Бонт получил $\mu' = 0{,}79$ и $m = 10{,}3$ при высоком полезном напряжении σ_n (полезным напряжением называется разность напряжений: $\sigma_n = \sigma_1 - \sigma_2$). Сильное увеличение коэфф. трения при больших скоростях, характерное для ременной передачи, не является характерным для К. п.

2) К. п. по сравнению с ременной отличается меньшей эластичностью, несмотря на то, что провес из-за больших расстояний между осями при канатной передаче оказывает свое смягчающее влияние.

3) Несмотря на высокое временное сопротивление разрыву как отдельных волокон пеньки (4 000—5 000 *кг/см²*), так и готовых канатов (900—1 500 *кг/см²*), которое от 3 до 5 раз больше временного сопротивления на разрыв кожи, все же способность воспринимать нагрузку у канатов относительно меньше, так как вследствие частых и непрекращающихся изгибов каната и меняющихся напряжений сцепление между волокнами постепенно уменьшается. Чем выше напряжение в канате, тем раньше он ослабевает, чаще подлежит пересращиванию и быстрее изнашивается. Особенное внимание следует обращать на сращивание, которое является слабым местом каждого каната. Ослабевание каната объясняется еще тем обстоятельством, что канат постепенно сплющивается в клиновидных ручьях шкива, перемещается ближе к дну ручья и передает энергию на уменьшенном диаметре, что равносильно удлинению каната и уменьшению его напряжения. Для восстановления нужного для работы передачи напряжения необходимо укоротить канат, что значительно сложнее укорачивания ремня.

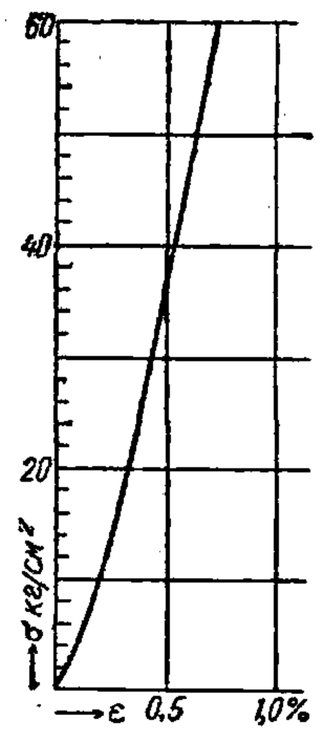
4) Наконец, нет возможности получить равномерное распределение нагрузки на все канаты одной передачи, как это имеет место в сечении ремня. Практически очень важно следить за тем, чтобы ручьи были одинаковой формы и глубины. Так, если два различных по глубине ручья на одном шкиве соответствуют двум одинаковым по глубине на другом шкиве, то один канат стремится опередить другой, в результате чего вызывается усиление напряжения и нагрузки. Но и при равных условиях канаты одной передачи отличаются различными провисаниями и соответственно различными напряжениями. Во избежание перегрузки отдельных канатов не следует брать среднее напряжение слишком высоким.

Согласно опытам Баха, новые слабо скрученные канаты из баденской пеньки диам. 55 *мм*, при первой нагрузке дают значительные удлинения. Изменение относительного удлинения ε нового каната в зависимости от его напряжения дает кривая $0A$ (фиг. 2). При продолжительном действии нагрузки наступает упругое последействие: после 120 часов канат дал удлинение еще на величину AB. При удалении нагрузки уменьшение удлинения каната было незначительно, как это показывает точка C. Благодаря возникшему упругому последействию после 34 ч. удлинение уменьшилось до точки D. Относительные удлинения сильно скрученного каната диаметром 39 *мм* представлены другой кривой на той же фиг. 2. При патяжке новых канатов следует учитывать их большую деформацию и упругое последействие. Часто во избежание скорого пересращивания канаты сильно вытягивают, что, однако, вызывает ненужные высокие



Фиг. 2.

давления на оси. Детальное изучение показывает, что меньшим нагрузкам соответствуют относительно бо́льшие удлинения и коэффициенты упругости $\alpha = 1 : E$, т. е. при меньшей нагрузке канаты отличаются относительно большей упругостью в работе. Бах дает для α величину между $^1/_{4\,000}$ и $^1/_{10\,000}$ *см²/кг*; соответственно этому зависимость между напряжением и упругим удлинением при работе изобразится кривой фиг. 3. Следует отметить, что масштаб для удлинений ε фиг. 3 по сравнению с фиг. 2 в два раза больше.



Фиг. 3.

Р а с ч е т К. п. Расчет параллельной К. п. аналогичен расчету *ременной передачи* (см.). Силы натяжения T_1 и T_2 ведущего и ведомого концов канатов определяются по ф-лам:

$$T_1 = \frac{Pm}{m-1} + q\frac{v^2}{g},$$

$$T_2 = \frac{P}{m-1} + q\frac{v^2}{g},$$

где $P = T_1 - T_2$ есть величина окружного усилия в *кг*, q — вес *п. м* каната в *кг*, v—скорость движения каната в *м/сек*, $m = \sigma_1 : \sigma_2 = e^{\mu' a}$, где e—основание натуральных логарифмов и a—угол охвата меньшего шкива канатом.

Так как К. п. редко располагается горизонтально и ведущий шкив обычно находится внизу, а ведомые наверху, при чем иногда на значительной высоте, то нельзя пренебрегать силой растяжения k_1, вызываемой собственным весом и равной Hq, где H—расстояние по вертикали от точки схода ведущего конца с ведомого шкива до точки входа на ведущий шкив. Учитывая эту поправку, получим:

$$T_1 = \frac{Pm}{m-1} + q\frac{v^2}{g} + Hq.$$

Для предварительного расчета полагают $P = Fk_n$, где F—площадь сечения всех канатов, k_n—расчетное полезное напряжение, к-рое берется в зависимости от отношения диам. D шкива к диам. d каната, а именно: $k_n = 4{,}5$ *кг/см²* при $\frac{D}{d} \geqslant 30$ и $k_n = 6{,}5 \div 8$ *кг/см²* при $\frac{D}{d} \geqslant 50$. Скорость v на окружности шкива принимается в среднем от 15 до 20 *м/сек*, d берется от 40 до 55 *мм*. Зависимость между передаваемой мощностью N (в HP) и окружным усилием P (в *кг*) выражается ур-ием (η—кпд передачи):

$$N = \frac{P\eta v}{75}.$$

Расчет последовательной передачи (фиг. 4) производится на основе следующих соображений. Ведущий конец T_1 ведомого шкива O_2, обогнув ведущий шкив O_1, переходит в ведомый конец T_4 шкива O_3 и затем—в его ведущий конец T_3; ведущий конец T_3, обогнув шкив O_1, переходит в ведомый конец T_6 шкива O_4, ведущий конец T_5 последнего переходит в концы T_8 и T_7 оттяжного шкива O_5 и переходит в ведомый конец T_2 шкива O_1, замыкая всю цепь. Окружные усилия

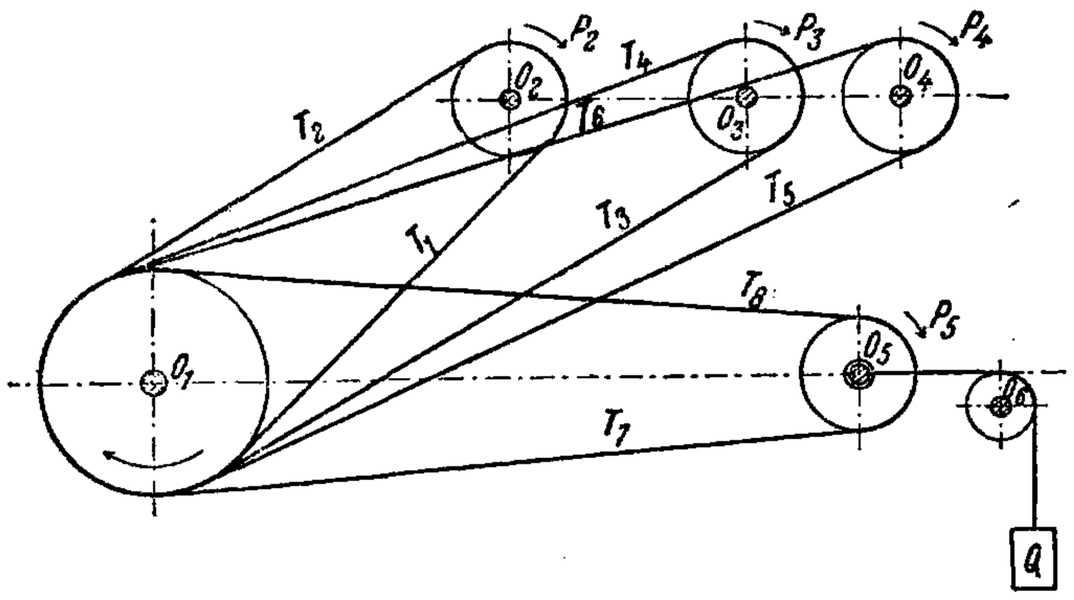
ведомых шкивов в предположении, что они имеют по одному ручью, определяются из уравнений:

$P_2=T_1-T_2; P_3=T_3-T_4; P_4=T_5-T_6; P_5=T_7-T_8.$

Окружные усилия на ведущем шкиве, соответствующие отдельным охватам концов каната, определятся из ур-ий:

$P'_2=T_1-T_4; P'_3=T_3-T_6; P'_4=T_5-T_8; P'_5=T_7-T_2.$

Так как окружное усилие P'_2 передается на шкив O_2, то оно должно равняться P_2; точно

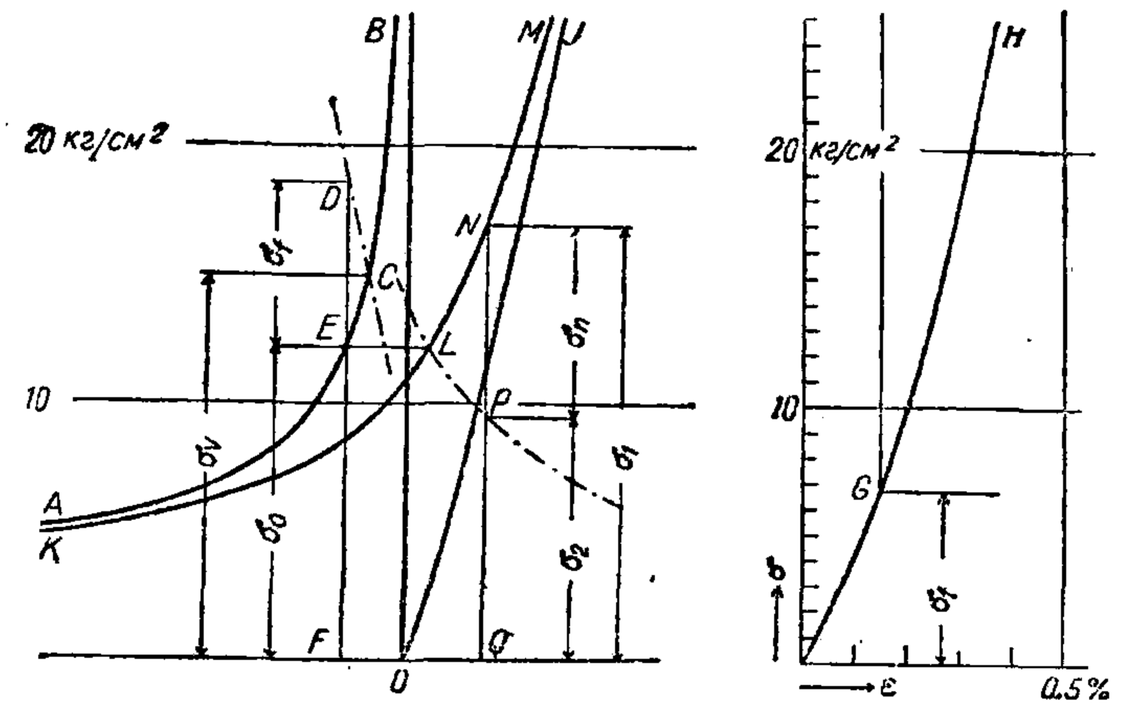


Фиг. 4.

так же $P_3=P_3; P_4=P_4; P'_5=P_5$; следовательно, $T_1-T_2=T_1-T_4$; $T_3-T_4=T_3-T_6$; $T_5-T_6=T_5-T_8$; $T_7-T_8=T_7-T_2$ и $T_2=T_4=T_6=T_8$, т. е. натяжения ведомых концов равны между собой и не зависят от передаваемой на шкив работы. Для оттяжного шкива $P_5=0$ и $T_7=T_8={}^1/_2Q$; т. о., в последовательной К. п., осуществленной по схеме фиг. 4, напряжения в ведомых концах определяются натяжным грузом Q. Зная же передаваемые мощности, легко определить натяжения и в ведущих концах.

Проф. Рётшер дает метод расчета К. п. при помощи расчетных кривых, построенных на основе кривой провисания и кривой удлинений, полученных из опыта и учитывающих влияние напряжений и удлинений каната от предварительной его натяжки, центробежной силы, полезной нагрузки и от длины ведущего конца каната. (Описание построения расчетных кривых см. *Ременная передача*.)

Рассмотрим следующий пример. Работа передается между двумя шкивами диаметром $D_1=5\,500$ *мм* и $D_2=2\,500$ *мм* на расстояние

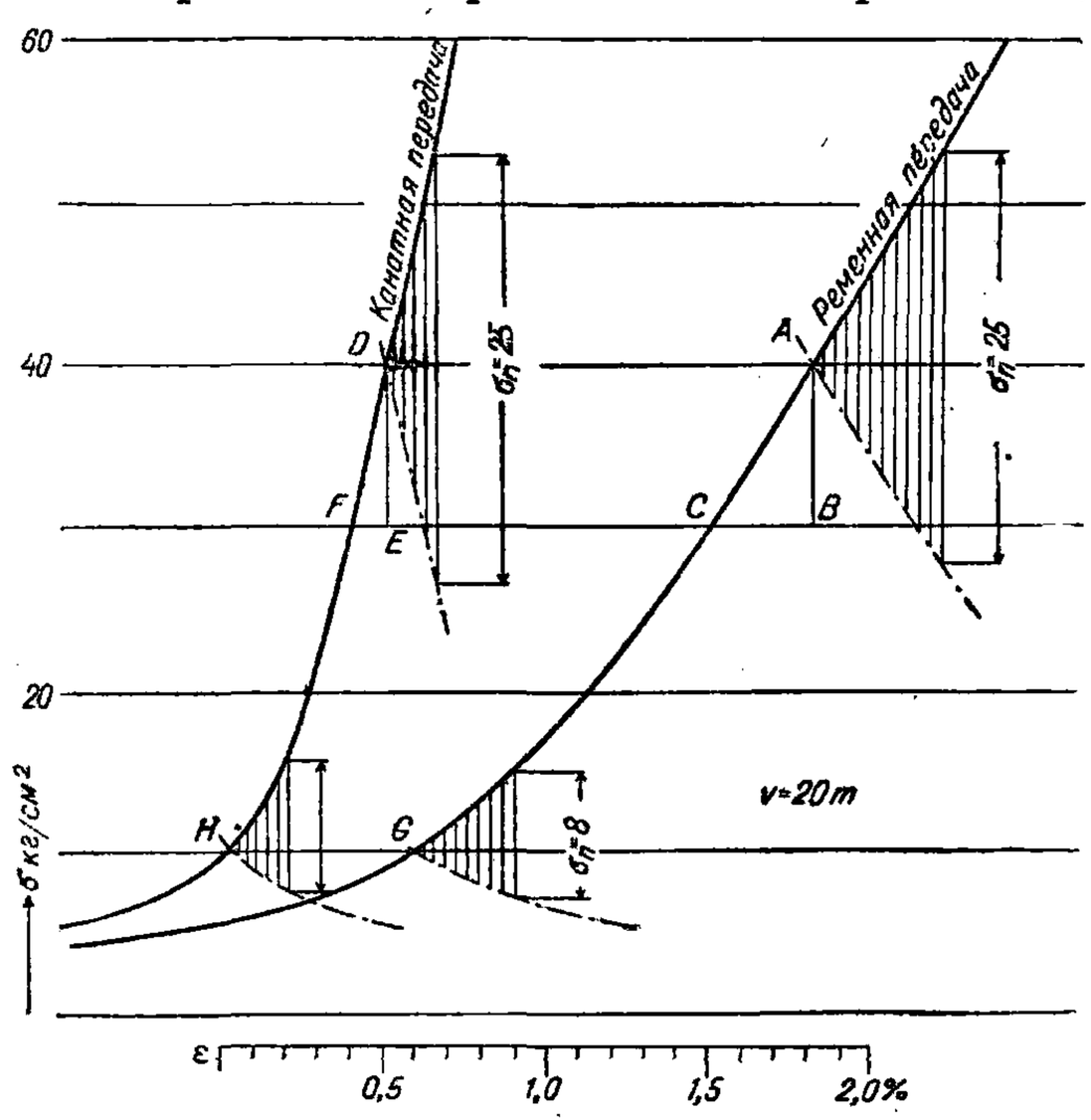


Фиг. 5.

20 *м*, число канатов $z=12$, диаметр каната $d=50$ *мм*, полезное напряжение $\sigma_n=7{,}5$ *кг/см²* и скорость канатов $v=25$ *м/сек*. Напряжение от предварительной натяжки $\sigma_v=15$ *кг/см²*. Для определения осевых давлений и напряжений σ_1 и σ_2 в канате строим на кривой провисания AB (фиг. 5) в точке C, соответствующей начальному натяжению, зеркальное изображение отдельно вычерченной линии удлинения каната GH и откладываем в виде вертикальной прямой DE напряжение σ_f, вызываемое центробежной силой, возникающей при вращении шкивов, которое определяют по ф-ле (в *кг/см²*):

$$\sigma_f=\frac{\gamma\cdot v^2}{10g}=\frac{1{,}00\cdot 25^2}{10\cdot 9{,}81}=6{,}37\,,$$

где γ—вес 1 *дм³* каната, равный ~ 1 *кг*. Отрезок EF будет выражать величину напряжения σ_0, возникающего при холостом ходе в обеих частях каната, равного 12,2 *кг/см²*. Далее, строим кривую удлинения, укороченную на величину напряжения σ_f, т. е. часть кривой GH, вправо от точки O в виде кривой OJ, после чего находим путем нанесения ее абсцисс на кривую провисания AB расчетную кривую KLM для скорости 25 *м/сек*. Соответствующая точка ее L, лежащая на высоте σ_0, является исходной точкой для определения напряжений σ_1 и σ_2 в обоих концах каната. Между расчетной кривой KM и кривой ее зеркального изображения,



Фиг. 6.

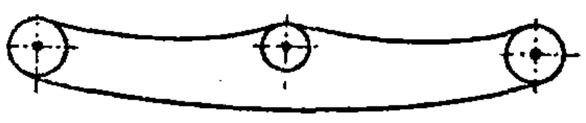
пересекающихся в найденной точке L, засекают отрезок NP, равный заданному полезному напряжению $\sigma_n=7{,}5$ *кг/см²*, и получают отрезок PQ, к-рый и будет равняться напряжению σ_2 в ведомом конце каната, и отрезок NQ, равный напряжению σ_1 в ведущем конце каната, причем согласно принятому на чертеже масштабу $\sigma_2=9{,}4$ *кг/см²* и $\sigma_1=16{,}9$ *кг/см²*. N_e—мощность, передаваемая при помощи 12 канатов, определится из уравнения (в Hp):

$$N_e=\frac{z\cdot\pi\cdot d^2\cdot\sigma_n\cdot v}{4\cdot 75}=\frac{12\cdot\pi\cdot 5^2\cdot 7{,}5\cdot 25}{4\cdot 75}=590\,.$$

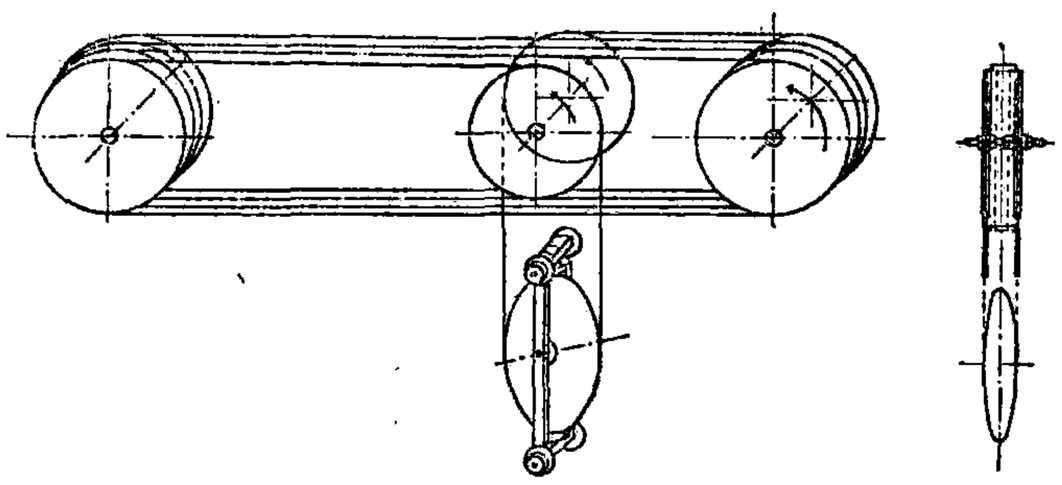
Давление на вал изменяется от величины $A_v=2z\frac{\pi d^2}{4}\sigma_v=2\cdot 12\frac{\pi\cdot 5^2}{4}15\cong 7\,070$ *кг* во время покоя до $7\,070\frac{\sigma_0}{\sigma_v}=\frac{7\,070\cdot 12{,}2}{15}=5\,750$ *кг* во время холостого хода и до $7\,070\frac{\sigma_1+\sigma_2}{2\sigma_v}=7\,070\frac{16{,}9+9{,}4}{2\cdot 15}=6\,200$ *кг* при полной на-

грузке. Если учесть полностью центробежное напряжение при холостом ходе, то давление на вал составит только 4 070 *кг*.

Для сравнения качеств К. п. с ременной приведены на фиг. 6 расчетные кривые для канатной и ременной передач при расстоянии между осями 20 *м*. Предположив, что обе передачи работают с напряжением от предварительной натяжки в 40 *кг/см²* соответственно точкам *A* и *D*, видим, что напряжение снижается на 30 *кг/см²* при изменении относительного удлинения ремня на величину *BC*, равную 0,32%, и каната соответственно на величину *EF*, равную 0,105%.



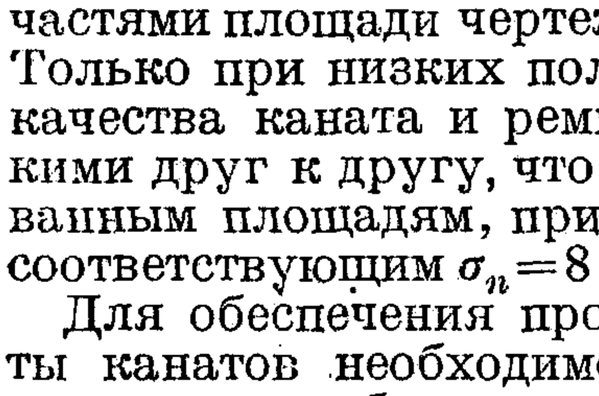
Фиг. 7.



Фиг. 8.

Следовательно, при больших напряжениях канаты являются более чувствительными к изменению длины, чем ремни. При одинаковых полезных напряжениях σ_n канаты по сравнению с ремнями менее эластичны и мягки, как это указано заштрихованными частями площади чертежа для $\sigma_n = 25$ *кг/см²*. Только при низких полезных напряжениях качества каната и ремня становятся близкими друг к другу, что видно по заштрихованным площадям, примыкающим к *G* и *H*, соответствующим $\sigma_n = 8$ *кг/см²*.

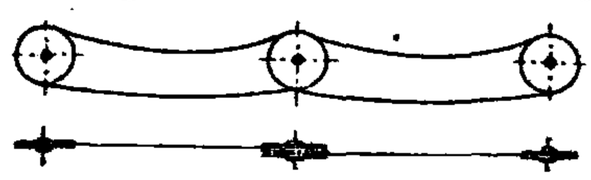
Для обеспечения продолжительной работы канатов необходимо заботиться, чтобы валы шкивов были монтированы строго параллельно; малые отклонения допустимы только при хорошо выполненных ручьях. При больших углах необходимо пользоваться направляющими шкивами, как это практикуется и при ременных передачах. Для предотвращения износа канатов необходимо следить за тем, чтобы канаты при их работе всегда изгибались в одном и том же направлении. Поэтому опорные шкивы (фиг. 7) оказывают неблагоприятное влияние на срок службы канатов. Расположение оттяжных шкивов, показанное на фиг. 8, в этом отношении более выгодно, чем показанное на фиг. 9.



Фиг. 9.

При определении необходимой предварительной натяжки канатов следует учитывать их состояние. Новые канаты обычно натягивают сильнее старых и сращивают т. о., чтобы при их установке на место относительное удлинение не превысило 3—5%, при чем нижний предел применяется для туго скрученных канатов, а верхний предел для слабо скрученных; этим предварительным относительным удлинениям соответствует, согласно кривой, изображенной на фиг. 2, напряжение в канате от 17 до 20 *кг/см²*, при чем сила давления на валы в $2^1/_2$—3 раза превышает обычное окружное усилие. Учитывая, что под действием влажности канаты сокращаются по их длине, необходимо давать валам и подшипникам К. п. бо́льшие размеры по сравнению с соответствующими ременными передачами.

В работе канаты постепенно вытягиваются и со временем сильнее провисают, при чем часть уменьшения напряжения σ_v, происходящего от предварительной натяжки, уравновешивается возрастанием дополнительного напряжения от увеличения веса провисающей части каната, тем большего, чем больше стрела провеса каната. Для достижения хороших качеств канатной передачи необходимо применять шкивы больших диаметров и гибкие эластичные канаты. Следует избегать расстояний между шкивами, меньших 6—8 *м* и бо́льших 25 — 30 *м*, при чем бо́льшие расстояния требуют установки промежуточных шкивов (фиг. 10) или опорных шкивов (фиг. 7), что, конечно, сильно изнашивает канат. Большие отношения передачи здесь еще менее выгодны, чем при ременной передаче. Обыкновенно передаточное число канатной передачи не выходит за пределы отношения 1 : 2, и только в исключительных случаях, при бо́льших расстояниях между осями, допускается соотношение 1 : 5. Передачу делают обычно прямой; при перекрестной передаче канаты располагают так. обр., чтобы две ведущие части шли рядом, а ведомые части располагают по внешним сторонам ведущих, при чем промежуток между ручьями делают относительно большим.

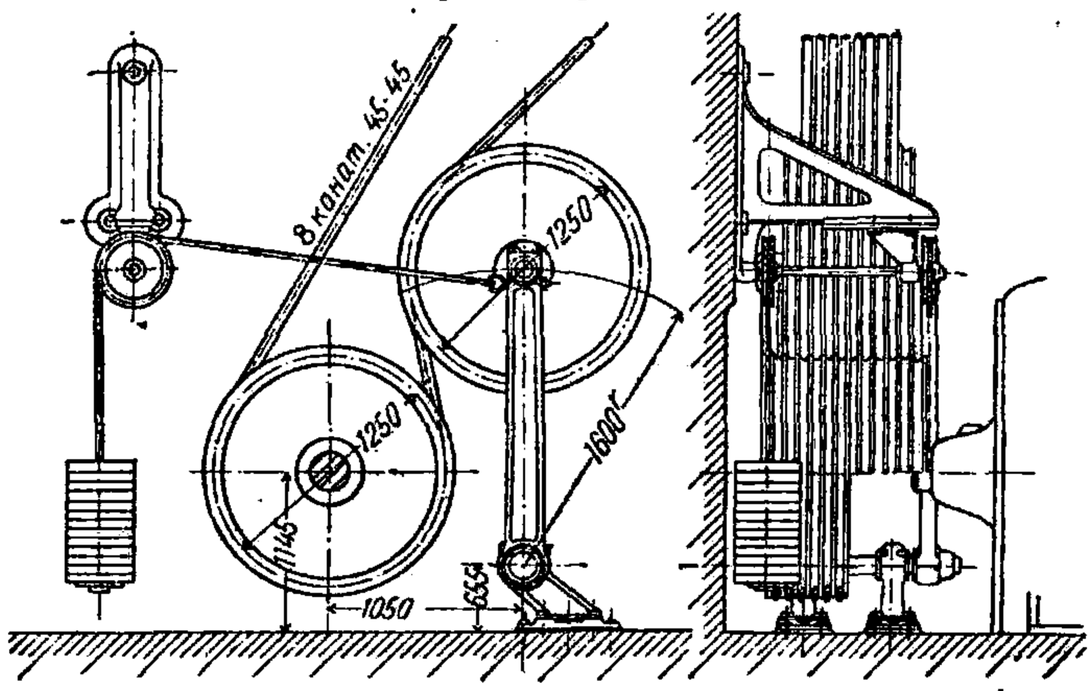


Фиг. 10.

Для определения величины стрелы провеса y_l (в *см*) каната при горизонтальной передаче применяют формулу:

$$y_l = \frac{\gamma \cdot l^2}{8000\sigma},$$

где *l*—расстояние между осями шкивов в *см*, σ—соответствующее напряжение в расположенной внизу ведущей части каната в



Фиг. 11.

кг/см². Учитывая неравномерное распределение сил в отдельных канатах, необходимо предусмотреть наличие достаточной свободной высоты, в $1^1/_2$ раза большей величины, полученной из приведенной формулы стрелы провеса. Для предварительного рас-

чета можно принять, что стрела провеса составляет от 5 до 10% расстояния между осями. Необходимо убедиться в том, что ведомая верхняя часть каната не будет задевать нижнюю ведущую часть.

К. п. с натяжным шкивом, действующим на ведомые части каната, изображена на фиг. 11. Восемь квадратных канатов с сечением 45×45 *мм* служат для передачи 250 HP на малый шкив диам. 1 250 *мм* при 320 об/м., т. е. при скорости каната 20,94 *м/ск* и при полезном напряжении $\sigma_n=5{,}5$ *кг/см²*. Передаваемая круглым канатом диаметра d мощность N определяется из ф-лы (в HP):

$$N=\frac{\pi d^2 v k_n}{75\cdot 4},$$

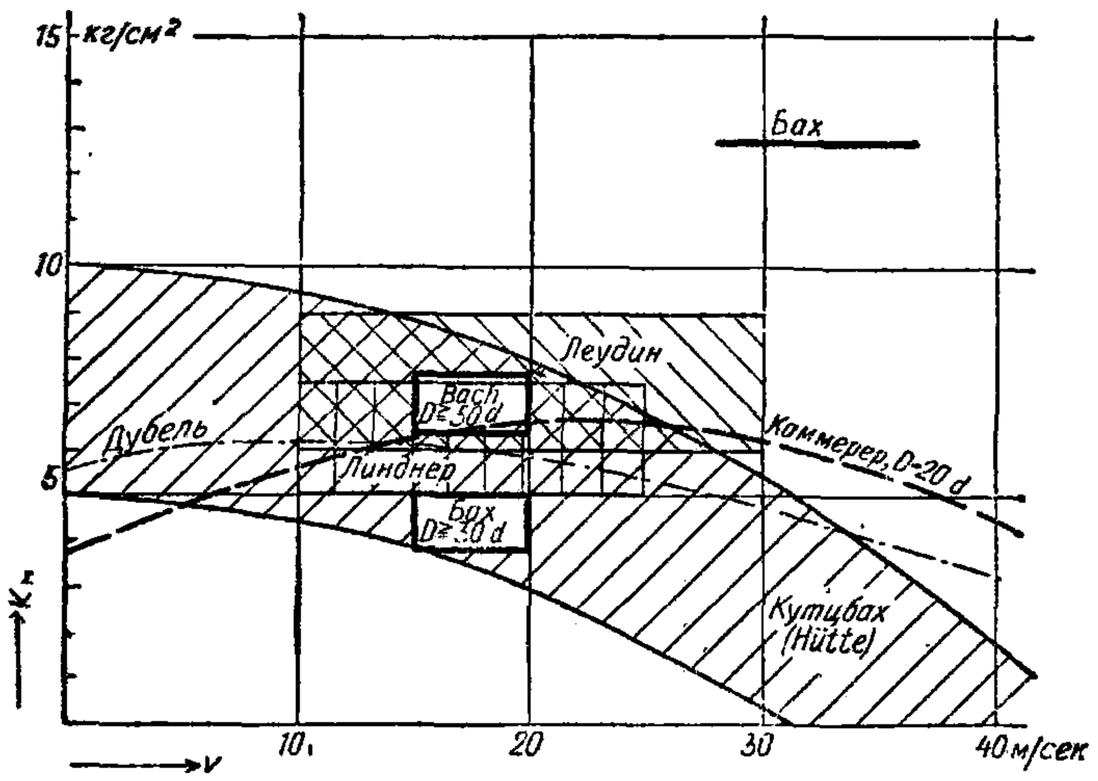
где k_n — расчетное полезное напряжение каната, или для квадратного каната, сторона к-рого равна s, из ф-лы:

$$s^2=\frac{U}{k_n}=\frac{75\,N}{v k_n}.$$

Круглые канаты диам. 55, 50 и 45 *мм* равноценны по передаваемой силе квадратным канатам 50, 45 и 40 *мм*. Если окружное усилие U или мощность N превышает возможную нагрузку одного каната, то число z канатов определяется по ф-ле:

$$z=\frac{4\,U}{\pi d^2 k_n}=\frac{4\cdot 75\,N}{\pi d^2 v k_n}.$$

Вычисленное т. о. количество канатов увеличивают б. ч. на 1 или на 2 во избежание остановки работы передачи в случае разрыва одного из канатов.



Фиг. 12.

Расчетное полезное напряжение k_n зависит от качества каната, окружной скорости, отношения диам. каната к диам. шкива, угла охвата малого шкива и способа получения полезного напряжения. В настоящее время принимают окружную скорость равной 15—20 *м/ск*; в какой же мере необходимо уменьшать k_n при скоростях выше указанных пределов, еще окончательно не установлено. Некоторые указания даются на фиг. 12. Низкие значения для k_n сравнительно с разрывным усилием канатов можно обосновать стремлением ограничить удлинение канатов в работе и связанное с этим их пересращивание. Передачи, работающие под действием напряжений, вызываемых оттягивающими шкивами, следует предпочесть передачам, работающим с напряжением от предварительной натяжки за счет удлинения, так как первые дают возможность в ведомой части канатов иметь более низкие напряжения и сохранить эти напряжения на определенной высоте, не зависящей от температурных колебаний и от влажности. На основании изложенного К. п. с оттяжными шкивами, при прочих равных условиях, м. б. рассчитаны с большим значением k_n.

Для пеньковых и хл.-бум. канатов в зависимости от качества канатов принимают $k_n=5\div8$ *кг/см²*. При благоприятных условиях, при хороших канатах, больших диаметрах шкивов, при передачах с соотношениями от 1 : 1 до 1 : 2, при горизонтальн. или слегка наклонном положении передачи и равномерной нагрузке можно допустить $k_n=10$ *кг/см²*, так что на каждый круглый канат диаметром 50 *мм* или квадратный канат со стороною 45 *мм* можно допустить окружное усилие в 100—150 *кг*, а в лучшем случае—200 *кг*.

Бах рекомендует следующую зависимость расчетного полезного напряжения от диам. шкива при пеньковых канатах лучшего качества: при $D\geqslant30\,d$ и угле охвата $\alpha=140°$, $k_n=3{,}8\div5{,}1$ *кг/см²*, при $D\geqslant50\,d$ и угле охвата $\alpha\geqslant170°$, $k_n=6{,}4\div7{,}6$ *кг/см²*. При скоростях 30 *м/ск* и больше Бах допускает при больших шкивах $k_n=12{,}7$ *кг/см²*. Камерер дает на основании своих опытов с большим количеством канатов диаметром 50 *мм* на шкивах диаметром 1 000 *мм*, т. е. для очень невыгодного соотношения $D=20\,d$, кривую расчетных полезных напряжений k_n, изображенную на фиг. 12, где величина k_n растет для скоростей до 22 *м/ск*, а затем снова уменьшается. Куцбах исходит из среднего напряжения каната k_m и выводит зависимость напряжения k_n от скорости каната v в следующем виде:

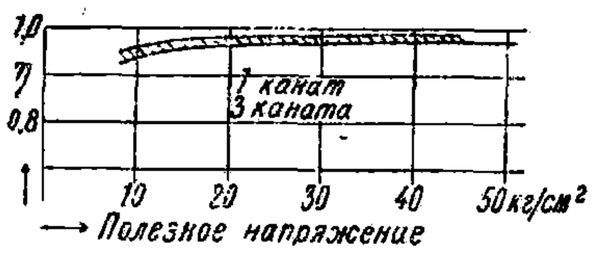
$$k_n=k_m-\left(\frac{v}{14}\right)^2;$$

для k_m он рекомендует: при $D\geqslant30\,d$ и угле охвата $\alpha\geqslant140°$, $k_m=5$ *кг/см²*, при $D\geqslant50\,d$ и угле охвата $\alpha\cong180°$, $k_m=7\div10$ *кг/см²*. Эти значения дают указанные на фиг. 12 падающие при увеличении скорости кривые. Для лучших канатов и при больших шкивах можно допустить $k_m\geqslant15$ *кг/см²*.

Первоначальная чрезмерная натяжка не только излишне нагружает валы, но также и ухудшает работу вследствие пониженной упругости канатов и способствует быстрому разрушению их. Камерер рекомендует для передач с предварительным натяжением от относительного удлинения брать начальное напряжение $\sigma_v=20$ *кг/см²* и соответственно для передач с оттяжным шкивом $\sigma_v=10$ *кг/см²*. Кпд К. п., полученные Камерером опытным путем, показаны на фиг. 13. В то время как кривая кпд для одного каната отличается пологой формой и дает высокий кпд также и при большой нагрузке, кривые для 4 параллельно включенных канатов поднимаются быстро до высокого значения и после этого снова падают. Нагрузка этих канатов была низка и не могла быть увеличена, т. к. при испытании нельзя было увеличить мощность моторов.

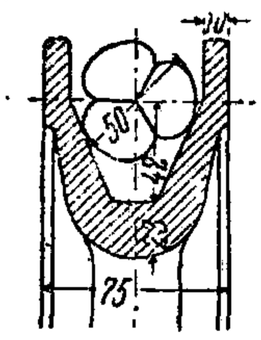
Фиг. 13.

Этим обстоятельством следует повидимому объяснить своеобразное направление кривых, к-рое не было подтверждено при опытах Бонта. Последовательная К. п. с тремя передающими канатами, давала, согласно фиг. 13, относительно более низкий кпд. Согласно фиг. 14, кпд при одном и при нескольких канатах приближаются друг к другу для сильно нагруженных канатов.

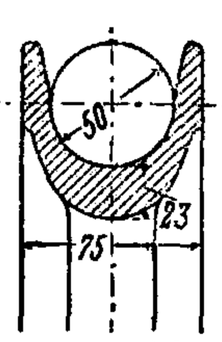


Фиг. 14.

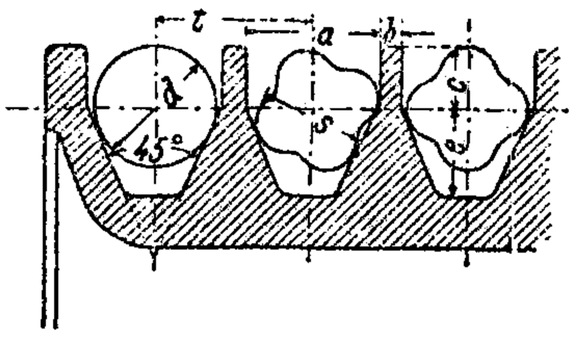
Конструктивное выполнение канатных шкивов и К. п. Обычные формы желобков указаны на фиг. 15—20.



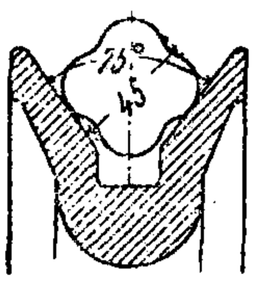
Фиг. 15.



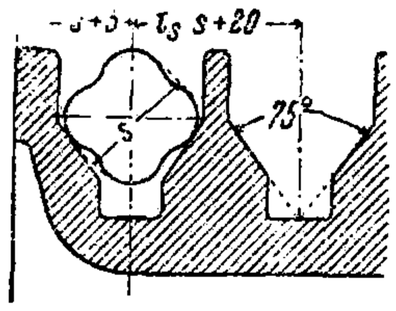
Фиг. 16.



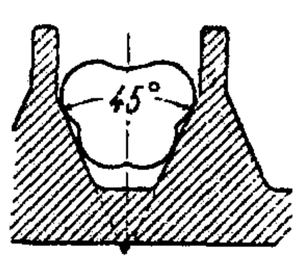
Фиг. 17.



Фиг. 18.



Фиг. 19.



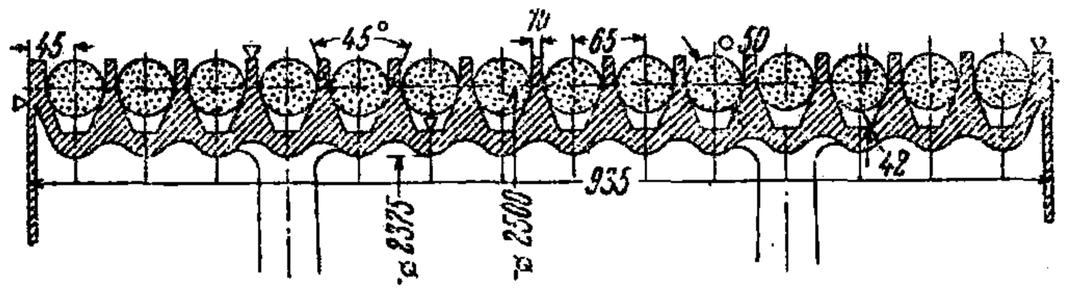
Фиг. 20.

Для увеличения сцепления каната с ведущим и ведомым шкивами стенки ручьев для круглых канатов выполняются с уклоном в 45°. Более острые углы считаются нецелесообразными, потому что канаты сильнее изнашиваются и напряжение их будет различно, если один из них войдет в ручей глубже другого. При разных диаметрах шкивов отрицательные явления более глубокого вклинивания канатов в ручьи будут более заметны на шкивах меньшего диаметра. При неодинаковом расположении канатов один из канатов должен скользить и поэтому сильнее изнашивается; одновременно падает кпд всей К. п. Нормальные размеры ручьев по DIN 121 см. табл. 1.

Табл. 1.—Размеры ручьев шкивов для пеньковых канатов (фиг. 17).

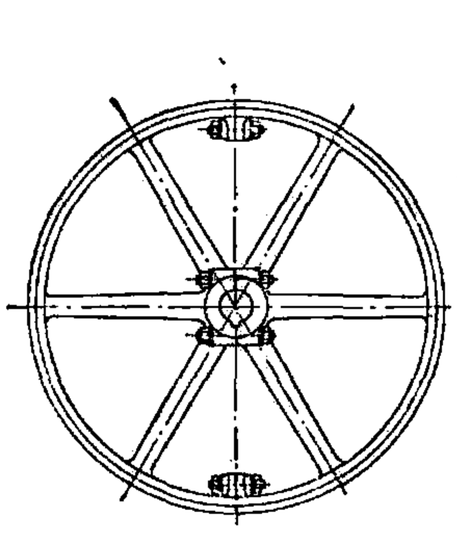
Диам. круглого каната d в *мм*	Толщина каната квадратного сечения s в *мм*	Шаг t в *мм*	Размеры ручья в *мм*			Толщина реборды b в *мм*
			a	c	e	
25	23	36	28	12,5	21	8
30	27	41	33	15,0	25	8
35	32	47	39	17,5	30	8
40	36	54	44	20,0	34	10
45	40	60	50	22,5	38	10
50	45	65	55	25,0	42	10
55	50	73	61	27,5	46	12

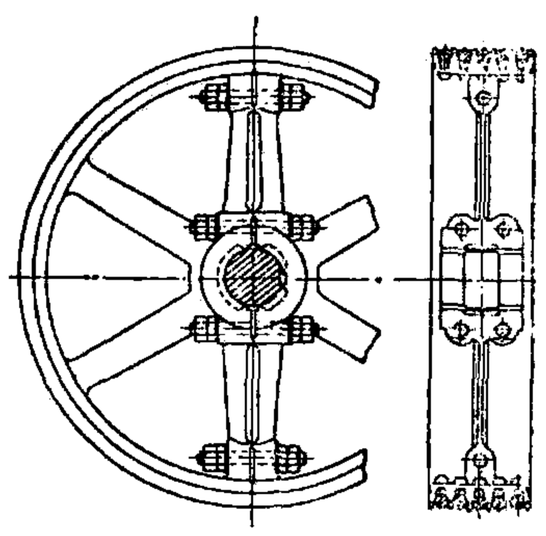
При пользовании клиновидными ручьями с уклоном в 45° для квадратных канатов последние располагают так, чтобы они прилегали к одной из стенок, как указано на фиг. 17, потому что в этом случае ц. т. каната устанавливается в ручье более глубоко по сравнению с симметричным расположением канатов. Форма ручьев по фиг. 18 и 19 с наклоном поверхностей в 75° рекомендуется при последовательной системе К. п. Квадратные канаты ложатся симметрично, благодаря чему отсутствует скольжение по реборде. Для канатов трапецоидального сечения можно применить шкивы с ручьями обычной формы с уклоном в 45° (фиг. 20).



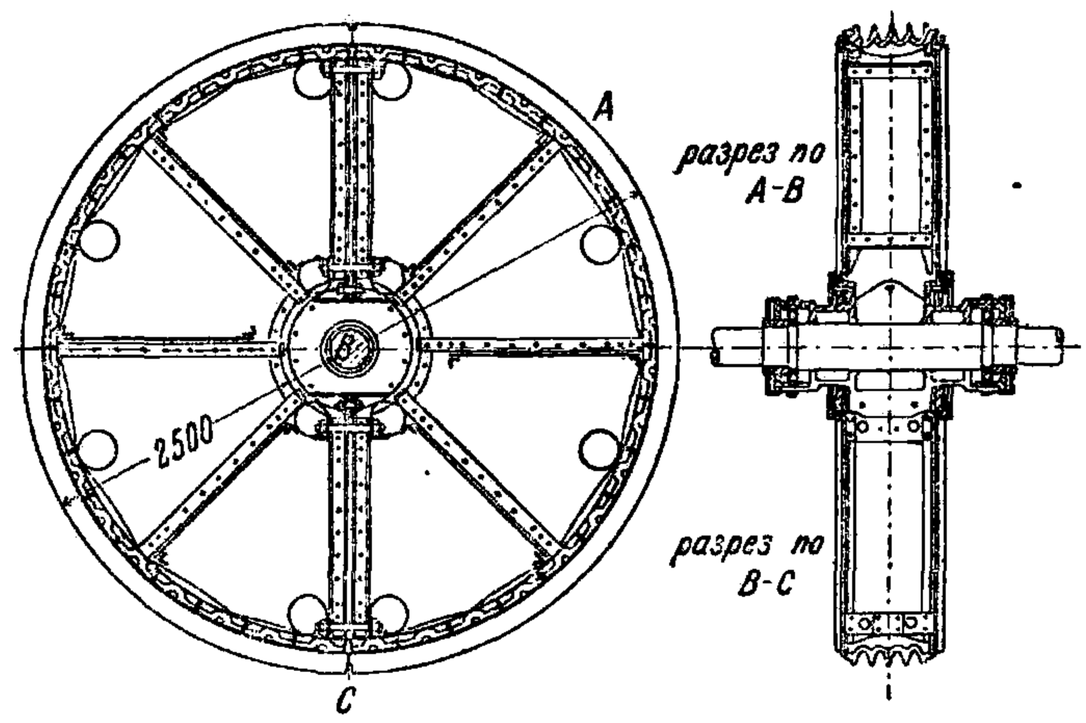
Фиг. 21.

Поддерживающие и направляющие шкивы для круглых канатов изготовляются с круглыми желобками (фиг. 16); такая форма дает бóльшую поверхность прилегания. На фиг. 21 представлен обод шкива с 14 желобками, внутренняя поверхность к-рого для облегчения веса имеет волнистую форму. Для получения простой чугунной отливки часто применяется цилиндрическ. форма по фиг. 17. Для изготовления гладких и одинаковых по форме ручьев ободá чаще всего подвергают предварительной обточке с фрезерованием. Часто шкивы делают со стыком между спицами, что допустимо только при малых скоростях, при больших же скоростях следует этого избегать. Шкивы шириной, большей чем 400—500 *мм*, снабжают двумя рядами спиц; шкивы с очень большим количеством желобков отливают в виде


Фиг. 22.


Фиг. 23.

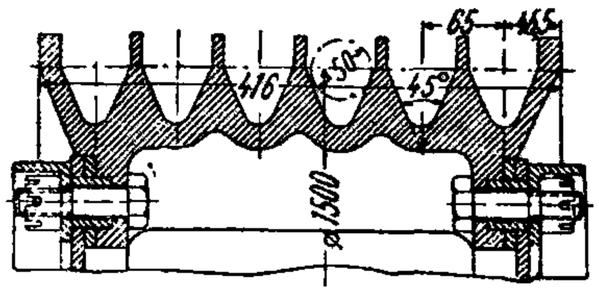
двух самостоятельных шкивов, соединяемых друг с другом болтами. Семижелобковый свертный шкив изображен на фиг. 22. Шкив завода Вюльфель, изображенный на фиг. 23, выполнен с поверхностью стыка по



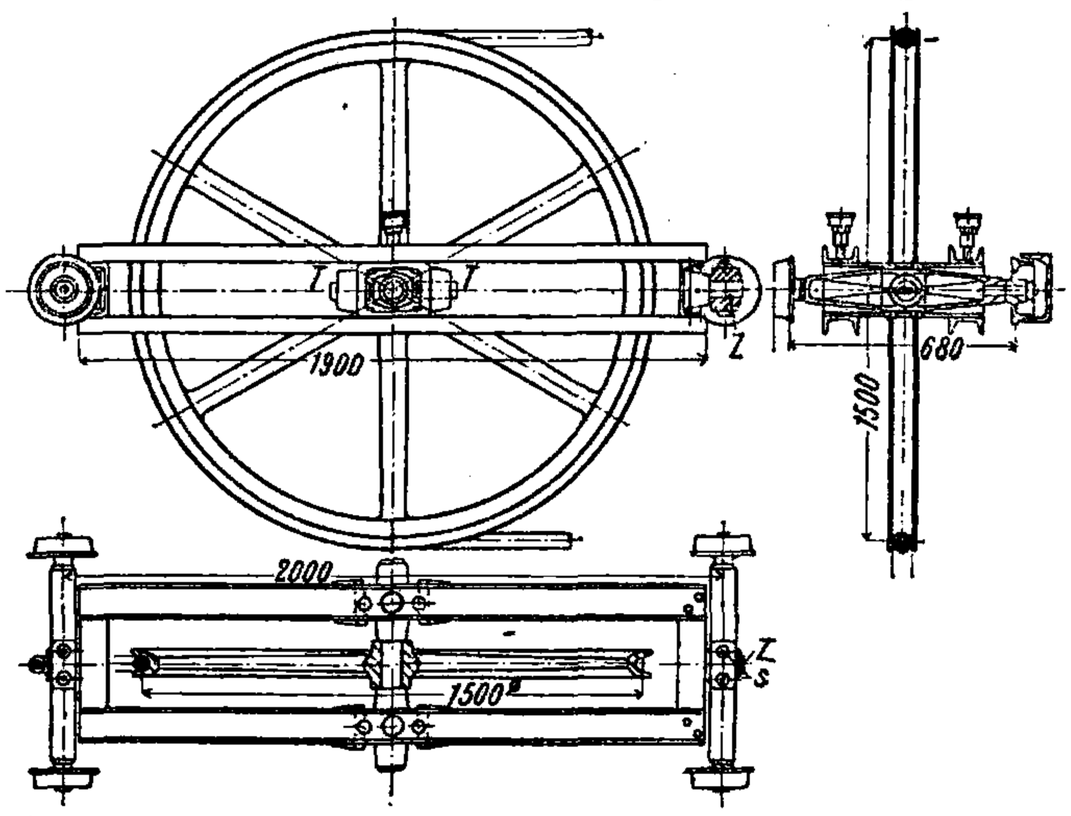
Фиг. 24.

средней плоскости двух диаметрально противоположных спиц усиленного эллиптического сечения и с узкой поверхностью стыка. Шкив, к-рым пользовался Камерер при скоростях 40 *м/сек*, представлен на фиг. 24.

Состоящая из двух половин втулка из литой стали соединяется с половинками обода при помощи железных дисков; свертный обод соединен при помощи 8 болтов и стальных колец. Фиг. 25 показывает соединение обода с железными дисками при помощи болтов, которые разгружены от действия срезывающих сил благодаря стальным плотно пригнанным втулкам. Оттяжной аппарат представлен на фиг. 26. Сам шкив находится в четырехугольной раме из фасонного железа, к-рая вращается на двух цапфах, расположенных в плоскости шкива; при монтаже шкив может быть установлен под нужным уклоном и закреплен в любом положении болтами. Поперечные балочки, несущие опоры для



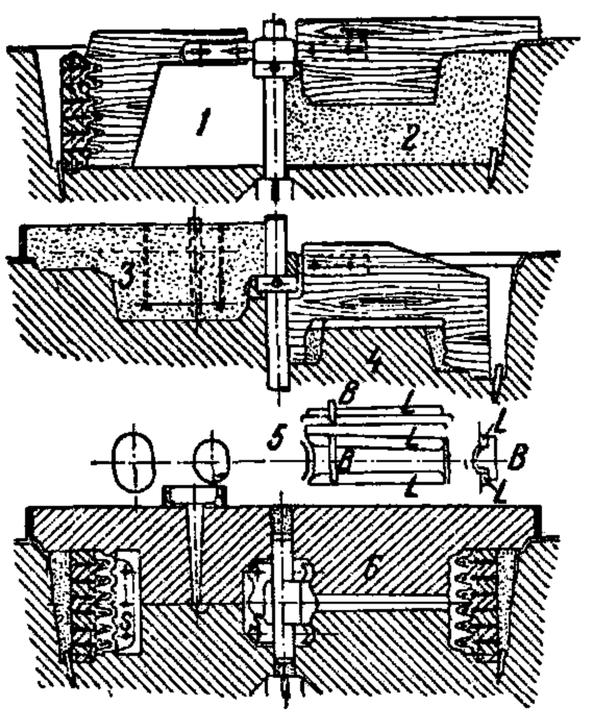
Фиг. 25.



Фиг. 26.

цапф Z, имеют 4 колеса, к-рые перемещаются в двух направляющих из корытного железа или же по рельсам. Для точной установки оси шкива служат установочные винты, фиксирующие положение подшипников.

Формовка канатного шкива при помощи шаблона в закрытой песочной форме изображена на фиг. 27. В выровненной яме изготовляется при помощи шаблона *1* форма, соответствующая наружному очертанию обода; приготовленная форма для ручьев вынимается для сушки. После этого в яме изготовляют форму *2* для верхней опоки соответственно очертанию верхн. половины втулки и внутреннему очертанию обода, к-рым придают легкую конусность для удобного снимания верхней опоки. На стыке формы в средней плоскости колеса наносят оси спиц. После этого начинают набивать верхнюю опоку *3* и одновременно вкладывают вспомогательные модели приливов для соединительных болтов. После поднятия верхней опоки выполняют по окружности при помощи вспомогательного шаблона волнообразную поверхность, соответствующую внутренней поверхности обода, и изготовляют форму для спиц по намеченным осевым линиям. После этих операций изготовляют нижнюю часть формы *4*. Эскиз *5* дает представление об изготовлении формы для спиц. По двум линейкам L, расположенным друг к другу под малым уклоном соответственно форме спиц, дорожат шаблоном B, сечение к-рого соответствует наименьшему эллиптич. сечению спицы. Эскиз *6* изображает готовую для литья форму, справа—вдоль спицы, а слева—вдоль стыка, куда закладывают пластинки S для разъединения шкива на 2 половины после его изготовления.



Фиг. 27.

Проволочноканатные передачи. Проволочноканатные передачи применяют для очень значительных расстояний; при современном развитии электротехники проволочноканатные передачи утеряли свое прежнее большое значение и в настоящее время применяются очень редко. Конструктивное описание и производство проволочных канатов см. *Канатное производство.*

Соотношения между силами и напряжениями в проволочноканатных передачах. Малое значение коэфф-та удлинения проволочных канатов приводит к малой эластичности передачи, при чем из-за температурных деформаций не допускаются малые расстояния между осями. В практике расстояния между шкивами редко выполняют меньше 25 *м*. Т. к. канаты прилегают только к основаниям желобков, то окружное усилие передается только силою трения. Из-за недостатка точных опытов о влиянии различных производственных условий на работу передачи принято считать коэфф. трения $\mu=0{,}25$ и, следовательно, отношение напряжений в ведущей и ведомой частях каната при обычном охвате шкивов на 180° будет:

$$\frac{S_1'}{S'}=\frac{\sigma_1'}{\sigma_2'}=e^{\mu\omega}=e^{0{,}2\cdot\pi}=2{,}2\,.$$

Устройство проволочноканатных передач. При расстоянии от 100 до 120 *м* можно осуществить передачу одним канатом. При бо́льших расстояниях следует включить промежуточные установки с двухжелобчатыми шкивами (фиг. 10); поддерживающих шкивов (фиг. 7) следует, однако, избегать в виду сильного изнашивания канатов от перегибов. Шкивы обычно берутся одинакового диаметра, т. е. передача берется 1 : 1, т. к. в противном случае бо́льшие шкивы получаются слишком больших размеров и чрезмерно тяжелыми. Следующим условием для правильной работы проволочных канатов является равномерность нагрузки; неравномерная работа дает неспокойный ход или вызывает сильные колебания, могущие вызвать спадание каната со шкива. При малых мощностях выбирают скорость каната от 6 до 10 *м/ск*, при больших—до 25 *м/ск*. Возможная мощность N (в HP), исходя из положения, что в данном случае можно пользоваться только одним канатом, будет:

$$N=\frac{Uv}{75}=\frac{500\cdot 25}{75}\cong 165$$

(величина окруж. усилия U взята из табл. 2).

Табл. 2. — Зависимость окружного усилия U от диаметра каната d.

Диаметр каната d в *мм*	9	10	11	12	13	14	15	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	37
Окружное усилие U в *кг* . . .	50	60	70	85	100	120	140	160	180	210	240	270	300	330	360	400	445	500

Число об/м. принимается равным от 100 до 120. Непременным условием для спокойного хода является точная установка шкивов в одной плоскости и горизонтальное положение осей. Перекрестная передача или перемена направления недопустимы. Шкивы д. б. точно сбалансированы. Большие провесы при больших расстояниях между осями, составляющие от 3 до 6 % от пролета, требуют соответственной установки шкивов над поверхностью земли. Ведущую часть каната надо располагать внизу. Во избежание несчастных случаев людные места д. б. защищены ограждениями (напр. сетками), к-рые улавливают канат при его разрыве или падении. Для предотвращения ржавления канаты покрывают лаком, а во время работы ежемесячно—салом. Продолжительность службы проволочноканатной передачи при хорошем уходе можно считать от 2 до 3 лет.

Расчет проволочноканатных передач. Для указанной цели исходят из окружного усилия $U=\frac{75N}{v}$, учитывают все изложенное о скорости и числе об/м. шкивов, выбирают из каталога подходящий канат, учитывая также начальное натяжение, необходимое для укладки каната с минимальным провесом. Такой до сих пор практикуемый способ расчета при малых расстояниях между осями дает легкие передачи, которые должны, однако, иметь малый провес. Но эти передачи очень чувствительны к удлинениям каната от влияния $t°$ и при работе. Правильнее рассчитать вес каната т. о., чтобы необходимое трение для передачи окружного усилия U получалось при умеренном провесе. По данным фирмы Фельтен и Гильом, в Германии принимают провес равным 2% от расстояния между осями, диаметр шкивов D равен $175d$, число об/м. не свыше 120—130. Коэфф. трения μ фирмы рекомендуют принимать равным 0,16. Новые канаты обычно кладут с провесом в 1,5%, учитывая то обстоятельство, что канаты сильнее вытягиваются в начале работы. Сила S_1', действующая в ведущей части каната, определяется из ф-лы:

$$S_1'=U\frac{e^{\mu\omega}}{e^{\mu\omega}-1}.$$

При охвате же канатом $^9/_{10}$ половины окружности шкива, т. е. при $\omega=0{,}9\pi$,

$$S_1'=2{,}75U.$$

Но S_1' м. б. определено также из ур-ия:

$$S_1'=\frac{g_0a^2}{8y_a},$$

что при величине стрелы провеса $y_a=0{,}02a$ (a—расстояние между осями шкивов в *м*) и при весе 1 *п. м* каната $g_0=0{,}30d^2$ дает:

$$S_1'=\frac{g_0a^2}{8y_a}=6{,}25g_0a=1{,}875d^2a.$$

При сравнении обоих выражений получим:

$$U=0{,}682d^2a,$$

или необходимый для передачи окружного усилия U диаметр каната d:

$$d\cong 1{,}2\sqrt{\frac{U}{a}}.$$

Если мощность N выражена в HP, то при D, выраженном в *см*, и n об/м. получим:

$$U=\frac{75N}{v}=\frac{75\cdot 60\cdot 100\cdot N}{\pi Dn}=\frac{75\cdot 60\cdot 100\cdot N}{\pi\cdot 175dn}=818\frac{N}{dn},$$

а отсюда выражение для d в *см*:

$$d=10{,}5\sqrt{\frac{N}{va}},\ \text{или}\ d=10{,}6\sqrt[3]{\frac{N}{an}}.$$

Из расчета видно, что при малых a получаются относительно более толстые канаты и, следовательно, большего диаметра шкивы. При больших a требуются сравнительно тонкие канаты.

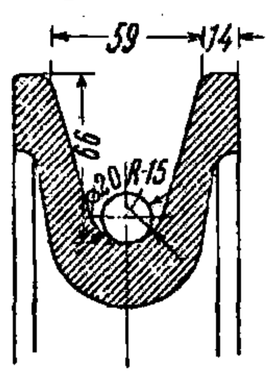
При расчете деформации и напряжений от изгиба не следует брать полностью величину коэфф-та упругости, принятую для стали, т. к. скрученные по винтовой линии проволоки сообщают канату значительную гибкость. По предложению Баха, это обстоятельство можно учесть поправочным коэффициентом β, так что

$$\sigma_b=\beta\frac{1}{a}\cdot\frac{\delta}{D},$$

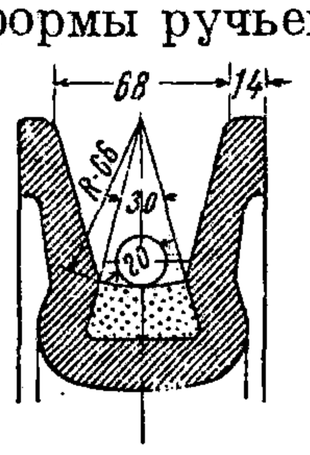
где δ—диаметр проволоки в *мм*, а β зависит от материала и типа каната; для трансмиссионных канатов Бах нашел в среднем $\beta=\frac{3}{8}$. Очень часто обозначают $\frac{a}{\beta}=\alpha'$; эта величина колеблется между $^1/_{700\,000}$ и $^1/_{800\,000}$ *см*^{2}/*кг* и называется коэфф-том удлинения проволочного каната.

Большое временное сопротивление разрыву и относительно небольшие изменения в длине проволочных канатов во время работы допускают высокое напряжение, чем и объясняются высокие кпд η для проволочных К. п. при больших расстояниях между осями. Кпд η достигает 96—97% при тщательной установке передачи; при наличии промежуточных шкивов величину η следует уменьшить на 1,5%.

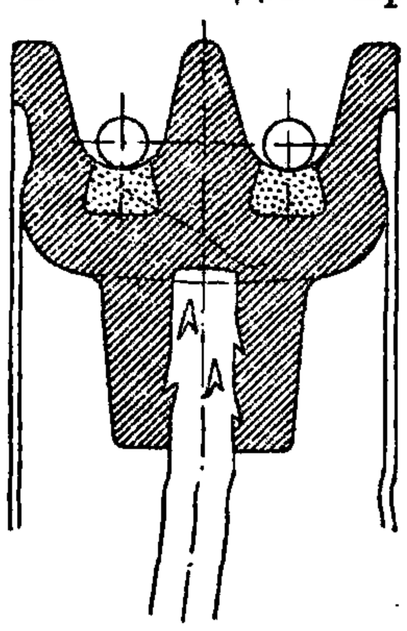
Конструкция шкивов. На фиг. 28—30 указаны формы ручьев шкивов для проволочных канатов. При непосредственном прилегании каната к ручьям последние выполняются такой формы, чтобы канат прикасался к поверхностям ручья по $^1/_3$ своей окружности. Для увеличения трения и



Фиг. 28.

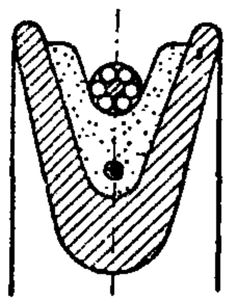


Фиг. 29.

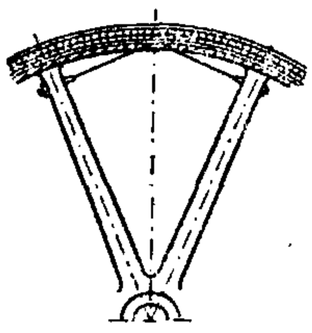


Фиг. 30.

защиты каната от быстрого износа лучше заполнять ручьи в углублениях кожей, как это показано на фиг. 29, бумажной массой или деревом, пропитанным льняным маслом; для этой цели основание ручья выполняется по сечению в виде ласточкина хвоста. Другой способ—з-да Гекель в Саарбрюкене указан на фиг. 31 и 32, где отдельные кожаные шайбы, нанизанные на проволоку, уложены в открытом жолобе, а концы проволоки притянуты к двум спицам. Двухжелобчатый шкив на фиг. 30 употребляется для промежуточной установки. При работе на таких шкивах нет надобности так сильно натягивать канаты, как на обыкновен. чугунных. Шкивы малых диаметров обыкновенно изготовляются целиком из чугуна; шкивы большого диаметра изготовляются с чугунными ободом и втулкой и со спицами из круглого или плоского железа.



Фиг. 31.



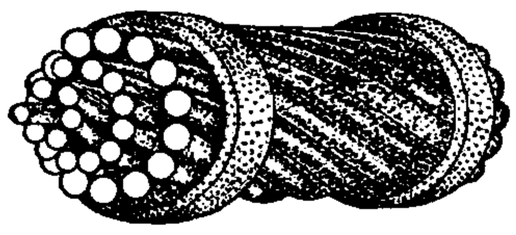
Фиг. 32.

Лит.: Rötscher F., Die Maschinenelemente, B. 2, B., 1929; Бобарыков И., Детали машин. Часть специальная, Москва—Ленинград, 1927; Сидоров А., Курс деталей машин, ч. 2, Москва—Ленинград, 1926.

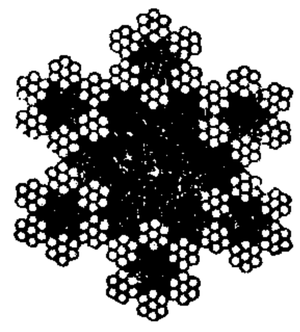
А. Вейс и Б. Шпринк.

КАНАТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО. К. п. стальных канатов. Стальные проволочные канаты являются распространенной и ответственной деталью всевозможных грузоподъемных сооружений, особенно в горной и нефтяной промышленности, а также служат для нужд пароходства и ж. д. В конструкции канатов различают три вида свивки: спиральная (фиг. 1), тросовая и кабельная (фиг. 2).

Канаты спиральной свивки применяются гл. обр. как направляющие в шахтных подъемниках и в воздушных проволочноканатных дорогах. Для подъемных целей канаты эти имеют ограниченное применение в тех случаях практики, когда



Фиг. 1.



Фиг. 2.

свободно висящий груз поднимается без направляющих. Канаты спиральной свивки обладают свойством не раскручиваться. Канаты, свитые в направлении против движения часовой стрелки [1], согласно таблице DIN 655 называются—по признаку подъема спиральной линии—правыми.

Тросовая свивка является наиболее распространенной для шахтных и подъемных канатов. При этом пряди изготовляются спиральной свивки, а из отдельных прядей свивается канат. Различают два вида тросовой свивки: крейцшлаг (Kreuzschlag)—свивка, при к-рой проволоки в пряди и отдельные пряди в канате свиваются в противоположные стороны (фиг. 3), и альбертшлаг (Albert-Gleichschlag, Längs-Patent)—проволоки и пряди свиваются в одном направлении (фиг. 4). Альбертшлаг имеет следующие преимущества перед крейцшлагом: проволоки, благодаря их наклонному положению относительно оси каната, испытывают меньшее напряжение при изгибании каната; поэтому, при одинаковой степени гибкости каната, при альбертшлаге

Фиг. 3.

можно делать канат из проволок большего диаметра, чем при крейцшлаге; канаты свивки альбертшлаг, при одинаковой с канатами крейцшлага толщине проволок, более гибки, чем последние [2]; при свивке альбертшлаг проволоки располагаются по поверхности каната значительно более плотно и потому лучше сопротивляются внешнему истиранию, имеющему место в рудниках, где канат подвержен трению о землю, или в воздушных канатных дорогах. Для подъемных канатов альбертшлаг применяется обыкновенно на практике при числе проволок не свыше 114. Недостатки свивки альбертшлаг

Фиг. 4.

по сравнению с крейцшлагом следующие. 1) При крейцшлаге проволоки в наружном слое идут приблизительно параллельно оси каната; при альбертшлаге проволоки относительно оси каната отклоняются вдвое сильнее, а потому он имеет свойство раскручиваться в значительно большей степени, чем при крейцшлаге, и не может применяться для подъема груза без особых направляющих. 2) При альбертшлаге проволоки поверхностного слоя оказываются подверженными растяжению в значительно большей степени, чем при крейцшлаге. При крейцшлаге, по DIN 655, нормальной считается правая крутка прядей.

Кабельная свивка получается путем свивки каната из отдельных прядей тросовой свивки. Канаты кабельной свивки обладают повышенной гибкостью, но плохо сопротивляются боковому давлению. Они имеют довольно узкое применение в промышленности и употребляются там, где не требуется постоянной работы каната (например при монтажных работах) и где весьма ограничены возможности в выборе ⌀ барабана. Канаты кабельной конструкции наматывают на барабан в один слой; в случаях крайней необходимости, при намотке в несколько слоев следует обязательно отделять их между собой прокладыванием досок.

Конструкция канатов условно обозначается следующим образом. При спиральной свивке, когда несколько слоев проволоки накладываются друг на друга, между отдельными числами проволок ставят знак сложения (+). При тросовой свивке число прядей отделяют от числа проволок в ка-

ждой пряди знаком умножения (×). Металлический сердечник обозначается знаком 1, а пеньковый сердечник—знаком 0. Напр., символ 6×(1+6+12+18) обозначает канат тросовой свивки, состоящий из 6 прядей; каждая прядь спиральной свивки состоит из 3 концентрич. рядов проволоки в 6, 12 и 18 проволок, обвитых вокруг металлич. сердечника. Для повышения гибкости каната сердцевина обычно делается пеньковая как в самом канате, так и в отдельных прядях. Канаты с пеньковой сердцевиной имеют тот недостаток, что плохо сопротивляются боковому давлению, и потому их следует избегать там, где канат подвергается боковому давлению, напр. при многократном наматывании на барабан подъемного устройства.

Назначение каната в значительной степени влияет на выбор не только конструкции, но и диам. проволоки, из к-рой свивается канат. Диаметр проволоки подбирают, исходя из двух противоположных соображений: 1) канаты, подверженные внешнему истиранию (например вследствие трения о землю), следует изготовлять из возможно более толстой проволоки; 2) с увеличением ⌀ проволоки растет и напряжение на изгиб; в этих случаях приходится увеличивать ⌀ шкива и, следовательно, удорожать всю установку. Для подбора диам. проволоки существуют выработанные практикой соотношения между диам. проволоки и диам. наименьшего барабана или шкива в грузоподъемном устройстве. А. Дейксель [3] рекомендует следующие соотношения для диаметров проволоки d и барабана D_1: для шахтных подъемников—от 1:500 до 1:1 000, для бремсбергов—от 1:300 до 1:500, для направляющих роликов—не более 1:300, для канатов кабельной свивки — не более 1:400. По таблице DIN 655, среднее соотношение равно 1:500. В тех случаях, где канат подвергается сильному внешнему износу (напр. при наматывании в несколько слоев на канатный барабан), в экономич. отношении бывает выгодным повысить отношение с 1:1 000 до 1:500, но для подъема людей такое отношение обычно запрещается. При уменьшении ⌀ барабана за счет увеличения отношения $\frac{d}{D_1}$ снижаются единовременные затраты на подъемную лебедку, а следовательно, и на все сооружение, но при этом значительно увеличивается износ каната, а с ним и эксплоатационные расходы.

Задавшись ⌀ проволоки d и зная полную нагрузку каната в *кг*, можно легко определить количество проволок по следующей формуле А. Дейкселя [3]:

$$A = \frac{Q}{\left(\frac{t}{S} - 0{,}006L\right)d^2},$$

где A—искомое количество проволок, Q—полная нагрузка каната в *кг*, t—сопротивление на разрыв в *кг* проволоки ⌀ 1 *мм*, S—коэфф. безопасности, при котором канат должен работать, L—длина каната в *м*, d—⌀ проволоки в *мм*.

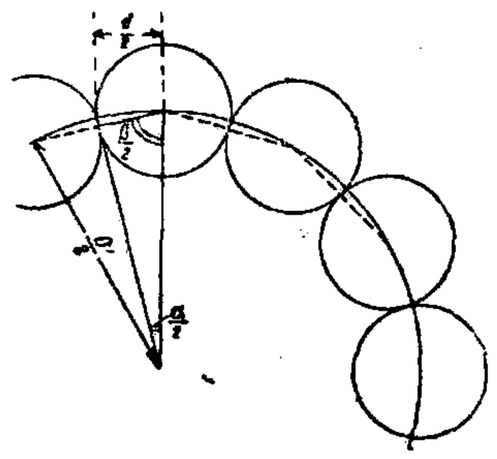
Зная количество проволок и ⌀ их, можно приступить к подсчету конструкции. В зависимости от назначения каната подбирается род свивки. Для определения по ⌀ проволок и их числу ⌀ пряди, а по числу прядей—⌀ каната (фиг. 5) применяют ф-лу:

$$D = D' + d = \left(\frac{1}{\sin\frac{360°}{2n}} + 1\right)d,$$

где D—⌀ пряди (или каната) по наружному размеру, d—⌀ проволоки (или пряди), n—число проволок в пряди (или число прядей). Из геометрич. построения (фиг. 5) можно определить теоретич. ⌀ круга δ, соответствующего по площади месту, занимаемому пеньковой сердцевиной, по ф-ле:

$$\delta = d\sqrt{n\left(\frac{\operatorname{ctg}\frac{\alpha}{2}}{\pi} - \frac{\beta}{360}\right)}.$$

Диаметр пеньковой сердцевины на практике берется на 25—30% больше теоретического, чтобы сделать сердцевину более плотной и лучше сопротивляющейся боковому давлению. Вес пеньковой сердцевины составляет от 4 до 12% веса каната [4]. Шаг свивки каната и прядей колеблется в узких пределах. По данным инженера Kroen [2], угол свивки проволок в пряди колеблется в пределах от 9°33′ до 12°47′, по Альтпетеру [1] — от 14°40′ до 17°30′. Угол свивки прядей в канате зависит от вида свивки; например, для крейцшлага при 6 прядях он равен 16°40′, при 7 прядях — 17°23′, при 8 прядях—17°59′; для альбертшлага при 6 прядях—16°40′, при 7 прядях — 15°19′, при 8 прядях — 15°51′. В табл. 1 приведены значения D (⌀ пряди или каната), δ (⌀ сердцевины или пряди) и S (шага свивки), принимая d (⌀ проволоки или пряди) равным 1.

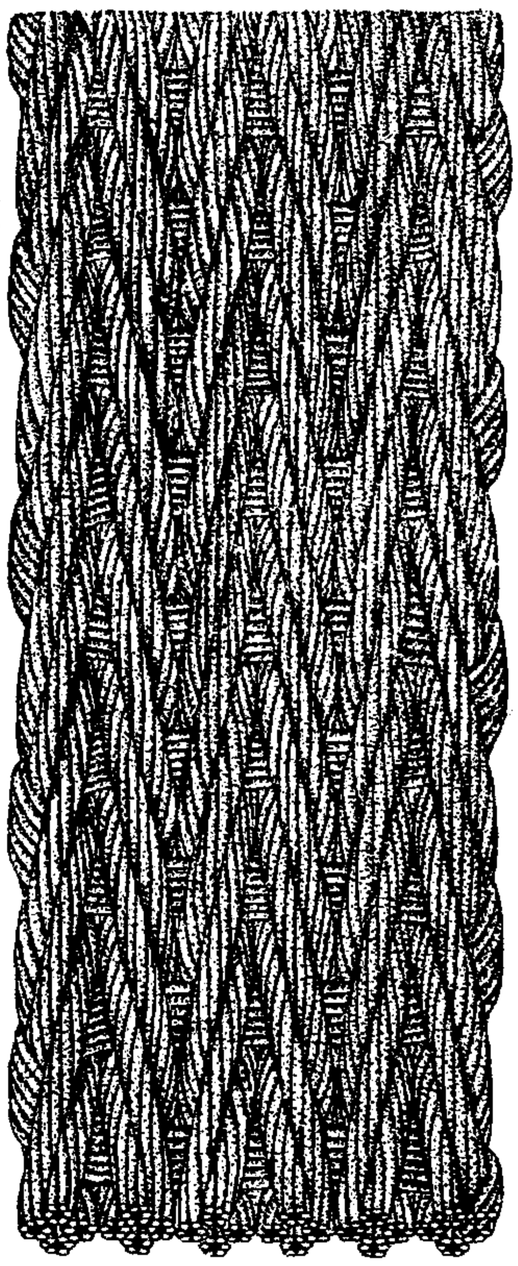


Фиг. 5.

Табл. 1. — Характеристики конструкций прядей и канатов спиральной свивки.

Символ конструкции	$D:d$	δ	$S:d$
3	2,15	—	17,2
4	2,41	—	21,2
5	2,70	—	25,5
1+ 6	3,00	—	30,0
0+ 7	3,31	$1{,}47d+30\%$	34,5
8	3,61	—	39,2
0+ 9	3,92	$2{,}09d+30\%$	43,9
0+10	4,24	$2{,}41d+30\%$	48,6
0+11	4,59	$2{,}75d+30\%$	53,8
0+12	4,86	$3{,}19d+25\%$	57,9
0+13	5,18	$3{,}36d+25\%$	62,8
0+14	5,5	$3{,}68d+25\%$	67,5
0+15	5,81	$3{,}99d+25\%$	72,1
0+16	6,13	$4{,}31d+25\%$	77,0
0+17	6,44	$4{,}63d+25\%$	81,6
0+18	6,76	$4{,}94d+25\%$	86,4
3+ 9	4,15	—	47,3
4+10	4,41	—	51,2
5+11	4,70	—	55,5
1+ 6+12	5,00	—	60,0
0+ 7+13	5,31	$1{,}47d+30\%$	64,7
0+ 8+14	5,61	$1{,}77d+30\%$	69,2
0+ 9+15	5,92	$2{,}09d+30\%$	73,8
3+ 9+15	6,15	—	77,3
0+10+16	6,24	$2{,}41d+30\%$	78,6
4+10+16	6,41	—	81,1
0+11+17	6,59	$2{,}75d+30\%$	83,9
5+11+17	6,70	—	85,5
0+12+18	6,86	$3{,}04d+25\%$	87,9
1+6+12+18	7,00	—	90,0

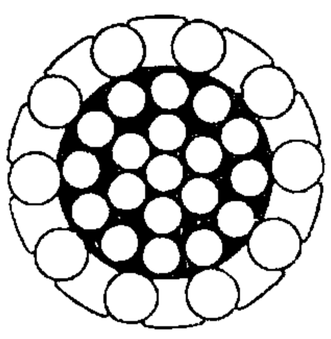
Для подсчета длины проволоки Шварц [4] дает следующие коэффициенты, на которые нужно умножить длину готового каната: для прядей спиральной свивки—1,04, для канатов тросовой свивки—1,09; для канатов кабельной свивки — 1,14 ÷ 1,18. Для приближенных подсчетов веса канатов, по Стефану [5], сумма сечений всех проволок принимается равной: 1) для открытой конструкции тросовой свивки — $0{,}50\,D^2$; 2) для открытой конструкции спиральной свивки $0{,}59\,D^2$; 3) для закрытой конструкции спиральной свивки— $0{,}68\,D^2$.



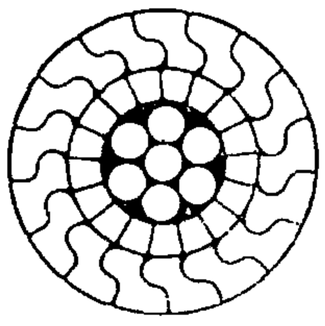
Фиг. 6.

Кроме обычных конструкций канатов, применяются еще специальные конструкции. К канатам специальных конструкций принадлежат: а) плоские канаты (фиг. 6), б) канаты закрытой конструкции (фиг. 7 и 8), в) канаты с трехгранными прядями (фиг. 9).

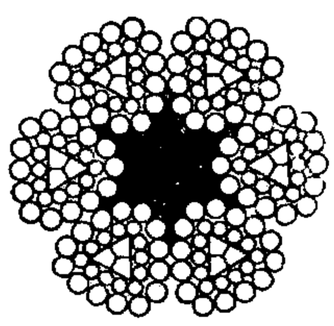
Плоские канаты иногда применяются для шахтных подъемников (гл. обр. для системы Koepé) и для трансмиссионных передач. Плоские канаты имеют следующие преимущества: 1) при одинаковой прочности они тоньше круглых и, следовательно,



Фиг. 7.



Фиг. 8.



Фиг. 9.

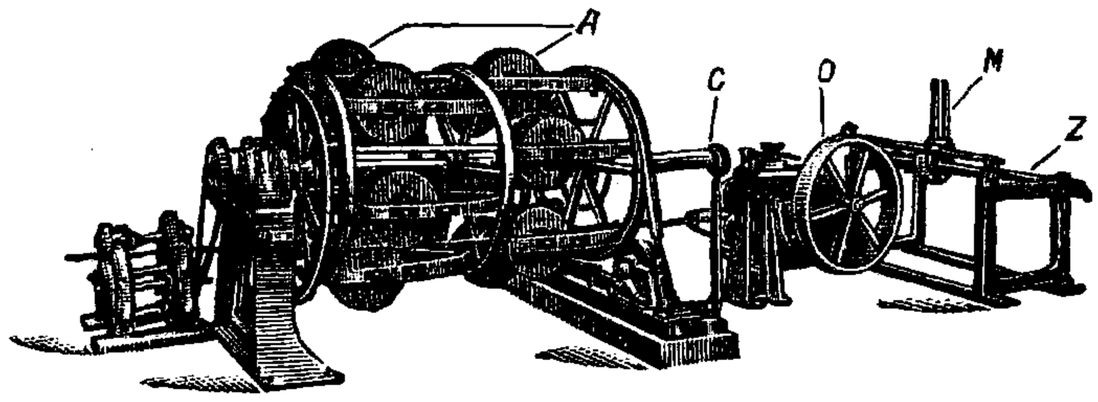
более гибки; 2) они лучше сопротивляются боковому давлению и меньше истираются по поверхности; 3) дают более спокойный ход. При эксплоатации плоских канатов нужно принять следующие меры для их спокойной работы: 1) шкивы, через которые направляются плоские канаты, должны быть строго цилиндрическими и не иметь выпуклости, как при ременных передачах; 2) шкивы д. б. шире каната и должны вовсе не иметь острых краев; 3) ось шкива и образующая его поверхности д. б. строго параллельны. В виду неравномерного натяжения и износа отдельных круглых канатов, составляющих плоский канат, выносливость плоского каната ниже обыкновенных круглых канатов. Плоские канаты получаются из круглых путем прошивания их внутри; рядом прошиваются право- и левосвитые канаты.

Канаты закрытой и полузакрытой конструкций применяются гл. обр. как несущие при канатных дорожках. Преимуществом закрытой конструкции канатов являются: гладкая поверхность, защита от проникновения влаги внутрь каната, хорошее сопротивление внешнему истиранию. Производственные затруднения сводятся: 1) к затруднительности получения профилированной, строго калиброванной проволоки в большом количестве; 2) к устройству специальных направляющих втулок, ориентирующих проволоку при выходе из трубки на ролик перед тем местом, где происходит самая свивка. Производство канатов закрытой конструкции составляет патент разных фирм (Felten und Guilleaume, A. Deichsel и др.). Канаты с трехгранными прядями, по сравнению с круглыми канатами, дают более плотную поверхность свивки. Они применяются для колошниковых подъемников, горных подъемников и других целей. Трехгранные пряди получаются путем навивки проволок вокруг трехгранного сердечника, к-рый, в свою очередь, состоит из трех- или четырехгранных проволок.

Проволочные канаты обычно готовятся из стальной проволоки с содержанием C от 0,40 до 0,80 % и с временным сопротивлением на разрыв от 120 до 180 *кг/мм²*. Иногда для специальных целей готовятся канаты с повышенным времен. сопротивлением свыше 200 *кг/мм²*. Помимо высокого временного сопротивления на разрыв, стальная канатная проволока должна иметь повышенный предел упругости (до 75% от разрывающего усилия), обладать высокой вязкостью, выдерживать повышенное число изгибов и скручиваний при технологическ. пробе. Эти высокие механич. качества канатной проволоки достигаются химическ. чистотой стали (примеси S и P вредны) и термич. обработкой проволоки (патентированием). Специальная сталь пока не находит применения для изготовления канатов; произведенные в этом направлении опыты [7,8] показали, что стальная проволока с небольшими специальными присадками в результате многократного волочения не дает лучших механич. качеств по сравнению с обыкновенной углеродистой сталью. Если же в стали содержатся значительные присадки других металлов, то такая проволока плохо поддается многократному волочению и, следовательно, из нее нельзя получить канатную проволоку малых диаметров. Углеродистая сталь при патентировании получает сорбитовую структуру; последняя способствует процессу холодного волочения, который значительно повышает механич. качества канатной проволоки [10,11]. Из мартеновских процессов, кислого и основного, предпочитается кислое мартенование как дающее более подходящий металл для производства канатной проволоки. При испытаниях канатная проволока из электростали не дала существенных преимуществ по механическ. качествам над мартеновской (кислой) проволокой. Некоторые канаты для предохранения от ржавления изготовляют из оцинкованной проволоки; однако, цинкование значительно изменяет механич. качества проволоки [15]: временное сопротивление на разрыв уменьшается на 8—10%, число возможных изгибов— на 8—22%, число скручиваний—на 29—74%.

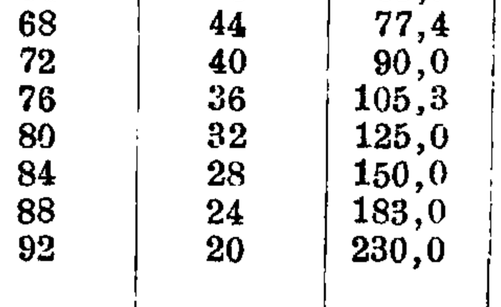
Первой производственной операцией при производстве канатов является намотка на шпули отдельных отрезков проволоки определенной длины или веса, заданных заранее по конструкции каната. Намоточные станки новой конструкции снабжаются специальными счетчиками длины. Для получения нужной длины заготовки отдельные куски проволоки спаивают. Для этой цели применяется крепкий припой—латунь с бурой в качестве флюса. В качестве источника тепла необходимо при пáйке пользоваться передвижным автогенным аппаратом и́ли специальными паяльными «пистолетами», где сгорает светильный газ в сжатом воздухе. В последнее время получили распространение очень удобные и портативные электрическ. паяльники. Спайка проволоки, даже произведенная правильно и крепким припоем, понижает в месте спая механич. качества проволоки, т. к. производит отжиг металла в месте пайки.

Намотанные шпули переносятся на свивочные машины (Litzenmaschinen) или канатные машины (Seilschlagmaschinen). По принципу действия машины эти не отличаются между собой. На первых обычно свивается заготовка (пряди), а на вторых из прядей свиваются канаты. Принцип действия канатной машины заключается в том, что проволока сматывается со шпуль, вращающихся вокруг оси, и одновременно имеет продольную подачу. Благодаря одновременному вращательному и поступательному движениям проволоки образуется спираль, которая и требуется при свивке каната из отдельных проволок. Вращательное и поступательное движения сопряжены между собой системой сменных шестерен, посредством к-рой можно установить шаг свивки соответственно избранной конструкции.



Фиг. 10.

На фиг. 10 изображена канатная машина старой конструкции, с расположением шпуль по окружности. По числу проволок пряди берется количество шпуль A, закладываемых в специальные гнезда в машине. Все проволоки через направляющие глазки сходятся в центральной трубке C, пройдя через к-рую они наматываются на ролик O; обойма машины, в которой укрепляются шпули A, имеет вращательное движение или непосредственно от шкива с контрпривода или через зубчатую передачу. Одновременно с вращательным движением обоймы машины со шпулями происходит поступательное движение каната благодаря вращению ролика O. Оба движения, вращательное и поступательное, сопряжены между собой зубчатой передачей (фиг. 11), в результате чего и образуется винтовая линия свивки проволок в канате. Вращение оси *1* обоймы со шпулями при помощи постоянной зубчатой передачи I-D-E-F-G-H, а также сменной передачи A-B передается ролику O, через который идет канат. Изменение шага свивки осуществляется переменой зубчатых колес A и B. В табл. 2 даны величины шага свивки S в *мм* при изменении передачи A-B для небольшой свивочной машины при $n=200$ оборотов в минуту, на 6 шпуль, для свивки прядей к канатам ⌀ до 25 *мм*. На одной машине можно получить 19 разных значений для шага от 10,9 до 230 *мм*.



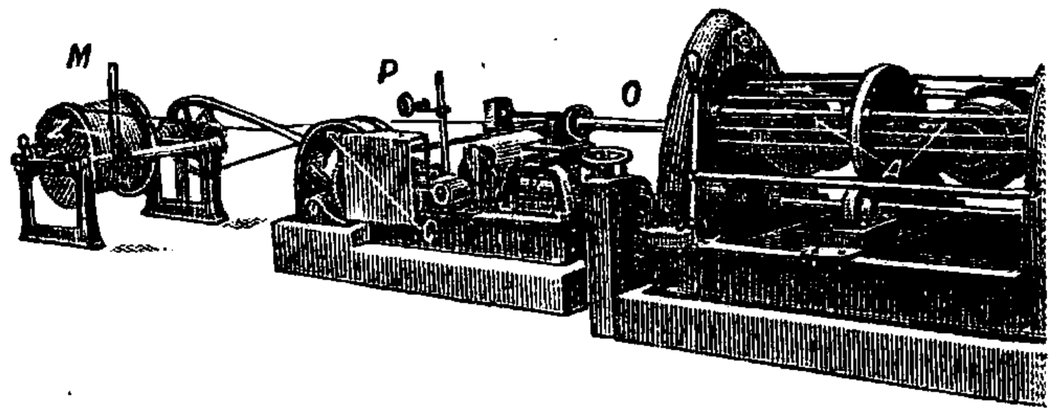
Фиг. 11.

Табл. 2.—Изменение шага в зависимости от числа зубцов колес A и B.

Число зубцов		Шаг S в *мм*	Число зубцов		Шаг S в *мм*
зубчат. колеса A	зубчат. колеса B		зубчат. колеса A	зубчат. колеса B	
20	92	10,9	60	52	57,7
24	88	13,6	64	48	66,5
28	84	16,6	68	44	77,4
32	80	20,0	72	40	90,0
36	76	23,7	76	36	105,3
40	72	27,8	80	32	125,0
44	68	32,4	84	28	150,0
48	64	37,5	88	24	183,0
52	60	43,3	92	20	230,0
56	56	50,0			

Канат через ролик O (фиг. 10) направляется на барабан, закрепленный на валу станка Z, при чем канат для плотной навивки направляется поводком M.

На фиг. 12 изображена новая быстроходная свивочная машина с расположением шпуль по оси машины. Преимуществом этой конструкции является значительно меньшая центробежная сила, достигаемая благодаря меньшему ⌀ окружности расположения шпуль, вследствие чего имеется возможность значительно увеличить число оборотов машины, а вместе с этим и ее производительность. Проволоки здесь помещаются также на шпулях A. Проволоки проходят через трубку O и наматываются, пройдя через ролик C на барабан Z, поводком M. Для облегчения учета производительности на машине имеется счетчик P, показывающий длину навитого каната или пряди. Схема передачи движения от вращательного к поступательному аналогична схеме передачи в машине старой конструкции.



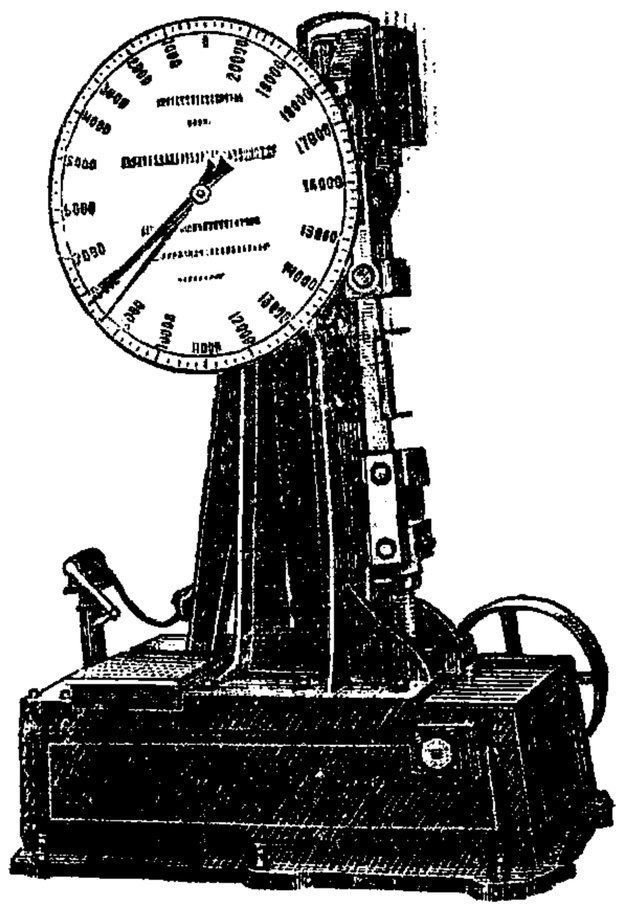
Фиг. 12.

Свивочные машины обычно выполняются на 6, 12, 18, 24 и 36 шпуль. Канатные машины бывают 6- и 8-шпульные. Свивочные машины по весу проволоки на отдельной шпуле делятся на след. три типа: легкий

тип—от 7 до 12 *кг*, средний—20—40 *кг*, тяжелый—40—60 *кг*. Для тяжелых канатных машин вместимость отдельных шпуль достигает 3 000 *кг*. Вместимость шпули в *кг* оказывает большое влияние на допустимое число оборотов машины в виду развивающейся большой центробежной силы. Самые крупные машины до последнего времени строились вертикальными, так как при такой конструкции, когда все шпули расположены на одном уровне (обычно заводского пола), их легче обслужить ручным транспортом, подвозя тяжелые шпули на тележках. При современном механизированном транспорте отпадают эти преимущества, и теперь строят канатные машины горизонтальные, как более удобные с конструктивной стороны. Новейшие конструкции свивочных машин предусматривают расположение шпуль не по окружности, а последовательно вдоль оси машины. При этом соответственно уменьшается влияние центробежной силы, и имеется возможность значительно повысить число оборотов, а с этим и производительность машины. При тонкой проволоке свивочная машина делает 1 200 об/м.

При свивке канатов следует обращать особое внимание на равномерную и достаточную натяжку проволоки при намотке, чтобы получить плотную свивку каната. Готовый канат для отправки наматывается на деревянный барабан; на разматывание его на месте потребления д. б. обращено особое внимание, т. к. при неправильном разматывании образуются загибы, которые ведут к быстрой порче каната и поломке отдельных проволок. Канат для предохранения от ржавления в пути или в месте хранения д. б. тщательно промаслен. Хранить запасные канаты необходимо в сухом, отапливаемом и вентилируемом помещении, так как в противном случае значительно сокращается срок их службы. Канаты нормально изготовляются из проволоки ⌀ 0,8÷3,2 *мм*.

По закону, канаты, находящиеся в эксплоатации, должны быть не реже одного раза в неделю тщательно освидетельствованы по наружному виду. Через каждые 6 месяцев канат д. б. тщательно промерен по ⌀ через каждые 4—6 *м*, при чем в случае утонения канат д. б. признан негодным и заменен новым. Канат д. б. также заменен новым, если на расстоянии 1 *м* в любой части каната окажутся порванными 10 % полного числа проволок. В случае обнаружения порванных проволок об этом д. б. произведена запись в журнал, куда должны заноситься результаты еженедельных, ежемесячных и полугодовых осмотров. В случаях чрезмерного напряжения каната (внезапное зацепление во время движения, внезапная остановка машины тормозом и т. п.) спуск и подъем людей д. б. приостановлены для немедленного осмотра каната, при чем, если окажется, что канат подвергся повреждению (порванные проволоки) или получил заметное остаточное удлинение, он д. б. признан негодным для спуска людей и заменен новым. Канаты, служащие для подъема людей или применяемые при углублении шахт, перед навеской д. б. испытаны на разрыв и гибкость. Сопротивление каната на разрыв измеряется величиной разрывающего усилия. Прочность каната определяется суммой усилий, разрывающих каждую проволоку в отдельности. Испытания на разрыв производятся на специальном станке (фиг. 13). При этом не принимаются в расчет проволоки, прочность которых оказалась на 20% меньше средней прочности всего каната. Одновременно с пробой на разрыв производят измерение удлинения проволоки. Из куска каната длиною в 1 *м* испытывают на прочность и гибкость все проволоки его, за исключением проволок сердечников, которые не принимаются в соображение. Гибкость проволоки измеряется числом загибов до излома на 180° при радиусе кривизны в 6,25 *мм*. Загибом на 180° считается изгиб проволоки попеременно вправо и влево на 90°. Прибор для производства этого испытания изображен на фиг. 14. По «Правилам для ведения горных работ» число загибов проволоки должно удовлетворять следующим условиям:



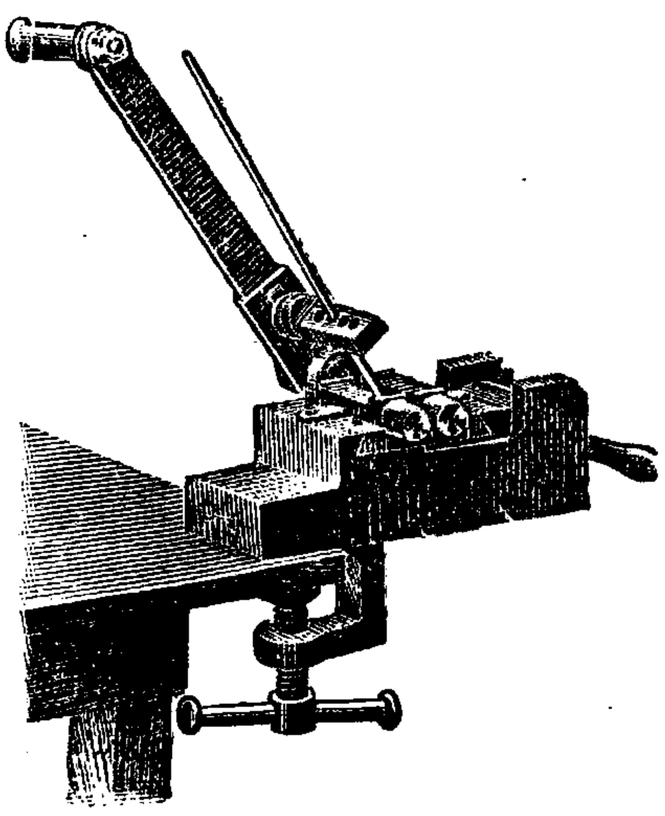
Фиг. 13.

⌀ проволоки в *мм*	Число загибов до момента излома
0—2	8
2—2,2	7
2,2—2,5	6
2,5—2,8	5
2,8 и более	4

Зависимость числа загибов от радиуса закругления губок тисков и ⌀ проволоки выражается ф-лой А. Шухарда [12]:

$$z_1 : z_2 = \left(\frac{d_2}{2R_2 + d_2}\right)^2 : \left(\frac{d_1}{2R_1 + d_1}\right)^2$$

(z_1 и z_2—числа загибов, d_1 и d_2—⌀ проволоки и $2R_1$ и $2R_2$—кривизны губок тисков). Хорошей пробой на качество стальной канатной проволоки является проба на скручивание. Прибор для скручивания представлен на фиг. 15. Для испытания берут отрезок проволоки длиной от 150 до 200 *мм*, натянутый определенным грузом. Результат испытаний дан в табл. 3 (по Hrabak [14]).



Фиг. 14.

Процесс свивки уменьшает разрывающее усилие каната по сравнению с тем, какое он должен был бы иметь, если исходить из разрывающих усилий отдельных проволок до свивки. По Бенсдорфу [13], действительное разрывающее усилие каната при спи-

Табл. 3.—Результат испытаний канатной проволоки на скручивание.

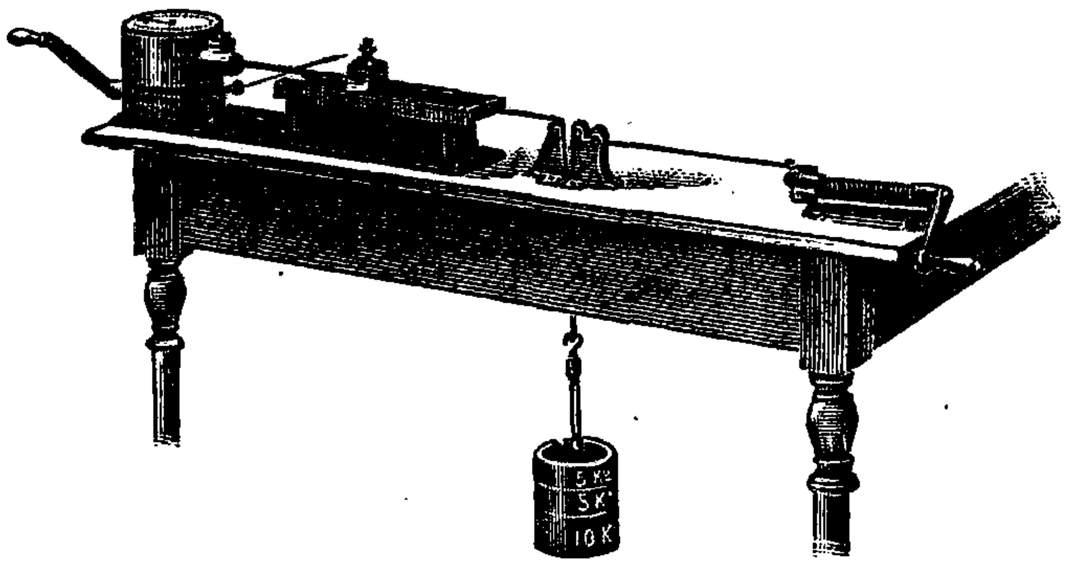
Врем. сопр. на разрыв в *кг/мм²*	Диаметр проволоки в *мм*	Число скручиваний
60	1,4	60
	2,0	52
	2,5	40
120	1,4	26
	2,0	22
	2,5	18
150	1,4	26
	2,0	20
	2,5	17
180	1,4	25
	2,0	19
	2,5	16

ральной свивке в первом приближении м. б. принято равным 0,95 от суммы разрывающих усилий отдельных проволок; при тросовой свивке—0,90, при кабельной свивке — 0,85. Инж. Крен (Kroen) [9] на основе испытаний, произведенных на St. Egydier Drahtseilfabrik, вывел ф-лу:

$$Z = n \cdot z \cdot \cos w \cdot \cos W ,$$

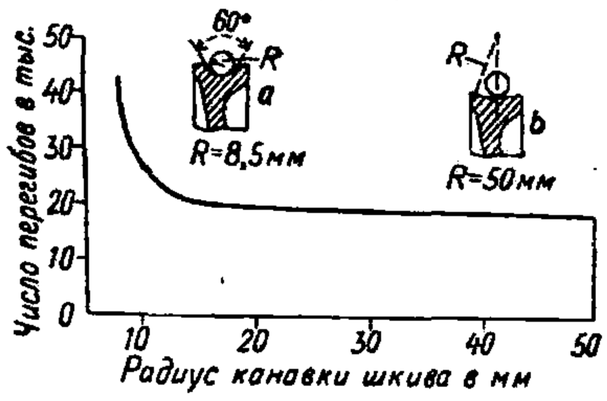
где Z—разрывающее усилие всего каната в *кг*, n—число отдельных проволок в канате, z—разрывающее усилие отдельной проволоки, w—угол свивки проволок в пряди и W—угол свивки прядей в канате. По его подсчетам, для тросовой свивки коэфф-т $\cos w \cdot \cos W$ при крейцшлаге равняется 0,94 и при альбертшлаге — 0,95.

Продолжительность службы проволочного каната зависит от качеств самого каната и



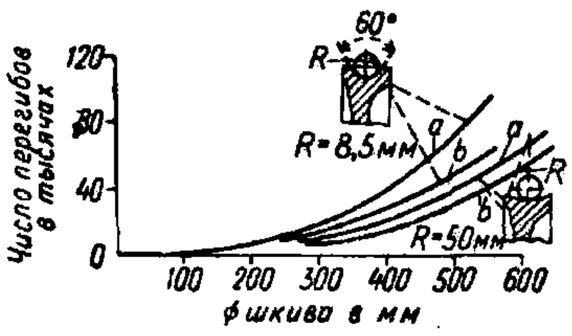
Фиг. 15.

от правильности его эксплоатации, а именно от: 1) качества стальной проволоки, применяемой для изготовления каната, правильного подбора рода свивки, конструкции и толщины проволоки; 2) достаточной величины ⌀ барабана для наматывания каната; 3) правильности системы торможения, предотвращающей внезапное введение полной нагрузки; 4) недопущения частого изменения скорости подъема; 5) регулярности осмотра каната и наблюдения за его постоянной смазкой; 6) предохранения каната от ненужного трения и защемления в канавках барабана, при чем следует обращать внимание на то, чтобы поверхность барабана была гладко обточена и не имела выступающих головок болтов и пр.; 7) своевременного вырезывания выступающих концов поломанных проволок в канате, т. к. выступающие концы при навивании каната на барабан влекут за собой поломку других проволок; 8) соблюдения правил предосторожности против образования петель и узлов при распаковке нового каната; 9) смазки каната мазью, не содержащей к-т и смолы; если мазь смолиста, то образуется твердая кора, которая лопается, в образующиеся щели попадает вода, и канат незаметно ржавеет; хорошей смазкой является графит или смесь графита с вазелином, льняным, пальмовым или какими-нибудь другими растительными маслами, которые рекомендуется перед смазкой согреть. Смазка канатов производится в сухих шахтах через каждые две недели, а в сырых или глиняных—не менее одного раза в неделю. Канаты в системе Коерé не смазываются, т. к. они тогда скользят по шкиву.

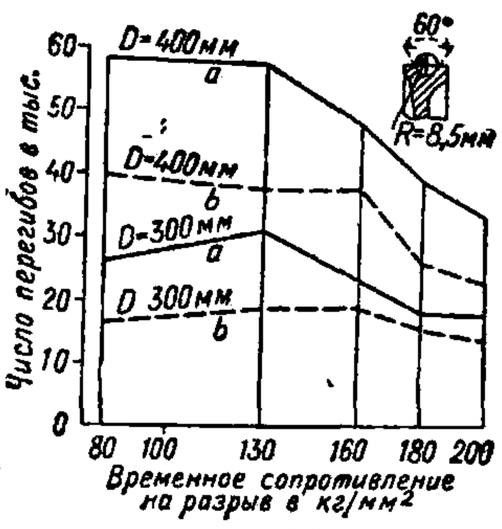


Фиг. 16.

Нек-рые факторы, влияющие на продолжительность службы каната, были недавно подвергнуты экспериментальной проверке, в результате которой удалось сделать целый ряд важных для практики выводов. а) Влияние радиуса канавки канатного шкива показано на фиг. 16. Как можно видеть из диаграммы, продолжительность службы каната возрастает с уменьшением радиуса канавки канатного шкива. б) Род свивки оказывает влияние на продолжительность службы каната: альбертшлаг дает лучшие результаты, чем крейцшлаг. На фиг. 17 показано, как изменяется продолжительность службы каната в зависимости от рода свивки и ⌀ канатного шкива. Кривые *a* относятся к свивке альбертшлаг, а кривые *b*—к свивке крейцшлаг. в) Что касается влияния ⌀ и числа проволок, то многочисленные опыты показали, что при прочих равных условиях, изменяя только число проволок от 366 до 18 и их ⌀ одновременно от 0,56 до 2,50 *мм*, наилучшие результаты в смысле продолжительности службы каната получают при числе проволок 114, ⌀ проволоки 1.0 *мм* и ⌀ канатного шкива от 300 до 500 *мм* (при радиусе для канавки 8,5 *мм*). г) На продолжительность службы каната оказывает влияние сопротивление на разрыв проволоки, из которой изготовлен канат. Графически влияние это указано на фиг. 18 (*a*—свивка альбертшлаг, *b* — крейцшлаг). Как видно из диаграммы, максимум продолжительности службы каната получается при проволоке с временным сопротивлением на разрыв в 130 *кг/мм²*. д) Цинкование стальных проволок, идущих для изготовления канатов, понижая их временное сопротивление на разрыв, не понижает,



Фиг. 17.



Фиг. 18.

а иногда даже немного повышает продолжительность службы каната. е) Канаты закрытой конструкции имеют в эксплоатации целый ряд преимуществ; в частности закрытая конструкция повышает продолжительность службы каната. ж) Перегиб каната при работе (например, в виде буквы S) понижает продолжительность его службы; понижение достигает 25% и более.

Производительность стальных канатов в шахтных подъемниках за все время их эксплоатации (по Петеру) такова:

1) при устройстве с приводными шкивами—для сухих работ 274 000 *ткм*, для мокрых работ 141 000 *ткм*;

2) при устройстве с канатными барабанами—для сухих работ 136 000 *ткм*, длямокрых работ 103 000 *ткм*.

Стоимость каната на 1 *ткм* произведенной им работы составляет для обыкновенных шахтных подъемников 0,3—3 коп., для подъемников Кепе—0,27—2,7 коп.

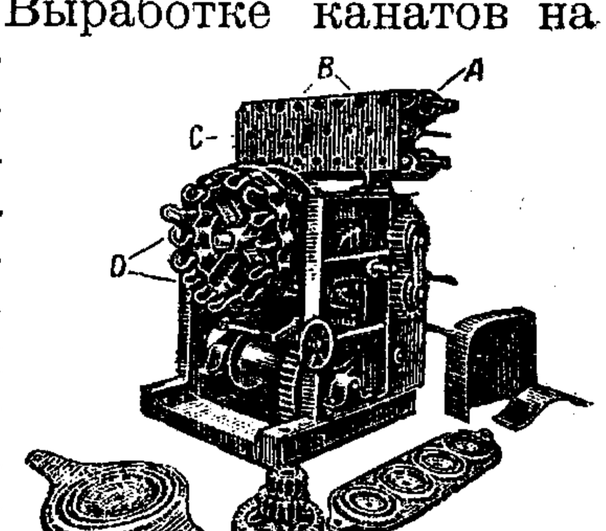
Лит.: [1]) Altpeter H., Die Drahtseile, ihre Konstruktion u. Herstellung, Halle a/S., 1926; [2]) Die Maschinen d. Berg- u. Hüttenwerke, hrsg. v. F. Peter, H. 2 — Die Seile und Ketten, Halle a/S., 1914; [3]) Дейксель А., Конструкционные таблицы стальн. канатов, Сосновицы; [4]) Schwarz W., Hilfstafeln f. die Draht-, Drahtseil-, Blech- etc. Kalkulation, Hamm, 1922; [5]) Stephan P., Die Drahtseilbahnen, 4 Aufl., B. 1, 1926; [6]) Schleifenbaum, Das Drahtseil, seine Fabrikation u. Eigenschaften unter besonderer Berücksichtigung seiner Verwendung als Tragorgan zu Hängebrücken, «Kölner technische Blätter», Köln, 1914, H. 7; [7]) Pomp A., Aus Theorie u. Praxis d. Stahldraht-Herstellung, «St. u. E.», 1925, H. 21; [8]) Adam A. T., Wire Drawing a. the Cold Working of Steel, L., 1925; [9]) «Österr. Ztschr. f. d. Berg- u. Hüttenwesen», W., 1909, p. 343; [10]) Лурье Г. Б., Влияние протяжки на свойства проволоки, «Вестник инженеров», М., 1927, *8*; [11]) его же, Стальные проволочные канаты, их конструкция, расчет и производство, «Вестник металлопромышленности», М., 1928, *11*; [12]) Schuchardt A., Untersuchung d. Biegsamkeit v. Drähten, «Anzeiger f. d. Draht-Industrie», B., 1909, *14—17*; [13]) Benndorf H., Beiträge zur Theorie d. Drahtseile, «Ztschr. d. Österreichischen Ingenieur- u. Architekten-Vereins», W., 1905, p. 685; [14]) Hrabak J., Die Drahtseile, B., 1902; [15]) «Glückauf», Essen, 1910, p. 785; [16]) Herbst H., Die Hin- u. Her-Biegeprobe f. Förderseildrähte, ibid., 1924, p. 1111; [17]) Herbst H., Ergebnisse d. Verhandlungen d. Preuss. Seilfahrtkommission, ibid., 1925, p. 33; [18]) «Die Verhandlungen und Untersuchungen d. Preuss. Seilfahrtkommission», B., ab 1913.

Börner C., Draht-Weltbuch, p. 137, Halle a/S., 1924; Trebesius, Die Entwicklung d. Drahtseilerei. Handb. f. Drahtindustrie, B., 1926. **Г. Лурье.**

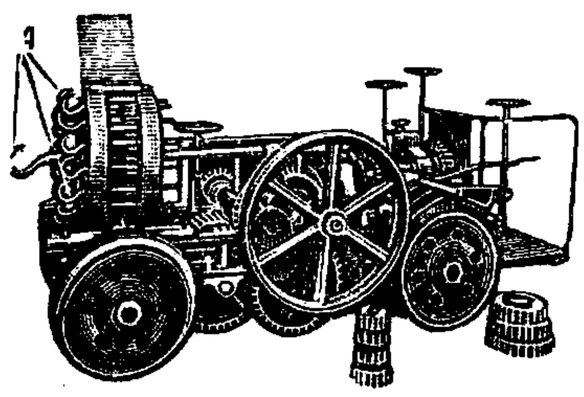
К. п. из волокнистых материалов.

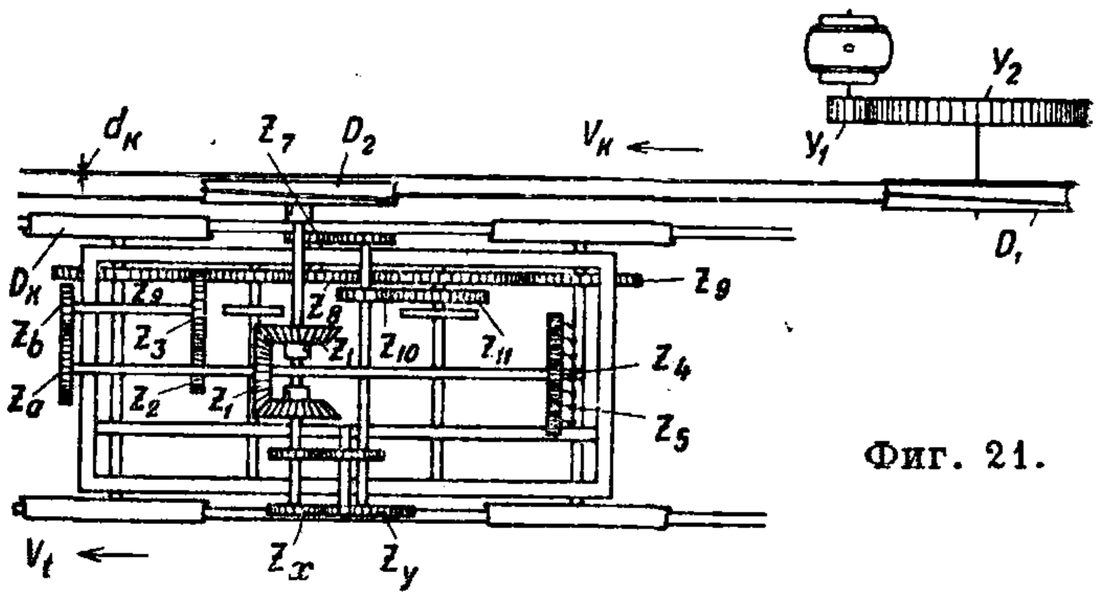
Для изготовления тонких (∅ до 25 *мм*) канатов из волокнистых материалов за границей обыкновенно применяют веревочные машины (см. *Веревочное производство*). У нас эти машины для изготовления канатов не получили распространения. Как тонкие, так и толстые канаты на наших ф-ках вырабатываются на так называемых тягально-спускальных машинах с откатывающейся кареткой. Толстые канаты за границей вырабатываются на тягально-спускальных машинах, на вертикальных канатных машинах и на горизонтальных канатных машинах.

Изготовление канатов на тягально-спускальных машинах. Выработке канатов на тягально-спускальных машинах с откатывающейся кареткой предшествует образование прядей каната. На фиг. 19 показан неподвижный лафет тягально-спускальной машины, а на фиг. 20—откатывающаяся каретка. Для получения пряди на таких машинах сзади неподвижного лафета устраиваются рамы, в к-рые вставляется потребное количество бобин с пряжей. Необходимое для образования пряди число ниток пряжи проводят через отверстия регистровой доски *A*, расположенные концентрическ. кругами, так что и каболки в каждой пряди располагаются таким же образом. Отсюда каждая группа каболок пропускается через свой калибр *B*, соответствующий вырабатываемой пряди. Калибр представляет собою металлич. трубку, которая вставляется в отверстия паровой коробки *C*, где каболки прогреваются паром благодаря этому они становятся более мягкими и легче поддаются сжатию при протаскивании через калибр. Такое подогревание необходимо для смоленых каболок, в особенности в холодное время. Пропущенные через калибр концевые группы каболок каждой пряди связывают узлом и надевают на крюк *A* (фиг. 20) тягальной машины. Заправленной т. о. тягальной машине сообщается при помощи электромотора и ряда



Фиг. 19.


Фиг. 20.



Фиг. 21.

шестерен и шкивов поступательное движение, при к-ром она вытягивает пряди и одновременно сообщает им крутку. Данные о передачах и основных размерах тягальных машин приведены в табл. 4.

Табл. 4. — Данные тягальных машин.

$n_м$. об/м.	y_1	y_2	D_1 в *м*	$d_к$ в *м*	p%	D_2 в *м*	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	z_7	z_8	z_9	$D_к$ в *м*
740	18	141	0,912	0,025	2	0,920	11	35	60	12	15	40	16	40	0,700

Число зубцов сменных шестерен: z_a—10-11-12-13-14; z_b—36-35-34-33-32; z_x—13-14-15-16-17; z_y—33-32-31-30-29.

Расчет скорости вытягивания стренг и крутки на тягальных машинах (фиг. 21). Скорость тягового каната $V_к$ (в *м/мин*),

$$V_к = \frac{n_{м.} \cdot y_1 \cdot \pi (D_1 + d_к)}{y_2} \cdot \left(1 - \frac{p}{100}\right) \cdot \qquad (1)$$

где $n_{м.}$—число об/м. мотора, D_1 и $d_к$—$\varnothing$ шкива и каната в *м*, p—% скольжения на передаче.

Скорость каната относительно каретки равна

$$V_к - V_t,$$

где V_t—скорость каретки в *м/мин*.

Число n_2 об/м. шкива D_2

$$n_2 = \frac{V_к - V_t}{\pi (D_2 + d_к)} = K_1 (V_к - V_t), \qquad (2)$$

где $K_1 = \frac{1}{\pi (D_2 + d_к)}$—постоянное для данной тягальной машины число, а D_2—$\varnothing$ шкива в *м*.

Число $n_{кр.}$ об/м. крюков

$$n_{кр.} = \frac{n_2 \cdot z_a \cdot z_3 \cdot z_4}{z_b \cdot z_2 \cdot z_5} = K_2 \cdot n_2 \cdot \frac{z_a}{z_b}, \qquad (3)$$

где z_a и z_b—число зубцов на сменных шестернях и $K_2 = \frac{z_3 \cdot z_4}{z_2 \cdot z_5}$, подобно K_1,—постоянное число.

Скорость тягальной каретки (в *м/мин*),

$$V_t = \frac{n_2 \cdot z_x \cdot z_6 \cdot z_8 \cdot \pi \cdot D_к}{z_y \cdot z_7 \cdot z_9} = K_3 \cdot n_2 \cdot \frac{z_x}{z_y}, \qquad (4)$$

где $D_к$—$\varnothing$ колес в *м*, z_x и z_y—число зубцов на сменных шестернях и $K_3 = \frac{z_6 \cdot z_8 \cdot \pi \cdot D_к}{z_7 \cdot z_9}$, подобно K_1,—постоянное число.

Из ф-л (4) и (2) получаем (в *м/мин*):

$$V_t = \frac{V_к}{1 + \frac{1}{K_1 \cdot K_3} \cdot \frac{z_y}{z_x}}. \qquad (5)$$

Шаг витка наружных каболок в пряди

$$t = \frac{V_t}{n_{кр.}} = \frac{K_3 \cdot z_x \cdot z_b}{K_2 \cdot z_y \cdot z_a}$$ *м* на один оборот. (6)

Крутка стренги

$$I = \frac{1}{t} = \frac{K_2 \cdot z_y \cdot z_a}{K_3 \cdot z_x \cdot z_b}$$ оборотов на *м*. (7)

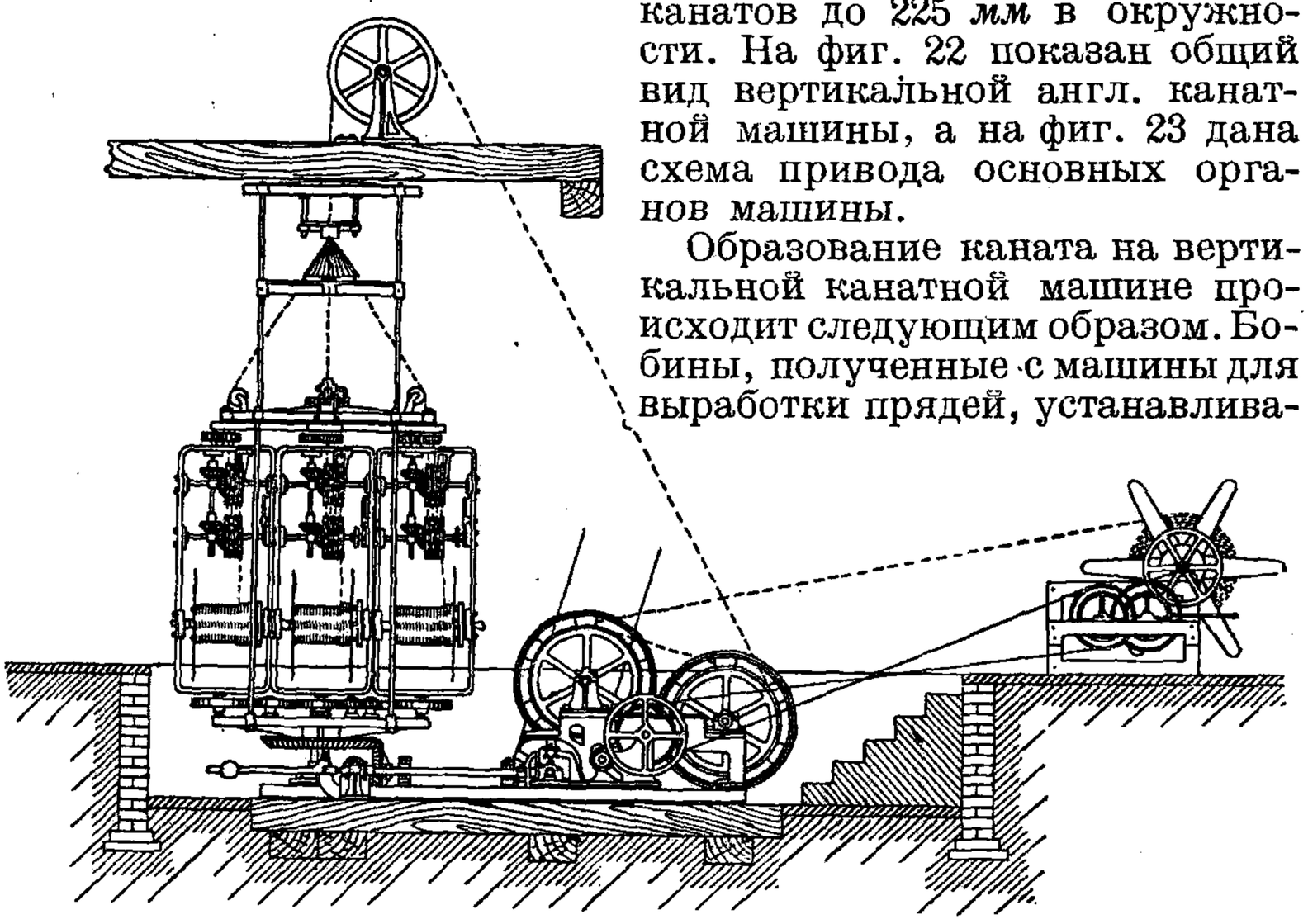
Крутка пряди зависит и от поступательной скорости каретки. После вытягивания пряди намеченной длины поступательное движение каретки прекращается или выключением мотора, по сигналу машиниста, или переводом на холостой ход шкива D_2. Далее выводятся из сцепления шестерни z_9 и z_{11} и коническ. шестерня z_1. Во избежание раскручивания пряди затормаживается вал с шестерней z_4, который задерживает крюки крутки, и обрезанные пряди надеваются на крюки D неподвижного лафета (фиг. 19).

Образование каната из прядей, или спуск каната, может производиться этими же машинами и на этой же дороге или же пряди перекладываются на другую дорогу, и канат спускается такими же машинами, но на другой дороге. Процесс спуска в обоих случаях одинаков.

Полученные пряди не имеют достаточной крутки; поэтому приходится производить докрутку прядей, сообщая вращательное движение крюкам тягальной машины и неподвижному лафету, при чем вращение происходит в разные стороны. Когда докрутка доведена до требуемого размера (что зависит от толщины каната), пряди снимают с крючков каретки и в количестве, нужном для образования каната, надевают на один из крючков A (фиг. 20). Между прядями у крюка каретки вставляют конус, после чего приводят в движение крюки каретки и лафета в одном и том же направлении. От скручивания прядей конус гонится в сторону переднего лафета, и между крюками каретки и конусом происходит скручивание прядей в канат. Поступательные движения конуса (шаг витка каната) регулируются путем закрепления конуса на тележке, к-рой сообщается требуемое поступательное движение от привода, или же движение конуса регулируется спускальщиком при помощи привязанных к конусу концов каната, к-рыми обматывается изготовляемый канат; зажимом этих концов регулируется поступательное движение конуса. Изготовленные канаты сматываются на особых сборочных машинах в бухтины.

Изготовление канатов на вертикальных машинах. Для образования каната на вертикальных машинах необходимо предварительно получить прядь из отдельных каболок, что производится при помощи т. н. машин для прядей (Litzenmaschine). Для производства канатов указанные машины, не отличающиеся по своей конструкции от машин для производства прядей для веревок, строятся более тяжелого типа. После выработки прядей они, в виде бобин $\varnothing$ от 350 до 1 000 *мм*, поступают на вертикальную канатную машину, где три или четыре пряди скручиваются в трех- или четырехпрядный канат. Вертикальные канатные машины применяются преимущественно в Англии и конструируются англ. заводами для выработки канатов до 225 *мм* в окружности. На фиг. 22 показан общий вид вертикальной англ. канатной машины, а на фиг. 23 дана схема привода основных органов машины.

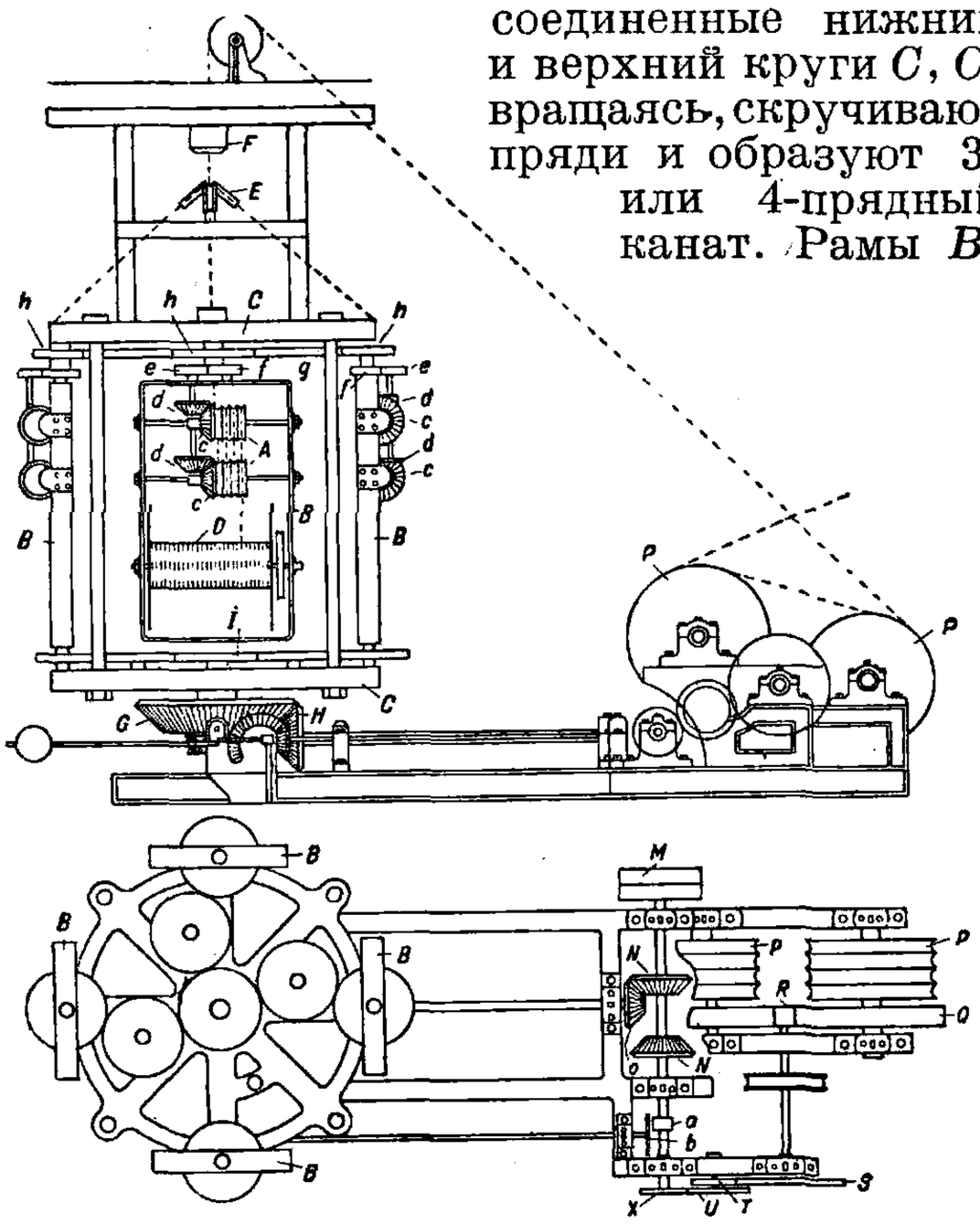
Образование каната на вертикальной канатной машине происходит следующим образом. Бобины, полученные с машины для выработки прядей, устанавлива-



Фиг. 22.

ются в рамах B, как указано на фиг. 5. Вытяжные барабаны P, P, вращаясь, вытягивают

отдельные пряди с бобин через желобчатые шкивы A, отверстия верхнего вращающегося круга C, конус E, направляющую втулку F и верхний блок. Жестко между собой соединенные нижний и верхний круги C, C, вращаясь, скручивают пряди и образуют 3- или 4-прядный канат. Рамы B,



Фиг. 23.

в к-рых помещаются бобины с прядями, производят докрутку прядей. Желобчатые шкивы A связаны между собой системой шестерен т. о., что производят одинаковую подачу прядей с каждой бобины. Шестерни, помощью которых совершается вращение рам B, докручивающих пряди, рассчитаны т. о., что раскручивание прядей, происходящее вследствие вращения машины, полностью компенсируется вращением рам в обратном направлении. Для регулирования крутки служит фрикционная передача a-b к шестерне I. Желобчатые шкивы A, вращающиеся от натяжения прядей, соединяются одинаковыми шестернями c, d, e, f и h с шестерней g, вследствие чего число оборотов и подача прядей уравниваются во всех рамах. Т. о., при вращении главного шкива происходит одновременно вращение: 1) вытяжных барабанов P, P, 2) кругов C, C, скручивающих пряди в канат, 3) рам B, докручивающих пряди, и 4) желобчатых шкивов A, производящих подачу прядей с бобин для образования каната. Выпуск каната в единицу времени равняется окружной скорости вытяжных барабанов P, P. Если обозначим число об/м. главного шкива M через n, а диаметр вытяжных барабанов через D, то окружная скорость их

$$V = \frac{n \cdot X \cdot T \cdot R \cdot \pi \cdot D}{U \cdot S \cdot Q}.$$

Число об/м. кругов C, C машины

$$n_c = \frac{n \cdot N \cdot H}{O \cdot G}.$$

Крутка каната на 1 *п. м* равна

$$\frac{\frac{n \cdot N \cdot H}{O \cdot G}}{\frac{n \cdot X \cdot T \cdot R \cdot \pi \cdot D}{U \cdot S \cdot Q}} = \frac{N \cdot H \cdot U \cdot S \cdot Q}{O \cdot G \cdot X \cdot T \cdot R \cdot \pi \cdot D},$$

где X есть сменная шестерня. Основные данные передачи вертикальной канатной машины приведены в табл. 5.

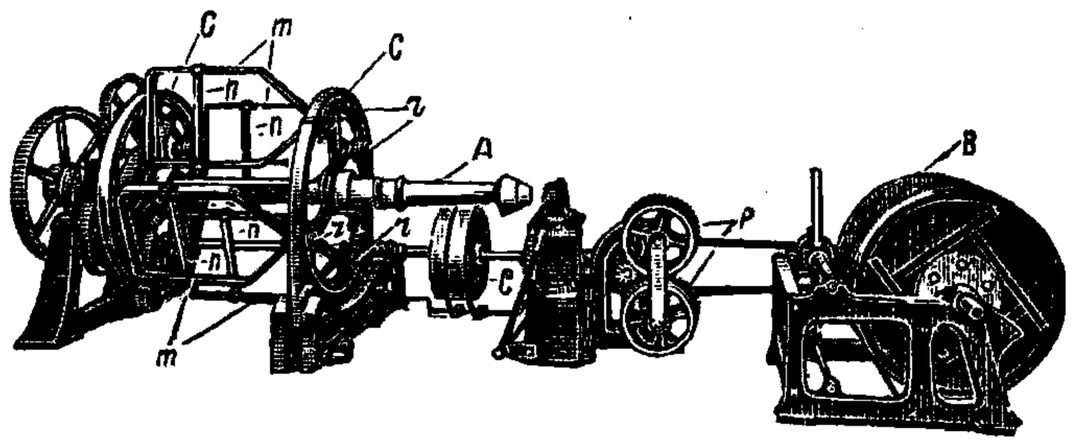
Табл. 5. — Данные вертикальных машин.

Числа зубцов									Окружность барабанов P, P в *м*
N	H	U	S	Q	O	G	T	R	
31	35	60	60	100	31	75	15	20	2,4

Сменная шестерня X имеет 16-18-20-22-24-26-28-30-32-34-36 зубцов.

Выработка канатов на горизонтальных канатных машинах начинается также с образования прядей на машинах для выработки прядей, после чего бобины с прядями устанавливаются в вращающихся рамах горизонтальной канатной машины.

На фиг. 24 показан общий вид горизонтальной канатной машины (Seilschlagmaschine). Она состоит из вращающихся кругов C, C с центральным вращающимся валом A, имеющим на конце конус для скручивания каната. В кругах C, C помещены вращающиеся рамы m, которые производят докрутку пряди. На шпиндели n надеваются катушки с прядями, к-рые вытягиваются желобчатыми вытяжными блоками p, p и через отверстия r направляются к конусу, сидящему на конце вала A, где они скручиваются в трех- или четырехпрядный канат.



Фиг. 24.

Барабан B производит сборку скрученного машиной каната.

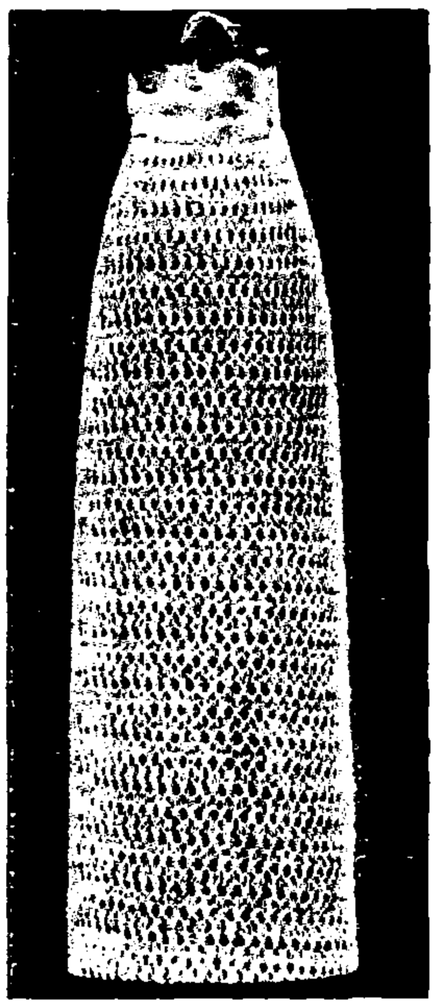
Лит.: Закржевский С. Н., Механич. производство канатов, Харьков, 1907; Лебедев Н. Н., Производство канатов и веревок, П., 1923; Крашенинников Ф. Е., Прядение пеньки и производство крученых изделий, М., 1929 (печат.); Carter H. R., Modern Flax, Hemp a. Jute Spinning a. Twisting, L., 1907; Technologie d. Textilfasern, hrsg. v. R. Herzog, B. 5, T. 2— Hanf- u. Hartfasern, B., 1927. **Ф. Крашенинников.**

КАНАТЫ, см. *Канатное производство.*

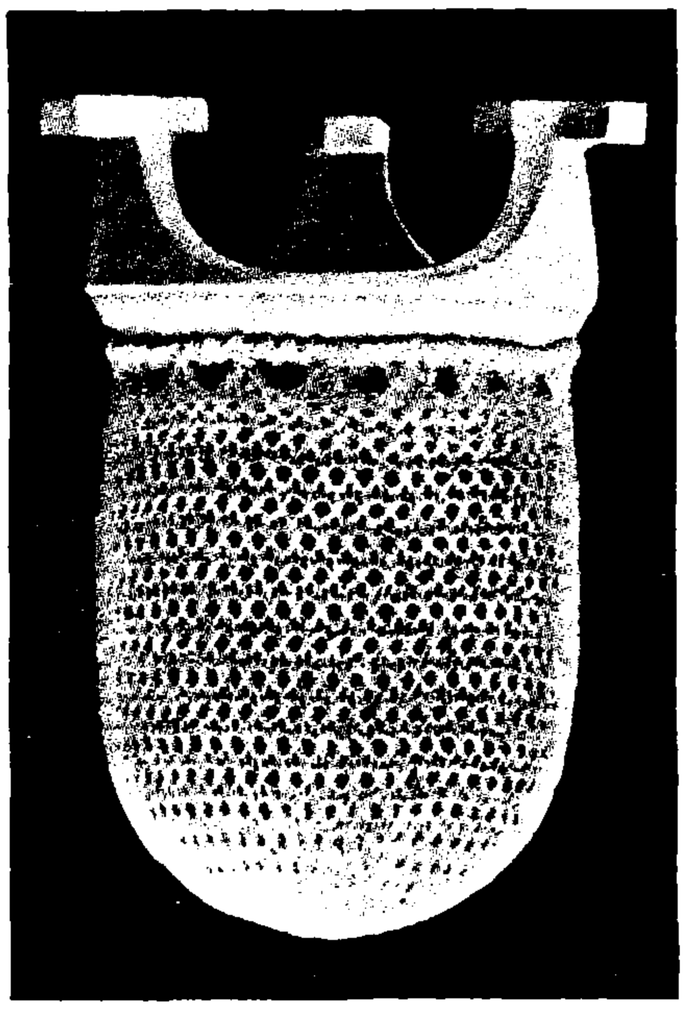
КАНВА, первоначально—грубая пеньковая ткань с полосами, впоследствии—хлопчатобумажная, реже—льняная, шерстяная или шелковая ткань из сильно крученой пряжи, сработанная очень редко по основе и по утку, с большими промежутками между отдельными нитями, отбеленная или подкрашенная в кремовый или слабо синий цвет. Главное применение К. имеет как основа для вышивальных работ. К. применяется также как подкладочный материал, а более грубые сорта ее—как сетка для окон, в целях предохранения помещений от мух и др. насекомых.

К. работается на ткацком станке полотняным переплетением, при одинаковой плотности на основе и по утку, с квадратными отверстиями между нитями. Различают К. в одну

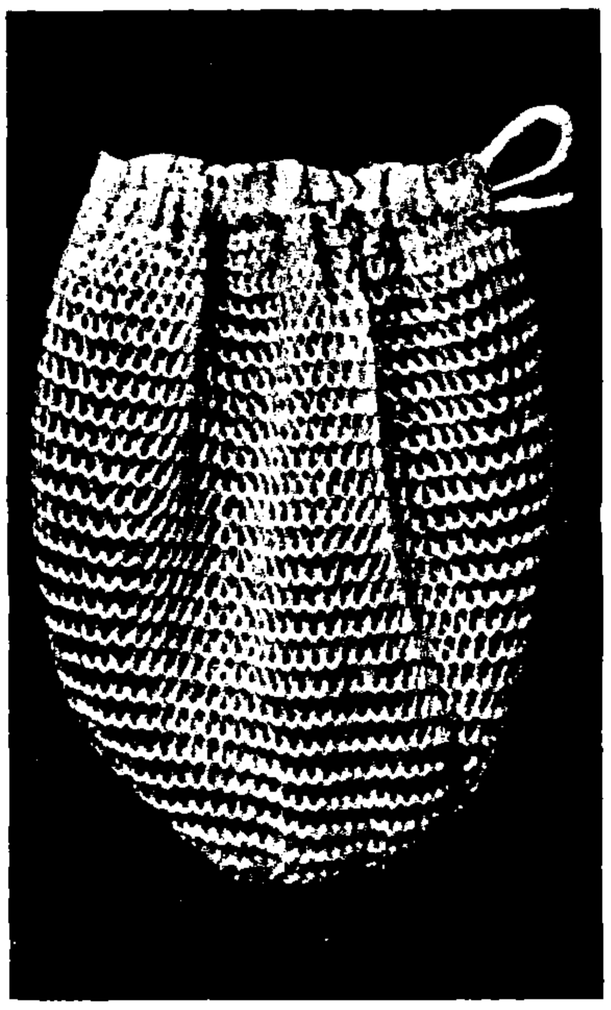
КАЛИЛЬНАЯ СЕТКА



1

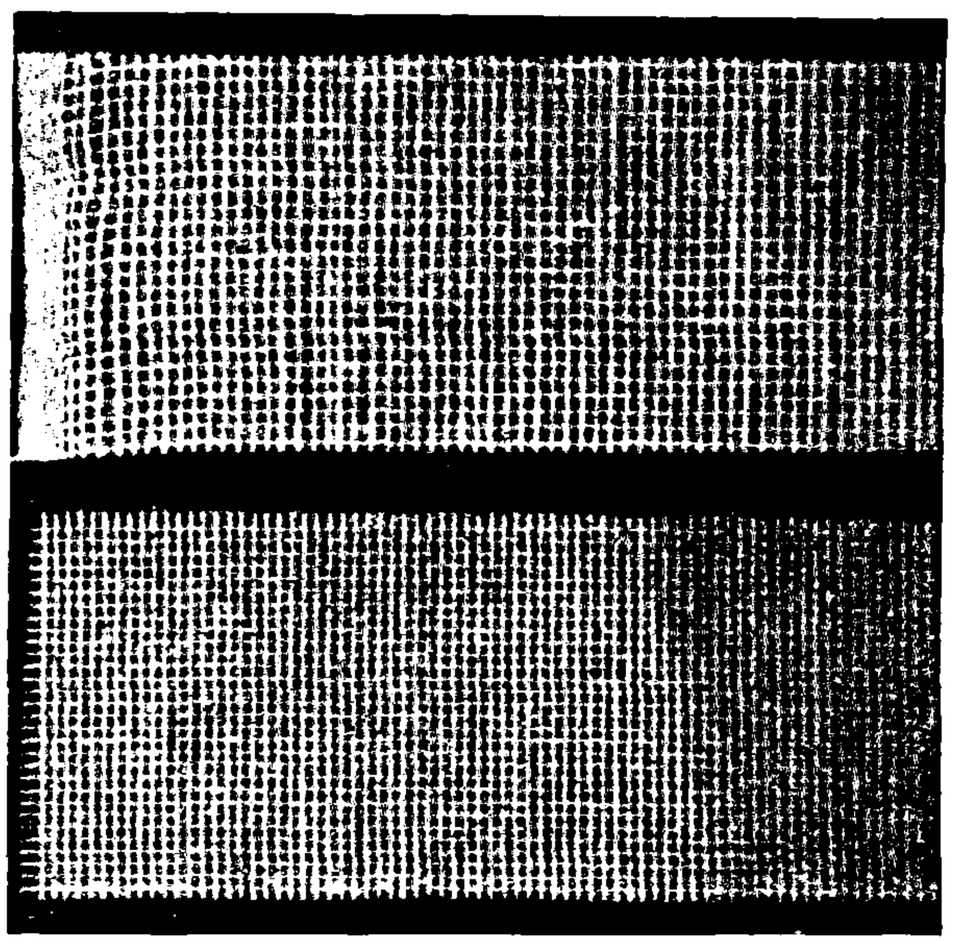


2

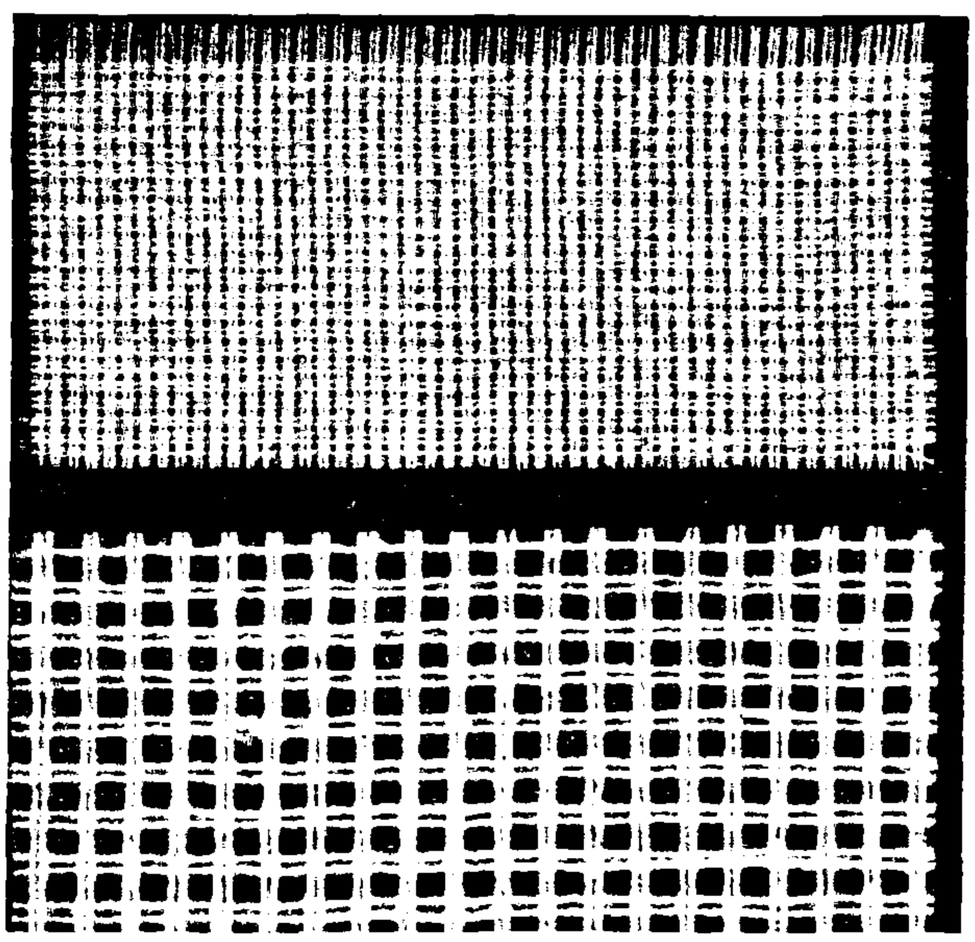


3

КАНВА

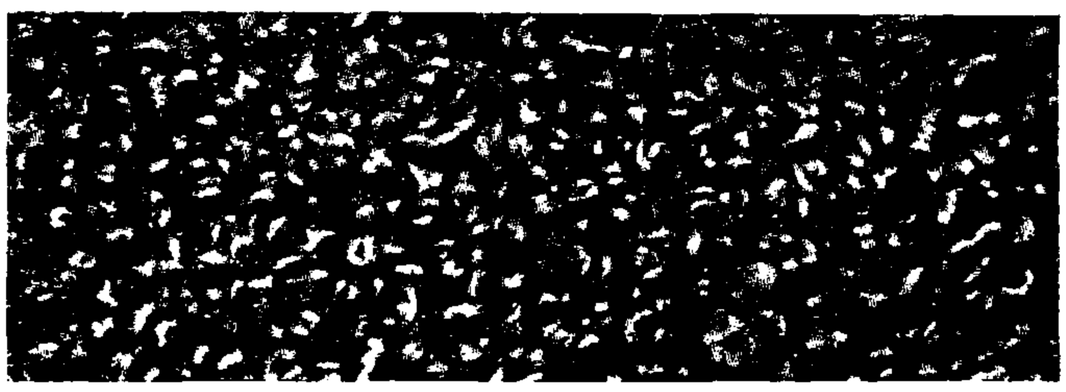


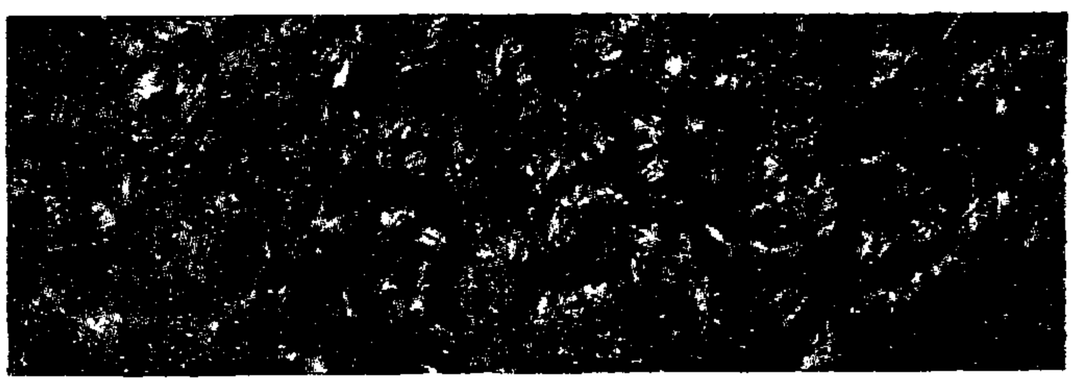
В одну нитку.



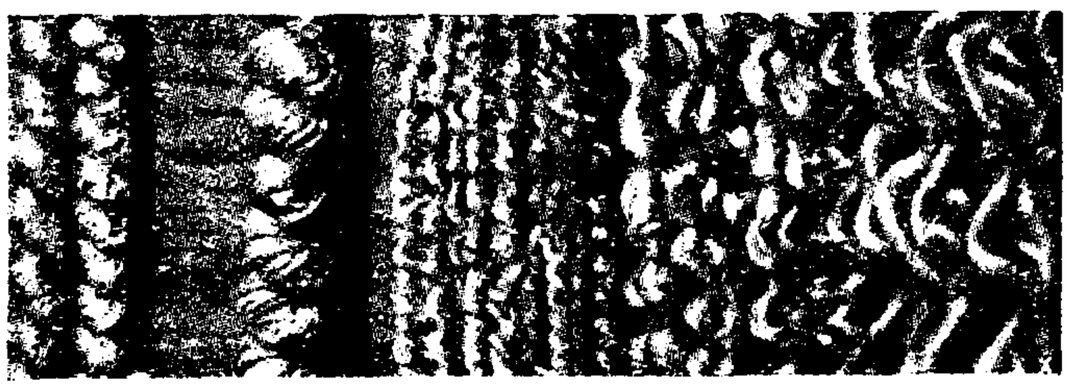
В две нитки.

КАРАКУЛЬ ИСКУССТВЕННЫЙ





Образцы искусственного каракуля.



Внешний вид пряжи после кручения и посадки.

ТРЕСТ «ТЕХКАРТОНЖИР»

нитку и в две нитки (вкладн. лист, *1* и *2*). Во втором случае основа пробирается не в отдельные зубья берда, а по две нити в один зуб, с оставлением далее одного или двух зубьев без проборки. По изготовлении К. отбеливается, окрашивается в указанные цвета и сильно проклеивается, после чего пропускается под сильным прессом. Сильная проклейка и прессование придают ткани необходимую жесткость.

Находя широкое применение, К. весьма разнообразна по выработке. Различают тонкую канву и грубую. Первая работается из хл.-бум. пряжи (основа и уток) № 30/2, 32/2, 36/2, 40/2, 50/2 с числом ниток на 1 *см* от 6 до 12, вторая—из хл.-бум. пряжи № 16/3, 20/3, 24/3 с числом ниток на 1 *см* от 4 до 8. Наиболее грубая К.—смирнская, находящая применение как основа для вышивально-коврового производства,—работается из пряжи №№ 6/8 и 8/8 с плотностью от 2 до 4 ниток на 1 *см*. Нумерация К. основана на плотности ее и предусматривает 12 классов, при чем к 1-му классу относится ткань наименьшей плотности, а к 12-му—наибольшей плотности.

Под названием шелковой К. понимается обычно ткань, сработанная из сильно крученой хл.-бум. пряжи, обвитой на особой машине слабо крученым шелком, иногда отваренным, с плотностью нити по основе и по утку от 10 до 16 на 1 *см*. Покрытие хлопчатобумажной пряжи шелком придает ткани вид шелкового товара.

Лит.: Müller E., Handbuch d. Weberei, Berlin, 1896; «Melliand's Textilberichte», Heidelberg, 1929, *1*, p. 12.

В. Линде.

КАНИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, изготовление тонких металлическ. нитей и пряжи, служащих материалом для парчи, мебельных материй, золотошвейных украшений, струн и пр. Различают следующие предметы К. п.: волока—тонкие металлич. нити, плющенка—тонкие металлические ленточки: кантель—волока или плющенка, свитые в спираль, и прядево—хлоп.-бум. и шелковые нити, обвитые плющенкой. Основными материалами для всех этих изделий служат: электролитическ. красная медь, чистое серебро, чистое золото, сплав меди и никеля, цементированная медь (лигатура), хлоп.-бум. и шелковая пряжа.

Металлич. основа канительного изделия состоит из медного или серебряного сердечника, плакированного серебром или золотом. Из такого комбинированного металла изготовляется прежде всего волока, т. е. очень тонкая проволока, получаемая из плакированной болванки, к-рая носит название куса. Для заготовки кусьев литые болванки круглого сечения, диам. 100 *мм* и длиною: медные 700 *мм* и серебрян. 500 *мм*, вальцуются в горячем состоянии—первые до диам. 40 *мм*, а вторые до 60 *мм*. Полученные вальцованием длинные медные палки разрезаются на 4 куса, а серебряные обрабатываются целиком. Перед плакировкой кусья тщательно остругиваются, при чем плены вырезаются. Медные кусья плакируются серебряными, а серебряные золотыми листами, высокопробного и мягкого металла. Серебряные листы укладывают пакетом на покрытой бумажным листом доске; медный кус, концы к-рого заточены на конус, натирается предварительно составом для контактного серебрения (хлористое серебро, виннокаменная к-та, хлористый натрий). На серебряные листы накладывают медный кус и, катая его по доске в одну и ту же сторону, наворачивают на него серебряные листы, постепенно уплотняя их. Поверх бумажного листа, к-рый накатывается вместе с серебром, кус обвивают лентой из редкой льняной ткани и крепко обвязывают шпагатом. После этого кусья сажают в чугунный муфель, обогреваемый топливом, не содержащим серы, от к-рой серебро чернеет; лучше всего употреблять нефть. Темп-ра в муфеле ≤ 800°, время нагрева—не более 15 м., что вполне достаточно для сообщения серебру пластичности. После этого кусья вынимают из муфеля и укладывают на движущийся по рельсам притиральный станок, назначение к-рого—удалить содержащийся между листами воздух, препятствующий прочному соединению серебряных листов между собою и с медью. Для этого на кус нажимают стальным воронилом и поворачивают его вокруг оси три или четыре раза. Вместо меди сердечник может состоять из сплава меди с никелем, причем содержание никеля обычно не превышает 10—12%.

Сорта канительных изделий с содержанием серебра до 25 и 40% не серебрятся, а медный кус вставляется в выточенную серебряную трубку, и все вместе подвергается волочению. При изготовлении массивной серебряной канители заготовленные серебряные кусья 95-й пробы также покрывают листовым серебром, т. к. накладка высокопробного слоя сообщает изделию белый цвет, тогда как серебро 95-й пробы в изделиях имеет синеватый оттенок. Такое серебро называется муфельным серебром. Золочение серебра через огонь производится таким же способом, как и серебрение, но притирание совершается вручную и не стальным воронилом, а воронилом из кровавика. Золочение 25—40%-ного, или т. н. титрового, товара производится в целом кусе, до сверления. Серебренная и золоченная через огонь канитель различается по весу наложенного серебра или золота в %.

Цементированная медь или т. н. лигатура готовится в большинстве случаев из медного куса, уже потянутого до диам. 1 *мм*. Такую проволоку, тщательно очищенную от плен, окалины и жира, помещают в чугунный муфель, на дне которого насыпана смесь гранулированного цинка с нашатырем. Муфель нагревается так, чтобы дно его имело температуру испарения цинка, а та часть, через которую проходят медные проволоки, получила более высокую температуру, благодаря чему цинковые пары, осевшие на медных проволоках, вплавляются в поверхность меди и сообщают ей золотистый цвет. Лигатура является дешевой имитацией золоченых товаров.

Полученный описанными способами материал подвергается волочению в холодном состоянии для получения канительных нитей разных №№. Для канительных нитей принята лионская официальная нумерация,

а именно: а) пайльет, №№ 1—18, диам. 1,00—0,40 *мм*; б) буильон (В), №№ 1—8, диам. 0,40—0,115 *мм*; в) Р, №№ 1—$7^1/_2$, диам. 0,106—0,038 *мм*. Класс В предназначается для бити (см. ниже), а класс Р—для плющенки. Теми же №№ обозначается и волока.

Волочение производится, в общих чертах, так же, как и обыкновенное волочение красной меди, с той разницей, что охлаждение производится чистым льдом, а смазка—чистым пчелиным воском; все остальные смазки ухудшают цвет изделий. Золоченная через огонь волока имеет некрасивый желтый цвет, напоминающий латунь. Для сообщения ей эффектного теплого тона кус, потянутый в проволоку диам. до 12 *мм*, обрабатывают смесью следующего состава: 8 ч. яри-медянки, 16 ч. красного болюса, 4 ч. квасцов и 150 ч. воска. В растопленную смесь погружают свернутый в кольца кус и, вынув его, остужают, после чего кладут на 15 мин. на горячие древесные угли, затем немного охлаждают и погружают на сутки в квасную гущу. После этого кус можно подвергнуть дальнейшей протяжке с очень слабым промежуточным отжигом. По мере протяжки и отжига кус «выгуливается», его пятнистая окраска исчезает, и волока получает красивый золотой с красноватым отливом цвет.

Плющение волоки производится на специальной машине при помощи двух тщательно отшлифованных колес, к-рые винтами м. б. прижаты друг к другу. Для плющения мишурной проволоки применяются стальные закаленные колеса; для плющения золоченной через огонь волоки применяются колеса из закаленного чугуна, так как сталь сдирает золото. Плющением изготовляются следующие изделия: бить—готовый товар; мягкая плющенка—материал для опрядки; припласк—не вполне сплющенная волока из № Р; мат—бить, пропущенная через гравированные вальцы для получения выпуклого рисунка. Обычно в плющильном отделе имеются машины и для изготовления канители—матовой, если спираль делается из волоки, и глянцевой, если в спираль свивается припласк. Эти машины имеют следующее устройство: в горизонтальный валик вставлен стерженек с конич. острием, могущий быстро вращаться наподобие шпинделя токарного станка. На цилиндрич. часть стерженька наматывается конец волоки, прижимаемый к стерженьку особым роликом. Т. о., формируется при вращении спираль, при чем каждый виток сдвигается последующим. По достижении требуемой длины спираль отрезается автоматически или вручную. Канитель употребляется исключительно при золотошвейных работах и для кистей. Разрезывая канитель на отдельные кольца и расплющивая последние молотком на плоские шайбочки, получают так наз. блестки, употребляемые в вышивальных работах.

Прядево изготовляется из пряжи и плющенки. Для этого применяются машины, основанные на сложении двух движений: поступательного для пряжи и поступательно-вращательного для плющенки; в результате получается пряжа с навитой на нее по спирали плющенкой. Сортов прядева много. Прядево обычно различается на ф-ках по трем признакам: по пряже, по № плющенки и по серебрению; так, прядево 80/3, 4Р, $1^1/_4$ обозначает, что взята пряжа № 80 в три нити и обвита плющенкой № 4Р из волоки с серебрением $1^1/_4$%. Серебряное прядево иногда золотится путем гальваностегии.

Лит.: Гумский К. И., Канительная промышленность в России и за границей, Петербург, 1901; Bock Fr., Goldstickereien und Webereien in alter und neuer Zeit und dazu verwandte Goldgespinst, Nürnberg, 1884; Bayerische Gross-Industrie, München, 1896.

Т. Алексеенко-Сербин.

КАНИФОЛЬ, твердая составная часть смолистых веществ хвойных пород дерева, получаемая из *живицы* (см.) по отгонке эфирных масел (скипидара), а также непосредственным извлечением из смолистой древесины. К.—хрупкое, раковистого излома, стеклянного блеска, вещество от сильно окрашенного и едва просвечивающего черно-бурыми и рубиново-красными оттенками цвета до совершенно прозрачного и почти бесцветного. В зависимости от степени окраски и оттенка К. различается по сортам (маркам), которых, напр. для американск. К., насчитывается 12, обозначаемых, по мере перехода от более темных сортов к более светлым, буквами: D—хорошая цеженая; E—№ 2; F—хорошая № 2; G—низший сорт № 1; H—№ 1; I—хорошая № 1; K—светлая, низший сорт; M—светлая; N—самая светлая; WG—«оконное стекло»; WW—«белая, как вода»; X—экстра. Первые четыре, более темные марки К. называют также гарпиусом.

К. не является химич. индивидуумом. Состав ее в значительной степени зависит от характера сырья, его происхождения, техники получения К., ее обработки и продолжительности хранения. Поэтому свойства К. варьируют в широких пределах. Уд. вес К. колеблется от 1,01 до 1,09; $t°_{пл.}$ (размягчение по Кремер-Сарнову) колеблется от 55 до 83°; вращающая способность в этиловом спиртовом растворе $[\alpha]_D^{15}$ от +3,9 (Флавицкий) до +21,99° (Брюнотт). К. растворима на холоду в метиловом и этиловом спиртах, эфире, ацетоне, хлороформе, сероуглероде, четыреххлористом углероде, трихлорэтилене, уксусной к-те, бензоле, толуоле, ксилоле, феноле, нитробензоле, анилине, эфирных и жирных маслах и частично—в бензиновых и керосиновых погонах нефти. В последнем случае растворимость тем полнее, чем тяжелее нефтяной погон, и тем менее, чем дольше К. подвергалась хранению, особенно в мелкораздробленном состоянии. В холодной воде К. нерастворима, в горячей же частично растворяется. При нагревании с водой К. мутнеет, теряя свой стекловидный блеск и раковистый излом, и превращается в непрозрачную массу. К. действует на расстоянии на фотографич. пластинку. При хранении на воздухе К. поглощает кислород, при чем поглощение это тем больше, чем выше температура. Канифольная пыль в смеси с воздухом способна взрывать. Температура вспышки К. при нагревании на воздухе равна 180° (Штребер).

Ходовыми критериями для суждения о качестве К. принято считать цветность (марку), $t°_{пл.}$, кислотное число, коэфф. омыления и количество неомыляемых веществ, а в неко-

торых случаях еще и содержание механич. примесей, влажность, зольность, иодное число и количество составных частей, нерастворимых в петролейном эфире. Цветность, т. е. марка К., обычно устанавливается сличением с образцами стандартной шкалы, представляющей собою либо полный набор стандартных образцов К. либо набор композиций из стекла соответствующей цветности. Шкала из стекла предпочтительна в виду ее устойчивости в отношении выцветания. В последнее время, в целях большего уточнения степени окраски, в ряде работ по К. цветность выражают не буквенными обозначениями, а числовыми показателями — числом цветности по иодометрической шкале, предложенной Паллауфом и Фонробертом. $t°_{пл.}$ К. зависит в очень большой степени от методики ее определения. При определении $t°_{пл.}$ в капилляре измельченная в порошок К. плавится не сразу, а постепенно, проходя в пределах нескольких десятков градусов через стадии липкости, остекления, каплеобразования и стекания капли с образованием мениска. Протекание плавления в значительном $t°$-ном интервале является одной из главнейших причин противоречивости данных различных авторов о $t°_{пл.}$ К. В настоящее время в целях установления единообразия, взамен $t°_{пл.}$, фиксируемых в различные вышеуказанные моменты, принят метод Кремер-Сарнова, дающий условную $t°$ размягчения. Кислотное число К. колеблется от 145 до 180; для светлых сортов К. оно очень легко и точно определяется обычными способами; при работе же с темными сортами К. требуется применение соответствующего индикатора, каким является α-нафтолфталеин. Коэффициент омыления К. колеблется от 155 до 200. Завися в значительной степени от времени омыления и количества щелочи, этот коэфф., в виду отсутствия точно установленной методики его определения для К., дает малоценные и разноречивые результаты. Количество неомыляемых в К. колеблется от 2 до 15% (по весу) и определяется извлечением их из водных растворов омыленной К. диэтиловым эфиром (Кнехт и Морис) или петролейным эфиром (Кениг и Вольф). Содержание механических примесей (определяемое растворением К. в спирте), влажность и зольность, характеризующие гл. образом степень загрязнения К., особых затруднений в смысле определения их не представляют. Иодное число для К. колеблется в весьма широких пределах, завися при этом для одной и той же К. от длительности иодирования: напр., при длительности иодирования в 2 ч.—115,5, через 4 ч.—124,1, через 18 ч.—158,3 (Сметсем, Додд). При хранении К. иодное число с течением времени понижается, при чем степень понижения зависит от условий хранения. Критерий этот, имеющий существенное значение в анализе жиров и масел, в отношении К. значительно менее точен. Количество составн. частей К., нерастворимых в петролейном эфире, повидимому является одной из весьма существенных ее характеристик; оно в той или другой степени увеличивается в зависимости от условий и времени хранения К. Чем раздробленнее К., тем сильнее растет со временем количество нерастворимых в петролейном эфире компонентов. Весьма целесообразным, но еще не получившим достаточного распространения показателем товарной ценности К. может явиться %-ное содержание в К. омыляемых и высаливаемых составных частей. Определение его м. б. осуществлено попутно с установлением количества неомыляемых, а именно, высаливанием раствора, полученного после удаления неомыляемых, с последующей обработкой высоленных мыл водным раствором соляной к-ты—в целях разложения, и эфиром—в целях извлечения освобожденных смоляных к-т. Количество омыляемых и высаливаемых колеблется в К., смотря по ее цветности и сорту, от 71 до 90%.

Начало работ по изучению химич. природы К. восходит к 1808 г., когда Браконно впервые указал на кислотный характер К. Первый химич. анализ К. был произведен еще в 1810 г. Гей-Люссаком и Тенаром, давшими для К. ф-лу $C_{30}H_{50}O_4$. В 1814 г. Рис впервые выделил из галлипота кристаллич. вещества. Унфердорбен в 1827 году указал в качестве составных частей К. аморфную пининовую к-ту (растворимую в холодном 72%-ном спирте), кристаллич. сильвиновую к-ту (растворимую в кипящем спирте той же концентрации) и нек-рые другие вещества. Принятая в данное время эмпирич. ф-ла главных составных частей К. впервые установлена Дювернуа (1868 г.) для т. н. пимаровых кислот состава $C_{20}H_{30}O_2$. Причиной отсутствия ясности в вопросе о химич. природе компонентов К. следует считать высокую чувствительность этих компонентов ко всякого рода термич. и химич. воздействиям, в корне меняющим их свойства. Многочисленность кислот, выделенных из К. в разное время различными авторами под разнообразными названиями (абиетиновые, пининовые, пимаровые, изопимаровые, сильвиновые, пимарабиетиновые, пинабиетиновые, пирабиетиновые и другие кислоты), проистекает не столько от разнообразия составных частей К., сколько от различия исходных продуктов и методов их обработки. В настоящее время принята предложенная в 1924 году О. Асканом классификация, согласно к-рой смоляные к-ты делятся на 3 группы. Группа А—природные смоляные к-ты $C_{20}H_{30}O_2$: пимаровые (d- и l-) и сапиновые (пининовые и изопининовые) к-ты. Группа В—колофоновые к-ты (продукты изомеризации к-т группы А): абиетиновые, изопимаровые и пинабиетиновая к-ты. Группа С—сильвиновые к-ты, полученные из к-т групп А и В при действии на них минеральных кислот (HCl, H_2SO_4). К этой же группе повидимому надо отнести выделенные Асканом колофенов. к-ты $C_nH_{2n-10}O_4$, и т. н. α-, β- и γ-абиетиновые кислоты. О классификации и свойствах смоляных кислот хвойных см. *Смоляные кислоты*.

Кроме к-т из группы В, являющихся главной составной частью К., а также колофеновых к-т из группы С, в К. содержатся еще в незначительном количестве растворимые

в воде т. н. «горькие вещества» и ряд углеводородов нейтрального характера. Состав этих веществ для разных сортов К., по исследованиям Кнехта и Мориса, несколько различен. Так, французск. К. содержит l-пинен, углеводородное масло среднего состава $C_{20}H_{32}$ с $t°_{кип.}$ 270—278°, масло $C_{20}H_{32}$ с $t°_{кип.}$ 315—320° и масло $C_{19}H_{30}$ с $t°_{кип.}$ 330—335°; в американской К., при отсутствии l-пинена, кроме масла $C_{20}H_{32}$ с $t°_{кип.}$ 270—278°, масла $C_{20}H_{32}$ с $t°_{кип.}$ 315—320° и масла $C_{19}H_{30}$ с $t°_{кип.}$ 335—340°, содержится еще масло $C_{20}H_{32}$ с $t°_{кип.}$ 360—370°.

К. при хранении на воздухе поглощает кислород (самоокисляется), при чем количество высокомолекулярных ее компонентов, нерастворимых в петролейном эфире, непрерывно увеличивается, кислотное число понижается, а коэфф. омыления после нек-рых колебаний повышается; все это вместе взятое свидетельствует о протекающих в К. процессах химич. изменения ее составных частей.

Промышленных источников получения К. в данное время имеется два: 1) переработка получаемой подсочкой хвойной живицы и 2) экстракция К. из различных видов смолосодержащей древесины: пневого осмола, смолья-подсочки, волочкового осмола и др. Получение К. из живицы производится на небольших з-дах и сводится к отгонке из нее скипидара либо непосредственным нагреванием (огневой способ) либо отдувкой паром (паровой способ). Марка и свойства К., получаемой при этом в виде нелетучего остатка, находятся в зависимости от времени сбора живицы, ее чистоты, степени очистки ее фильтрацией и от $t°$ и равномерности нагрева. Для получения К. экстракцией, осмол, предварительно хорошо очищенный от несмолистых частей и гнили, поступает на измельчение в рубильные машины (типа применяемых в целлюлозном производстве), после чего полученная щепа загружается в экстрактор, где содержащаяся в ней К. подвергается извлечению растворителем. В качестве растворителя преимущественно употребляют различные легкие погоны нефти. Извлечение К. из щепы производится либо после предварительной ее обработки паром (для отдувки скипидара) либо совместно со скипидаром. При этом, смотря по принятому на заводе методу работы и желаемому результату, экстракция ведется различно: отдельн. заливками, в противотоке, на холоду, при частичном нагревании или при нагревании в течение всего времени экстракции. Полученный в результате экстракции канифольный раствор поступает в испарительную систему для удаления из него растворителя и скипидара (если не имело места предварительное его удаление из щепы), откуда затем переводится в особые увариватели для получения канифоли по отгонке тяжелых масел перегретым паром. Остающаяся в экстракторе обессмоленная щепа по отдувке паром пропитавшего ее растворителя, выгружается из экстрактора и используется либо в качестве топлива, что менее выгодно, либо как полуфабрикат для изготовления крафт-целлюлозы. Скипидар собирают отдельно и подвергают соответствующей очистке, а в некоторых случаях и разгонке. К. поступает на рынок обычно в бочках, весом примерно в 120 и 210 *кг*.

Общая мировая продукция К. ~ 700 000 *т* в год, из к-рых ~ $^1/_7$ приходится на К. экстракционную, а $^6/_7$ — на К., получаемую подсочкой. Главные потребители К.: 1) бумажное и писчебумажное производства, где ее применяют для изготовления писчебумажного клея, 2) мыловаренное производство—для изготовления мыл (в качестве добавки к жирам—до 30 ч. на 100 ч. жира), 3) лакокрасочная промышленность—для изготовления сикативов, лаков, сургучей, замазок, красок, 4) резиновая промышленность—для изготовления линолеума, галошного лака и пр., 5) нефтяная промышленность — для изготовления консистентных смазывающих средств, в том числе колесной мази, 6) текстильная—для целей аппретуры, 7) электротехнич. промышленность—для изготовления некоторых изоляционных материалов, 8) металлообрабатывающая промышленность — для целей лужения и пайки, 9) пищевая промышленность — для изготовления бутылочных смолок и пивной смолы, 10) полиграфич. промышленность — для изготовления типографских красок, 11) военная промышленность—для заливки шрапнелей, изготовления лаков и пр., 12) фармацевтическ. промышленность—для изготовления пластырей, мыл и пр., 13) спичечная промышленность и 14) строительство—для придания особой устойчивости бетонным камням и бетонным сооружениям.

Лит.: Тищенко В., Канифоль и скипидар, СПБ, 1895; Любавин Н., Технич. химия, т. 6, ч. 2, М., 1914; Фарион В., Химия высыхающих масел, пер. с нем., СПБ, 1913; Киселев В. С., Олифа и лаки, М.—Л., 1926; Ногин К. И., Канифольно-скипидарное производство, Л., 1929; Любарский Е. И., Живой и мертвый терпентин, ч. 1—2, Владивосток, 1925; Филиппович И. В. и Туховицкий Н. В., Свойства подсочных и экстракционных канифолей и наши критерии для суждения о них, «ЖХП», 1927, *11*; Vèzes M. et Dupont G., Résines et térébenthines, P., 1924; Hawly L. F., Wood Distillation, New York, 1923; Austerweil G. u. Roth J., Gewinnung u. Verarbeitung von Harz und Harzprodukte, B.—Mch., 1917; Tschirch A., Die Harze u. die Harzbehälter, 2 Aufl., Lpz., 1906; Fonrobert E. u. Pallauf, «Farbenzeitung», B., 1926, *31*; Knigge G., «Allgemeine Öl- u. Fett-Zeitung», B., 1926, *8—9*; Fonrobert E., «Chemische Umschau», Stg., 1925, Jg. 32, H. 37—38; Vesterberg A., «B», 1905, B. 38, p. 4125—4132; Stock E., «Farbenzeitung», Berlin, 1921, *3*; Schaw D. a. Sebrell D., «I. Eng. Chem.», 1926, *6*; Fonrobert E. u. Grett A., «Chemische Umschau», Stg., 1929, Jg. 36; Virtanen A., «Lieb. Ann.», 1921, B. 424, p. 150—215; Aschan O. u. Levy P., «B», 1927, B. 60; Herbig Pr., «Ztschr. d. deutschen Öl- u. Fett-Industrie», B., 1926, *19*; Austerweil G., «Ch. Ztg», Cöthen, 1917, *32—33*; Aschan O., «Ch. Ztrbl.», 1923, *5*, p. 309; Scheiber S., «Z. ang. Ch.», 1926, Jg. 39, *25*; Tschirch A., «Arch. d. Pharmazie», B., 1927, *3—4*; Knecht E. und Hibbert E., «Journal of the Society of Dyers a. Colourists», L., 1925, *10*.

И. Филиппович.

КАНИФОЛЬНЫЕ КРАСКИ, краски, вырабатываемые из смеси едкой щелочи и канифоли, подкрашенной различными по цвету органич. красящими веществами (фуксин, метилвиолет, сафранин), стойкими к щелочам. Для изготовления К. к. берут прозрачную, высшего сорта, американскую или французскую канифоль, при чем на 100 ч. канифоли берут 10 ч. едкого натра и 33 ч. кристаллич. соды, растворенной в 1 000 ч.

воды. Всю смесь нагревают до кипячения, после чего охлаждают до 50° и к раствору прибавляют (помешивая) хорошо профильтрованную органич. краску; к размешанной массе прибавляют раствор хлористого олова или хлористого магния. Полученную К. к. отфильтровывают на полотне с отсасыванием, отжимают и сушат. Краску растворяют в спирте, эфире, бензине, ацетоне, скипидаре, расплавленном воске, маслах и т. д. К. к. служат для окрашивания дерева и металла, при чем для покрытия поверхности ровным слоем краску наносят в теплом месте и высушивают при 22—25°. К. к. очень распространены в производстве игрушек.

Лит.: см. *Краски минеральные.* **С. Михайлов.**

КАНЫГА, содержимое желудков и кишок убойных животных, малоценный отброс, часто даже не имеющий никакой цены. На небольших бойнях К. вывозится в ямы, овраги и на свалки. В немногих больших городах, у нас и за границей, она утилизируется наряду с другими более ценными отбросами, как трупы животных, забракованное мясо и органы больных животных, третьи отделы желудков жвачных («книжка», на языке мясников, «летошки»), плоды, извлеченные во время убоя из утробы, и, отчасти, кровь. На московских бойнях К. в год получается около 11 500 *т*; ее в сильно разведенном водою состоянии отводят системой канализации Шона на поля орошения, находящиеся в 1 *км* от бойни. Интересы ветеринарные и здравоохранения требуют, чтобы загрязняющие почву и воздух отбросы обезвреживались и утилизировались как удобрительный материал для сельского хозяйства или сжигались в технич. предприятиях.

Лит.: Антоневич Р. В., Бойня с санитарной точки зрения, СПБ, 1899; Воеводский В. Г., Уничтожение, путем утилизации, отбросов и нечистот со скотобоен, М., 1901. **Г. Гурин.**

КАОЛИН, сырая каолиновая порода,— светлоокрашенный, чаще всего белый, рыхлый тонкоземлистый аггрегат, главную составную часть которого составляет минерал каолинит (см. *Глина*). Химический состав хорошо отмученных К. варьирует около теоретического состава: 46% SiO_2, 39,5% Al_2O_3 и 14% H_2O. Наиболее чистые, свободные от кварца К. плавятся ок. SK 35—36. Средняя величина частиц отмученного К. меньше 0,01 *мм*. Высушенный К. имеет чаще всего белую окраску, реже желтую или серую. Высокосортный К. отличается отчетливым кристаллич. пластинчатым строением, высокой огнеупорностью (ок. 1 750°) и, как правило, белизной черепа после обжига. Об отношении каолина к нагреванию см. *Огнеупорные материалы.*

По происхождению различают К. первичные и вторичные, или отложные. Первичные К. образуются преимущественно путем выветривания изверженных и метаморфич. пород, гл. обр. гранито-гнейсов и пегматитов, а также нек-рых осадочных пород. Процесс этот называется каолинизацией и состоит в том, что полевошпатовый минерал разлагается водой, содержащей углекислоту, согласно ур-ию:

$$\underset{\text{полевой шпат}}{K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2} + 2H_2O = \underset{\text{каолинит}}{K_2O \cdot 4SiO_2 + Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O}$$

Первичные К. нередко встречаются весьма мощными залежами и обычно содержат до 60—75%, а иногда и больше, кварцевого песка с большей или меньшей примесью слюды и полевого шпата. Вторичные К. представляют собою продукт отложения на дне водных бассейнов после перемыва и переноса ранее образовавшихся первичных К. Залегают они обычно слоями или линзами и характеризуются почти полным отсутствием кварцевых частиц или присутствием их (до 10%) в виде мелких зерен.

Пластичность первичных даже отмученных К. незначительна, у вторичных К. она несколько больше. Наиболее важными в промышленном отношении являются месторождения первичного К., дающего после отмучивания достаточно однородный продукт. Месторождения вторичных К. обычно отличаются малой мощностью и значительной неоднородностью состава даже в пределах одной и той же залежи.

Первичный К. используется в промышленности почти исключительно в отмученном виде. Процесс отмучивания осуществляется на специальных каолиновых з-дах и состоит в следующем. Сырая порода взбалтывается со значительным количеством воды, вследствие чего происходит разделение частиц содержащихся в К. минералов. Наиболее тонкие и легкие частицы, т. е. преимущественно каолинитовые, задерживаются в воде во взвешенном состоянии, а грубые частицы примесей оседают (в зависимости от их величины—с разной скоростью) на дно. Взмученная в воде каолиновая порода направляется затем по длинному извилистому жолобу, где происходит оседание последних более тонких частиц примесей. Очищенная т. о. каолиновая муть собирается затем в отстойных бассейнах, где каолинит медленно опускается на дно. Отстоявшаяся вода удаляется, а сгущенная каолинитовая масса при помощи фильтр-прессов освобождается от большей части воды. Влажность получаемого таким образом материала составляет 22—25%. Взамен отмучивания, способа громоздкого и сопряженного с трудностями работы в холодное время года, в новейшее время применяют с успехом способ электросмоса (см. *Электрофорез*). Огромное практическое значение в настоящее время приобретает применяемый с 1928 г. на каолиновых заводах Украины способ отмучивания К. с применением при взбалтывании сырой породы специальных реагентов (электролитов); эти реагенты вызывают особо быстрое осаждение К.; благодаря этому процесс отмучивания ускоряется вдвое и не требуется сложной системы желобов. Густая каолиновая масса после осаждения особенно плотна и легко отжимается фильтр-прессами. Удельный вес отмученного каолина — от 2,60 до 2,617.

Штарк весьма тщательно изучил физич. свойства семи сортов лучших германских К. Некоторые из полученных им цифр таковы: уд. в. 2,60—2,617, средняя величина частиц 3,6—8,3 μ; водопроницаемость от 0,05 до 7,40 и скорость высыхания 0,9—1,3 (принимая в обоих случаях за стандартную единицу те же свойства цетлицкого К.); воздушная усадка при начальной влажности

в 28% составляет от 0,65 до 6,0%; сопротивление на излом для К. той же влажности 12—330 *г/мм²*.

Основными отраслями промышленности, потребляющими отмученный К., являются бумажная и фарфоро-фаянсовая и, в значительно меньшей степени, резиновая, лакокрасочная, химическая, обойная, текстильная, ультрамариновая, карандашная и др. В бумажной промышленности К. применяется в качестве наполнителя, к-рый сообщает бумаге необходимую плотность; поэтому от него требуется значительная белизна в сыром виде, т. е. незначительное содержание окислов железа и органических примесей (< 1%), максимальная тонкость частиц и отсутствие сколько-нибудь грубых частиц песка, слюды и др. В общем примесей не д. б. > 1—1,5%. В фарфоро-фаянсовой промышленности применяют как отмученные, так и отложные К., содержащие не свыше 1,5% окислов железа, до 0,9% окиси титана и до 1,5—2% механич. примесей. Для резинового производства допускается содержание окислов железа в К. не более 0,5%, извести до 1—1,5%, механич. примесей до 1—1,5%, при чем требуется высокая тонкость частиц. По проекту норм Промстандарта предполагается, что отмученный К. должен оставлять на сите в 4 900 отверстий на 1 *см²* не свыше 0,8% и 1,5%, соответственно первому и второму сортам его. По герм. стандарту отмученный К. должен полностью проходить через сито в 10 000 отверстий на 1 *см²*.

Мировая добыча К. в последние годы превысила добычу К. до войны 1914—18 гг., достигнув 3 млн. *m* против 2,2 млн. *m* в 1913 г. Добыча отдельных стран в *m* приведена в табл. 1.

Табл. 1.—Мировая добыча К. по данным Геологического комитета (в *m*).

Страны	1913 г.	1926 г.
Великобритания . .	852 109	839 208
С. Ш. А.	139 678	391 555
Германия	142 523*¹	421 581*²
Чехо-Словакия . . .	197 693*³	220 333
Япония	400 000*⁴	451 164
Китай	300 000*⁴	300 000

*¹ Бавария и Саксония. *² Только Бавария. *³ Вывоз. *⁴ Предположительно.

Ввоз К. по странам (в *m*) составлял:

	1913 г.	1926 г.
С. Ш. А.	268 000	359 444
Германия	301 306	213 868
Бельгия	—	64 944
Франция	61 255	57 676
Голландия	—	48 921
Италия	25 792	39 964

Суммарный ввоз всех стран в 1926 году достиг 900 000 *m*.

Вывоз К. из главнейших стран (в *m*) составлял:

	1913 г.	1926 г.
Великобритания	639 810	662 425
Чехо-Словакия	—	220 333
Германия	42 058	34 627

Столь исключительная роль Великобритании и Чехо-Словакии на мировом рынке объясняется не только высокими качествами К. обеих стран и крайне благоприятным географическим положением их по отношению к главнейшим странам-потребителям, но и непрерывно продолжающимся в этих странах улучшением постановки дела добычи, обогащения, стандартизации и упаковки экспортного продукта.

Потребление К. (в *m*) составляло:

С. Ш. А.	751 000 (1926 г.)
»	757 000 (1927 »)
Германия	600 000 (1926 »)
Великобритания	178 000 (1926 »)
Бельгия и Люксембург . . .	276 000 (1927 »)
Франция	164 000 (1925 »)
Италия	66 000 (1926 »)

На мировом рынке цены определяются английским и чешским К. Цена на англ. К. в С. Ш. А. в последние годы колебалась след. образом: кускового К. 13—21 долл., К. в порошке 45—50 долл. за кор. тонну (907 *кг*). Во Франции цены на англ. К. изменялись в пределах от 8—9 до 18—20 долл. за *m*. Чешский (отмученный) К. высшей марки расценивался в 1927 г. по 16—17 долл. за *m* франко-вагон станция отправления; на низшие сорта цены снижались до 5—8 долл.; *m* немецк. каолина (отмученного) стоила в 1927 г. 32—48 мар., в среднем 40—42 мар., сырого К. (не отмученного)—4—9 долл.

Главнейшие месторождения К. мирового значения расположено в Англии в Корнуэльсе и в примыкающих частях графства Девоншир. Месторождения тесно связаны с оловяннорудными жилами, вдоль которых гранитная порода каолинизирована нацело. В Корнуэльсе различают «China clay», т. е. каолинизированную нацело породу, от «China stone»—полукаолинизированного гранита, служащего также предметом добычи. Английский К. используется преимущественно в фарфоровой, а лучшие сорта его—в бумажной промышленности. В Чехо-Словакии главнейшие месторождения расположены в районе Карлсбада, знаменитое Цетлицкое месторождение, и в районе Пильзена. В этих районах наряду с первичными К. добываются и вторичные. Цетлицкий К., в отличие от других, обладает значительной пластичностью и, несмотря на сравнительно большое содержание окислов железа, применяется в фарфоровом производстве, тогда как пильзенский К., мало пластичный, идет гл. обр. для бумажной и химич. промышленности. В Германии месторождения К. находятся гл. обр. в Саксонии, Баварии, Тюрингии и в области Рейна. К. большинства герм. месторождений—малопластичный, содержит относительно много окислов железа (1—2%) и для тонкой керамики мало пригоден. Наибольшее количество К. добывается в Баварии, в окрестностях Амберга. В С. Ш. А. известны месторождения К. лишь среднего качества. Особой славой пользуется К. из ю. Каролины «Quixie clay», применяемый специально в резиновой промышленности.

СССР обладает многочисленными залежами К., расположенными гл. обр. в УССР и в Сибирском крае—в Иркутском и Красноярском округах. Добыча К., сосредоточенная преимущественно в УССР, быстро увеличивается с прекращением ввоза заграничного К. со времени войны 1914—18 гг. и достигла в УССР в 1927/28 году, по данным Геологическ. комитета, 78 737 *m* (табл. 2).

Табл. 2.—Добыча К. в УССР по данным Геологического комитета.

Наименование К.	Годы				
	1913	1924/25	1925/26	1926/27	1927/28
Отмученный	27 225	22 759	45 290	42 003	63 855
В том числе:					
Глуховецкий	14 169	12 170	19 261	16 889	34 270
Турбовский	917	—	6 748	8 993	12 998
Лозовиковский	4 423	4 666	9 321	5 612	—
Райковский	3 096	5 466	6 337	7 494	—
Отложной	7 978	49 729	93 642	9 653	14 882
В том числе:					
Волновахский	—	34 240	62 467	1 664	12 782
Всего	35 203	72 488	138 932	51 656	78 737

Падение добычи в 1926/27 г. объясняется общим перепроизводством К. за 1925/26 г., а также непостоянством состава отложного К., добыча к-рого была сокращена на 90%. В настоящее время как бумажная, так и фарфоро-фаянсовая промышленность СССР снабжаются гл. образом отмученным К. Вывоз К. из СССР начался с 1925/26 г., гл. обр. в Польшу и отчасти в Германию, Италию и другие страны. Он составил в 1926/27 г.—2 088 *m* и в 1927/28 г.—5 897 *m*. Потребление К. в *m* в отдельных отраслях нашей промышленности выражается в следующих цифрах:

	1924/25 г.	1925/26 г.	1926/27 г.
Фарфоро-фаянсовая	17 380	22 700	29 134
Бумажная	21 700	26 200	26 291
Прочие	3 300	3 930	3 294
Всего	42 380	52 830	58 719

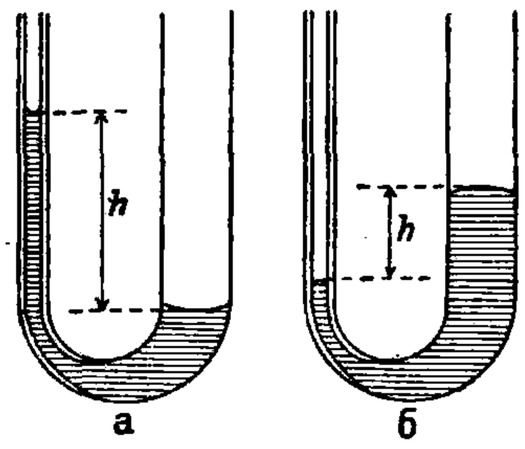
Отпускные цены в 1927/28 г. составляли: на отложной К.—для сорта «экстра» 21 р., для I сорта 13 р., для II сорта (капсельного) 5 р. 49 к. и на отмученный—для I сорта 28 р., для II сорта 21 р. франко-вагон станция отправления.

Наиболее крупными разведанными месторождениями первичного К. считаются Глуховецкое в Бердичевском округе, Белая Балка в Мариупольском округе, около ст. Волноваха, и Просяновское в Запорожском округе, у ст. Просяная (последнее пока не разрабатывается). Запасы первого месторождения исчисляются в 8 570 000 *m*, второго—в 13 176 000 *m*, в районе третьего разведано до конца 1928/29 г. свыше 8 000 000 *m*. Среднее содержание кварца в сыром глуховецком К. составляет 65%, в К. Белой Балки—55% и просяновском—около 60%; особенно высокими качествами отличается К. Белой Балки и просяновский. Все три К. пригодны гл. обр. для фарфоро-фаянсовой промышленности, последние два также для писчебумажной. Прочие месторождения менее обеспечены запасами. При этом Лозовиковское месторождение вследствие большого непостоянства состава и физич. свойств К., а Райковское—вследствие плохой осаждаемости К. при отмучивании, а также отдаленности разработок от ж. д., должны быть поставлены во вторую группу по значению в промышленности. Турбовский К. пригоден преимущественно для резиновой, асбестовой, бумажной и основной химич. промышленности (запасы его весьма ограничены); райковский—для бумажной, лозовиковский—для бумажной и ультрамариновой, киянский—для фарфоровой. Отличительной чертой турбовского К. является также его плохая осаждаемость и отстаивание после отмучивания. Из месторождений вторичных К. заслуживают внимания крупные месторождения высококачественного (экспортного) К., находящиеся в районах ст. Волноваха (Мариупольск. округ) и ст. Пологи (Запорожский окр.). В знаменитом Глуховском месторождении первые сорта высокопластичной каолиновой глины, маложелезистой и наиболее ценной, уже почти выработаны. Красноярские и иркутские К. обращают на себя внимание белизной черепа, получаемого после обжига, при чем К. вновь открытых месторождений в Красноярском округе пригодны для фарфорового производства без прибавления полевого шпата и кварца.

Лит.: Земятченский П. А., Каолиновые образования южной России, «Труды СПБ общества естествоиспытателей», СПБ, 1896, т. 21, вып. 2; Гинзбург И. И., Каолин и его генезис, СПБ, 1912; его же, Пеликаниты и каолины Юго-Запада и Юга России, «Изв. Политехнич. ин-та», СПБ, 1914; «Годовой обзор минеральных ресурсов СССР»—за 1925/26 г., Л., 1927, стр. 129, за 1926/27, Л., 1928, стр. 455; «НИ», 1927, т. 2, стр. 1; Лучицкий В. И., Каолины Украины, «Труды Ин-та прикладной минералогии», М., 1928, вып. 41; Юрганов В. В., Керамич. промышленность России, П., 1922; «Вістник Українського відділу Геологичного комітету», Харків, 1926, вип. 9; Dammer B. u. Titze O., Die nutzbaren Mineralien mit Ausnahme d. Erze, Kalisalze, Kohlen und d. Petroleums, B. 2, p. 414—417, Stg., 1928.

М. Шихеева.

КАПИЛЛЯРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ, в собственном смысле слова, явления, состоящие в том, что, например, в сообщающихся сосудах, один из к-рых состоит из узкой (капиллярной) трубки, жидкость устанавливается в равновесии не на одинаковой высоте. При этом жидкость, смачивающая внутренние стенки трубки (в случае стекло—вода), устанавливается в капилляре выше, чем в сообщающемся с ним широком сосуде (фиг. 1, а). Не смачивающая же жидкость, напр. ртуть (фиг. 1, б), стоит в узкой трубке ниже этого нормального уровня и обнаруживает т. н. депрессию (см. *Барометр*). Всасывание жидкостей пористыми телами (куски сахара, кирпич, почва) также относится к капиллярным явлениям и имеет большое прикладное значение, особенно для *почвоведения* (см.).



Фиг. 1.

Все К. я. обусловлены силами междумолекулярного сцепления, действующими как между частицами жидкости, так и между частицами твердой стенки и соседними частицами жидкости.

Основными величинами при изучении К. я. служат: внутреннее давление *K* (молекулярное давление на плоской поверхности жидкости, см. *Жидкости*), поверхностное

натяжение σ, определяемое как работа образования единицы (1 $см^2$) новой поверхности раздела, и краевой угол ϑ—угол, образуемый жидкой поверхностью с пересекающей ее твердой стенкой. Краевой угол дает возможность измерять смачиваемость твердой стенки; за меру ее удобно принять величину $B = \cos\vartheta$. Поверхностное натяжение σ является той избыточной свободной энергией, к-рой слой жидкости вблизи поверхности раздела обладает по сравнению с ее внутренними частями. Поэтому поверхность жидкости S самопроизвольно уменьшается (это связано с уменьшением свободной энергии $\psi = \sigma \cdot S$ всей поверхности жидкости) и принимает под действием одних только междумолекулярных сил форму шара, отвечающую при данном объеме наименьшей поверхности жидкости; другой возможный самопроизвольный процесс, связанный с понижением свободной поверхностной энергии жидкости, состоит в скоплении у поверхности раздела таких веществ из окружающей среды (например, растворенных ранее в самой жидкости), которые своим присутствием в поверхностном слое понижают σ. Гиббс термодинамически показал, что скопление, т. е. *адсорбция* (см.), таких «поверхностноактивных» веществ у любой поверхности раздела необходимо связано с понижением свободной поверхностной энергии этой поверхности, что количественно выражается ур-ием вида: $\Gamma = -\frac{c}{RT} \cdot \frac{\partial\sigma}{\partial c}$, где Γ — адсорбция в $г$-мол/$см^2$, c — концентрация в растворе, а $-\frac{\partial\sigma}{\partial c}$ — поверхностная активность, мера способности вещества понижать поверхностное натяжение. Поверхностное натяжение убывает с $t°$ для чистых жидкостей почти линейно, обращаясь в 0 в критич. точке смешения обеих фаз, образующих поверхность раздела. Поверхностное натяжение адсорбционных слоев (в случае растворов поверхностноактивных веществ) убывает с $t°$ не линейно, а по резко изогнутым кривым, иногда же может и возрастать с $t°$ в нек-ром интервале (Ребиндер), т. к. адсорбция, снижающая поверхностное натяжение, сама всегда убывает с $t°$. Этим объясняется и неизменяемость с $t°$ полной поверхностной энергии $E = \sigma - T \cdot \frac{\partial\sigma}{\partial T}$ чистых жидкостей и резкое изменение этой величины E для растворов с адсорбционными слоями.

Капиллярные свойства (σ) зависят от электризации поверхности, в особенности, когда это связано с изменением концентрации ионов вблизи поверхности, изменяющих σ по ур-ию Гиббса. Такие явления, наблюдаемые обычно на ртутном мениске в растворах электролитов, называются электрокапиллярными явлениями и изучались Липманом, Гуи, Фрумкиным и др.

Теория капиллярности исходит из представления о силах, действующих между молекулами лишь на чрезвычайно малых расстояниях r; с увеличением r эти силы быстро убывают, практически обращаясь в 0 при расстояниях $r \geqslant \delta$, где δ—т. н. радиус сферы молекулярных взаимодействий. Легко показать, что δ есть одновременно и толщина поверхностного слоя, т. е. того слоя у поверхности жидкости, молекулы к-рого, втягиваясь внутрь лежащей под ними жидкостью, обусловливают внутреннее давление. Поверхностное натяжение σ и есть работа извлечения из внутренних частей жидкости в поверхностный слой n числа молекул, необходимого для образования нового 1 $см^2$, поверхности (см. *Жидкости*). Экспериментальные данные последнего времени показывают с очевидностью, что толщина поверхностного слоя, а следовательно и радиус сферы действия, совпадает с диам. молекулы (обычно порядка 5×10^{-8} $см$); отсюда следует, что поверхностные слои обычно мономолекулярны и что только ближайшие соседи данной молекулы обнаруживают с ней заметное взаимодействие. Первый основной закон теории капиллярности (1-й закон Лапласа) состоит в том, что в общем случае искривленной поверхности жидкости полное внутреннее давление p отличается от молекулярного давления на плоской поверхности K на величину $\Pi = \sigma\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$.

$$p = K + \Pi = K + \sigma\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right). \qquad (1)$$

Здесь R_1, R_2—радиусы главной кривизны в данном месте поверхности, считающиеся положительными, когда они направлены внутрь жидкой массы. Итак, поверхностное натяжение эквивалентно некоторому добавочному внутреннему давлению $\sigma\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = \Pi$, называемому капиллярным давлением. Из (1) получаем ур-ие свободной поверхности жидкости, не подверженной действию внешних сил: $\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \text{Const}$. Эта поверхность будет поверхностью постоянной средней кривизны (минимальной поверхностью). Поверхность шара как раз и является такой замкнутой поверхностью. В случае шара $\Pi = \frac{2\sigma}{R}$. Уравнение (1) позволяет объяснить большое число разнообразных явлений. Так, внутри малого сферич. пузырька, находящегося в равновесии внутри жидкости, давление д. б. на $\Pi = \frac{2\sigma}{R}$ больше, чем давление атмосферы над плоской поверхностью жидкости на том же уровне. При весьма малых пузырьках с радиусом $R \leqslant 1\,\mu$ это избыточное давление делается весьма значительным (см. таблицу).

Избыточное капиллярное давление внутри пузырька, образовавшегося в воде (при $t° = 20°$, $\sigma = 72{,}8$ эрг/$см^2$).

R	Π в дин/$см^2$	Π в atm
1 $см$	146	$\sim 1{,}10^{-4}$
1 $мм$	1 460	$\sim 1{,}10^{-3}$
0,1 $мм$	14 600	$\sim 1{,}10^{-2}$
1 μ	1 460 000	$\sim 1{,}5$
0,1 μ	14 600 000	~ 15

На этом явлении основана капиллярная теория перегревания жидкостей Дюгема (и вообще капиллярная теория задержек при появлении новой фазы и метастабильных состояний). По той же причине давление насыщенного пара над поверхностью малых капель больше, чем над плоской поверх-

ностью, как это показал термодинамически Кельвин. Давление внутри выдутого мыльного пузыря на $2\Pi = \frac{4\sigma}{R}$ больше, чем снаружи. Чтобы выдуть пузырек воздуха из капиллярного отверстия, на глубине H *см* под поверхностью жидкости плотности D надо преодолеть, кроме гидростатического давления $H\ D \cdot g$, еще и избыточное капиллярное $\Pi = \frac{2\sigma}{r}$; т. о., наибольшее давление образования пузырька будет (по Кантору) $p = \frac{2\sigma}{r} + H\ D\ g$, где r—наименьшее значение радиуса R пузырька во время его образования, равное радиусу отверстия. Измеряя p манометрически и зная r, легко найти σ. Внутреннее давление на поверхности мениска в узкой трубке (радиуса r), вполне смачиваемой жидкостью, на $\frac{2\sigma}{r}$ меньше (r отрицательно, т. к. мениск, принятый полусферическим, вогнут), чем на плоской поверхности жидкости в широком сообщающемся сосуде. Поэтому для равновесия жидкость должна стоять в капилляре настолько выше (H), чтобы гидростатическ. давление избыточного столба $H \cdot D \cdot g$ уравновешивало Π, т. е. чтобы $\Pi + H\ D\ g = 0$ или, т. к. $\Pi = -\frac{2\sigma}{r}$,

$$\sigma = \frac{g \cdot D \cdot r}{2} \cdot H; \quad H = \frac{2\sigma}{g \cdot D \cdot r}. \qquad (2)$$

Это—закон поднятия жидкости во вполне смачиваемом ею капилляре, позволяющий определить поверхностное натяжение жидкости σ по высоте поднятия H в капилляре данного радиуса r. Из ур-ия (2) видно, что H обратно пропорционально r, т. е. что произведение Hr есть величина для разных капилляров постоянная, зависящая только от свойств жидкости и называемая капиллярной постоянной:

$$a^2 = H \cdot r; \quad a^2 = \frac{2\sigma}{D \cdot g}; \qquad (3)$$

a^2 имеет размерность площади и измеряется в *мм*^{2} или в *см*^{2}, тогда как σ имеет размерность эрг/*см*^{2}. Для жидкости, не вполне смачивающей капилляр, вместо (2) имеем:

$$\sigma = \frac{D \cdot g \cdot r}{2} \cdot \frac{H}{\cos\vartheta}. \qquad (4)$$

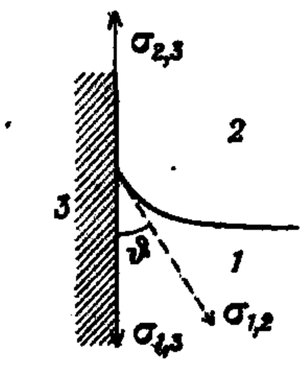
Ниже приведены значения σ в эрг/*см*^{2} для нек-рых жидкостей на разных поверхностях раздела при $t° = 20°$ (σ убывает с ростом взаимной растворимости обеих фаз):

Вода (H_2O)—воздух	$72{,}75 \pm 0{,}05$
Ртуть (Hg)—воздух	460
Этиловый спирт (C_2H_5OH)—воздух	22,0
Этиловый эфир ($C_4H_{10}O$)—воздух	16,5
Вода—бензол (C_6H_6)	33,0
Вода—анилин ($C_6H_5NH_2$)	8,0
Вода—изобутилов. спирт (i-C_4H_9OH)	1,8
Вода—этиловый спирт	0

Когда поверхность жидкости не свободна, а окаймлена, т. е. пересекается твердой стенкой, к первому закону надо добавить т. н. второй закон теории капиллярности:

$$\sigma_{2,3} - \sigma_{1,3} = \sigma_{1,2} \cdot \cos\vartheta. \qquad (5)$$

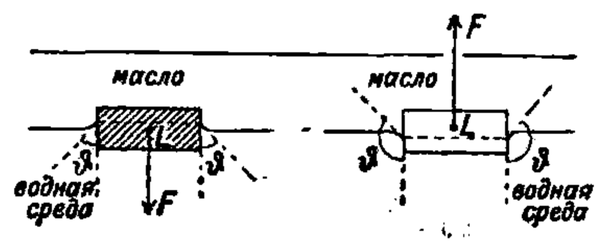
Это условие определяет краевой угол ϑ или смачиваемость $B = \cos\vartheta$ через три поверхностных натяжения (фиг. 2): $\sigma_{1,3}$—на границе стенка *3*—нижняя жидкость *1*; $\sigma_{2,3}$—на границе стенка *3*—верхняя жидкость или воздух *2*; $\sigma_{1,2}$—на границе раздела двух жидкостей *1*—*2* (или на границе жидкость *1*—воздух *2*). Т. о., ур-ие (5) применимо и к общему случаю двух наслоенных друг на друга жидкостей, поверхность раздела к-рых пересекается твердой стенкой. Из ур-ия (5) следует, что на твердое тело, напр. цилиндрик с вертикальной боковой поверхностью, помещенное в поверхностном слое, действует, вообще говоря, кроме обычных, сил тяжести и гидростатических, сил, еще и сила смачивания (флотационная сила):



Фиг. 2.

$$F = L \cdot \sigma \cdot \cos\vartheta, \qquad (6)$$

где L—периметр сечения твердой стенки жидкой поверхностью раздела. Когда $B > 0$, в случае лучшего смачивания стенки нижней жидкостью *1*—водой (гидрофильная стенка), добавочная сила $F > 0$ и направлена вниз; когда же $B < 0$ (стенка гидрофобна, т. е. лучше смачивается жидкостью *2*), сила $F < 0$ и направлена вверх (фиг. 3) и при достаточно малых размерах твердого кусочка (когда L велико сравнительно с объемом v кусочка) превышает силу тяжести даже при значительных плотностях твердого материала. Условие флотации будет (по Ребиндеру): $F + P \leqslant 0$; $\left|\frac{F}{P}\right| = k\frac{L}{v}\ \sigma\left|B\right| > 1$; здесь P—сила тяжести, действующая на твердую крупинку, k зависит от плотности твердого тела и обеих жидкостей. Это объясняет «плавание» на поверхности жидкости тяжелых, несмачиваемых ею твердых телец (напр. иголки на воде) (см. *Флотация*), в противоположность требованиям обычной гидростатики, полагающей $B = 0$, $\vartheta = 90°$, т. е. не учитывающей междумолекулярных сил (силы F).



Фиг. 3.

Флотация из всех К. я. нашла наиболее широкое применение в технике для обогащения металлич. руд. Крупинки размолотой металлич. руды, лучше смачиваемые маслом, при взбалтывании с водой и несколькими каплями масла или аналогичного реагента остаются в поверхностном слое, тогда как землистая пустая порода, лучше смачиваемая водой, хотя и более легкая, целиком оседает на дно; для перемешивания продувается воздух, при чем образующаяся пена уносит на своей поверхности все крупинки руды.

Законы капиллярности применяются также к исследованию условий образования и формы капель. Вес отрывающейся капли пропорционален поверхностному натяжению ее: $P = k \cdot \sigma$, где k зависит от радиуса шейки капли и от условий смачивания ею кончика. Получая из пипетки один и тот же вес жидкости, можно приближенно считать, что число капель обратно пропорционально поверхностному натяжению; на этом основано измерение σ по счету капель в сталагмометре Траубе.

Капиллярный анализ состоит в том, что в раствор смеси, напр., нескольких красок, погружают полоску фильтровальной бумаги. Различные компоненты раствора поднимаются по полоске на разную высоту; разрезая полоску на зоны, можно изолиро-

вать и изучить каждый компонент в отдельности. Измерения поверхностного натяжения все чаще применяются в технике, особенно для определения присутствия сильно поверхностноактивных веществ (сивушные масла и др.).См. *Поверхностное натяжение*, *Эмульсии*, *Смачивание*.

Лит.: Давидов А., Теория капиллярных явлений, 2 ч., Москва, 1851; Иоффе А. Ф., Лекции по молекул. физике, 2 изд., П., 1923; Ребиндер П. А., Научные основы флотационных процессов, «Научное слово», М., 1921, *1*; его же, Свойства и строение поверхностных слоев в растворах, сборн. «Молекул. силы и их электрич. природа», под ред. Б. В. Ильина, гл. 4, М., 1928; Фрумкин А. Н., Электрокапиллярные явления, Одесса, 1919; Laplace P. S., Traité de mécanique céleste, t. 4—Suppl. au livre 1, Paris, 1806; Gauss C. F., Allg. Grundlagen u. Theorien d. Gestalt v. Flüssigkeiten in Zustand d. Gleichgewicht, «Ostwald's Klassiker d. exakten Wissenschaften», Lpz., 1903, *135*; Gibbs J. W., Thermodynamische Studien, Leipzig, 1892; Mathieu E., Théorie de la capillarité, P., 1883; Plateau J., Statique éxper. et théorique des liquides soumis aux seules forces moléculaires, vol. 2, P., 1873; Duhem P., Application de la thermodynamique aux phénomènes capillaires, «Ann. de l'École normale», P., 1885, p. 207; Minkowski H., Kapillarität, Enzykl. d. math. Wissenschaften, B. 5—Physik, T. 1, H. 4, p. 558, Lpz.—B., 1907; Poisson S. D., Nouvelle théorie de l'action capillaire, P., 1831; Vander Waals J., Kontinuität des gasförmigen u. flüssigen Zustandes, p. 103, Lpz., 1871; Van der Waals J., Thermodyn. Theorie der Kapillarität, «Ztschr. f. phys. Chemie», Lpz., 1894, B. 13, p. 657; VanderWaals und Kohnstamm, Lehrbuch d. Thermodynamik, B. 1, § 67—68, Lpz.—Amsterdam, 1908; Bakker G., Kapillarität, Handb. d. Experimentalphysik, hrsg. v. Wien u. Fr. Harms, B. 7, Lpz., 1928; Freundlich H., Kapillarchemie, 3 Aufl., Lpz., 1923: Poincaré H., Leçons sur la capillarité, P., 1895; Riedeal E. K., Surface Chemistry, L., 1926; Dupré, Théorie mécanique de la chaleur P., 1869; Weber R. u. Gans R., Repertorium d. Physik, B. 1, T. 2, p. 1—123, Lpz.—B., 1916; Neumann Fr., Vorlesungen über d. Theorie d. Kapillarität, Lpz., 1894; Gony G., Théorie thermodynamique de la capillarité et de l'électrocapillarité, «Journal de Physique», Paris, 1901, série 3, t. 10, p. 245; Langmuir J., «Journ. of the Amer. Chem. Soc.», Washington, 1917, v. 39, p. 1848—1906; Frumkin A., «Ztschr. f. physikalische Chemie», Lpz., 1922, B. 103, p. 55, 1924, B. 109, p. 34, 1924, B. 111, p. 190, 1925, B. 116, p. 485, 1926, B. 123, p. 321; Frumkin A., «Ztschr. f. Physik», B., 1926, p. 792; «Ergebnisse d. exakten Naturwissenschaften, B., 1928, B. 7, p. 235; Rehbinder P., «Ztschr. f. physikalische Chemie», Lpz., 1924, B. 111, p. 447, 1926, B. 121, p. 103, 1927, B. 129, p. 163, 1929, B. 142, p. 282; Rehbinder P., «Physik. Ztschr.», Leipzig, 1926, p. 825; Sementschenko W., «Zeitschrift für physikalische Chemie», Lpz., 1927, B. 129, p. 178.

П. Ребиндер.

КАПСЕЛИ, круглые, овальные или прямоугольные короба с дном или без дна, изготовляемые из огнеупорного, обычно шамотного материала. В К. обжигаются глазурованные керамич. изделия, к-рые д. б. защищены от непосредственного соприкосновения с раскаленными газами, несущими золу и пепел, или, к-рые вследствие своей формы и малой прочности не м. б. размещены в печном пространстве без защитных подставок и ограждений. Производство К. является вспомогательным при изготовлении фарфоровых и фаянсовых изделий, метлахских плиток, шлифовальных кругов и др. Для обеспечения устойчивости при работе К. должны обладать: 1) возможно большей теплопроводностью, 2) высокой термич. стойкостью, поскольку они подвергаются в процессе обжига резкому переходу от нагревания к охлаждению, и 3) способностью не размягчаться при $t°$ обжига изделий.

Для изготовления К. применяются высокосортные огнеупорные глины, образующие плотный череп, трудно размягчающийся при высоких $t°$, и шамот в виде капсельного боя или специально для этого обожженной глины. Для приготовления К., применяемых в фарфоровом производстве, где им наряду с высокими $t°$ (1 380—1 400°) приходится выдерживать значительный вес изделий, у нас применяется «латненская» огнеупорная глина. Соотношение между количествами сырой глины и шамота колеблется в зависимости от пластичности, спекаемости и других свойств глины в весьма широких пределах,— от 2 : 3 до 3 : 2. Рациональный подбор сырья и соотношения между шамотом и сырой глиной должны обеспечить возможную близость коэфф-тов расширения зерен шамота и соединяющей их пластической связки. Для небольших К. обычно употребляют зерна до 2—3 *мм*, для К. большего размера—до 5 *мм*; толщина стенок К. 10÷25 *мм*. В последнее время за границей и у нас все чаще применяют способ приготовления капсельной массы путем сухого смешения тщательно перемешанной порошкообразной смеси шамота определенной крупности зерен с предварительно высушенной глиной. Для придания массе лучшей однородности и пластичности, для уменьшения брака при сушке и обжиге является очень полезным вылеживание ее в течение нескольких дней. Кроме ручного способа, К. весом ок. 80 *кг* и величиной до 600×600×540 *мм* изготовляются на фрикционных и других прессах; производительность механических прессов при расходе мощности до 4 HP—600 штук в смену.

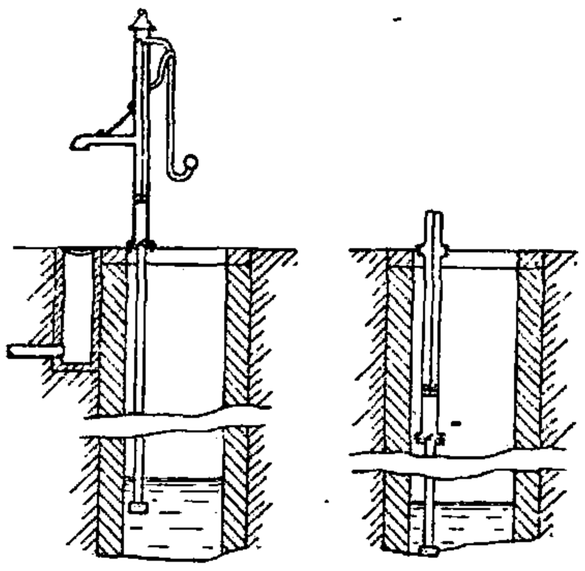
Обжиг К. производят в верхних этажах круглых печей периодич. действия при 800—900°. Срок службы К. в этажных печах для фарфора—до 12 обжигов; для фаянса, при печах с обратным пламенем, стойкость их еще выше. Добавка карборунда, алунда и других высокоупорных материалов существенно повышает срок службы К. Согласно данным работы фарфоровых заводов, на 1 *кг* хозяйственного фарфора приходится до 6 *кг* капсельной массы. Внешний объем капсельной насадки в печи, в случае обжига того же вида фарфоровых изделий, составляет 50—70% рабочего пространства 1-го этажа круглого горна, в зависимости от величины последнего и крупности изделий. Полезный объем К., который используется для размещения тонкостенных фарфоровых изделий, составляет ок. 30% рабочего пространства горна.

Лит.: Туманов С., «Вестник силикатной промышленности», М., 1924, *3/4*, стр. 31—36; Безбородов М. А., «Керамика и стекло», Москва, 1925, *3/4*, стр. 98—105; Searle A. B., Refractory Materials, their Manufacture a. Uses, p. 442—462, London, 1924; Hecht H., Lehrbuch d. Keramik, p. 171, 172, W.—Lpz., 1923; Bischof C., Die Herstellung d. feuerfesten Baustoffe, p. 217—222, B., 1923; Litinsky L., Schamotte und Silika, ihre Eigenschaften, Verwendung u. Prüfung, Lpz., 1925.

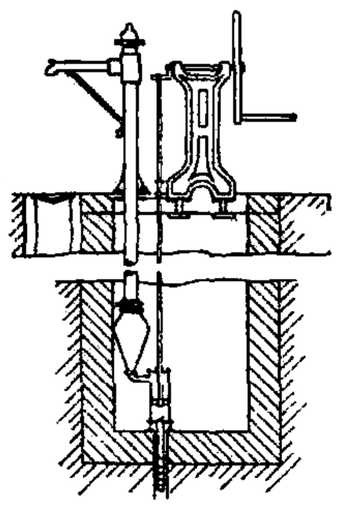
А. Фреберг.

КАПТАЖ ВОДЫ, обделка выходов из коренных пород на дневную поверхность ключей или же подземных водных источников, производимая для целей водоснабжения и искусственного орошения. Каптаж почвенных вод производится колодцами, стены которых углубляют в грунт на 0,5—1 *м* ниже низкого горизонта грунтовых или почвенных вод. Стенки колодца делают из дерева, кирпича, камня, бетона и котельного железа.

При горизонте воды не ниже 7 *м* от поверхности земли колодец м. б. снабжен ручным насосом, расположенным под землей (фиг. 1). При глубоком залегании грунтовых вод применяется устройство колодца, в котором

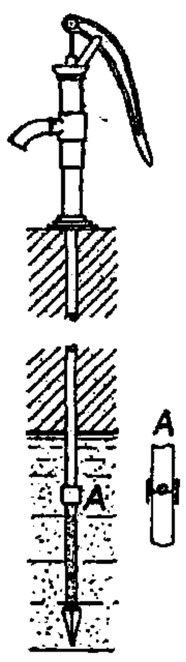


Фиг. 1.



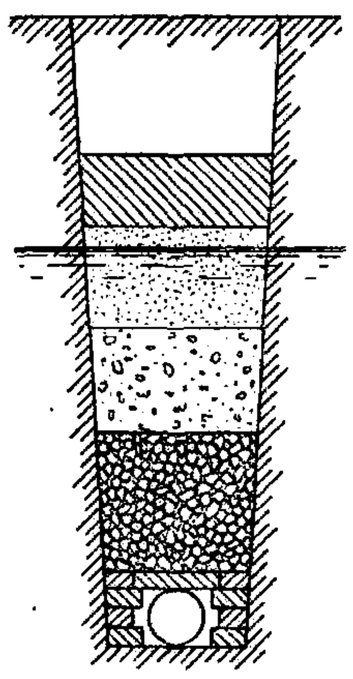
Фиг. 2.

вода забирается из специального трубчатого (бурового) колодца насосом, поставленным на дне шахты над скважиной (фиг. 2).



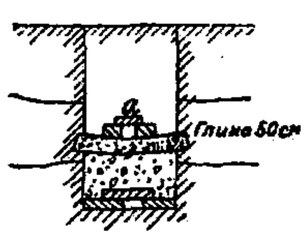
Фиг. 3.

При высоком стоянии горизонта грунтовых вод пользуются нортоновским, или абиссинским, колодцем (фиг. 3). Каптаж почвенных вод производится также при помощи дренажных устройств; так, напр., в Вюртемберге для целей водоснабжения часто применяется устройство, показанное на фиг. 4, при к-ром сборная труба уложена во рву и окружена сухой каменной кладкой, предохраняющей ее от повреждения; сверху уложены слои промытого камня, гравия, песка, предохранительный слой мятой с песком глины и сверху—досыпка местной земли. В Баварии в этих же целях применяется устройство, показанное на фиг. 5, при котором внизу широкого рва расположен сборный канал из сухой кладки, прикрытый дренирующим слоем гравия; сверху гравия помещается выгнутый вниз слой глины, а на ней сборный канал *a* для отвода поверхностной воды.



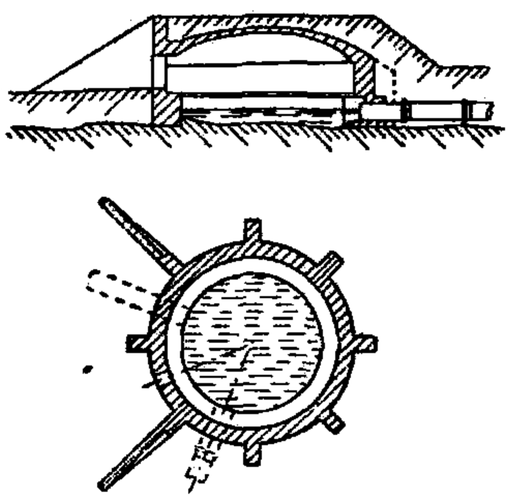
Фиг. 4.

Каптаж ключей производится путем устройства в месте выхода ключа на поверхность каптажной камеры, предохраняющей воду от загрязнения и собирающей некоторый запас ключевой воды. Вход в камеру в восходящих ключах осуществляется через дно камеры или колодца, к-рым является ничем не прикрытая горная порода. В нисходящих ключах для входа ключевой воды оставляют в задней или боковой стенке камеры отверстия, к к-рым примыкает галлерея для сбора воды, или непосредственно водоносная порода. Из каптажной камеры выводят выпускную трубу, забирающую воду для целей потребления, и сливную трубу для отвода излишней воды.



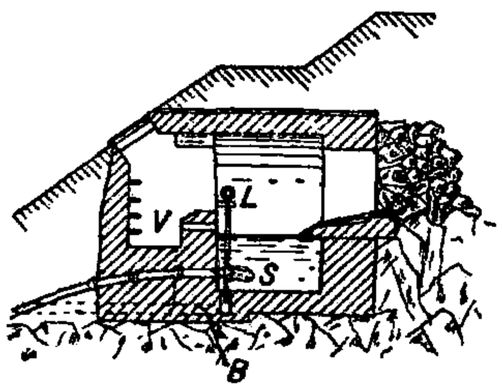
Фиг. 5.

Восходящие ключи перед каптажем расчищают от наносов и дресвы до основной породы, по к-рой пробивается главная жила ключа; над ним ставят каптажный колодец без дна; в скале жила остается открытой, а в мелком песке дно покрывают слоем камня. Примером каптажа восходящих ключей является обделка выхода ключа Армантьер (Париж). На месте выхода ключа устроен круглый каптажный бассейн (фиг. 6) диаметром в 10 *м*, перекрытый плоским сводом, обсыпанным сверху землею; вход в бассейн устроен сбоку; внутри камеры имеется галлерея; бассейн снабжен спускной трубой, сливная же труба отсутствует.



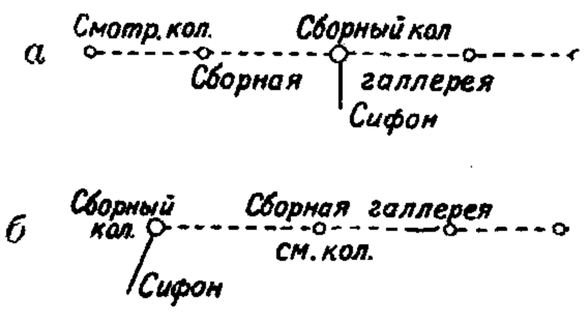
Фиг. 6.

Нисходящие ключи при каптировании отодвигаются вверх к истоку ключа. Для основания камеры выбирается водонепроницаемый слой. Каптажная камера (фиг. 7) устраивается из камня на цементном растворе, покрывается сводом и обсыпается землей. Для входа в нее устраивают наклонный люк. Оборудование камеры состоит из заборной трубы *S*, сливной трубы с водосливом *V* и спускной трубы *B* с клапаном *L*. Вода из ключа поступает через отверстие в стенке с нагорной стороны.



Фиг. 7.

Каптаж грунтовых вод производится горизонтальными водосборными галлереями, состоящими из труб или каналов с отверстиями для приема воды, уложенных с небольшим уклоном в водоносный слой. Такие галлереи устраиваются при неоднородном строении грунта, небольшой мощности водоносного слоя и расположении его неглубоко от поверхности (до 10 *м*), чтобы избежать большого числа водосборных колодцев. Общие схемы водосборных сооружений показаны на фиг. 8. Выбор схемы зависит от местных условий, однако схема *a* со сборным колодцем в середине сборной галлереи является обычно более экономной, т. к. поперечные сечения водосборов и их глубина заложения получаются меньшего размера и при эксплоатации возможно выключение на время ремонта той или иной половины системы. В целях водоснабжения в настоящее время водосборные галлереи применяются редко, но они имеют широкое развитие в целях орошения в Ср. Азии, на Кавказе, в Персии, Китае и Афганистане.



Фиг. 8.

На фиг. 9 показан кяриз (водопровод) со следующими отдельными элементами: *АБ*—водопроводная галлерея, *БВ*—водосборная галлерея, *ЛЕ*—водосборный колодец, *ДА*—водоотводная канава, *жж* — вентиляционные колодцы (служат сообщением с кяризом для работы при постройке и эксплоатации). Рас-

ход кяриза составляет обычно 30—50 *л/ск* и редко достигает 100 *л/ск*.

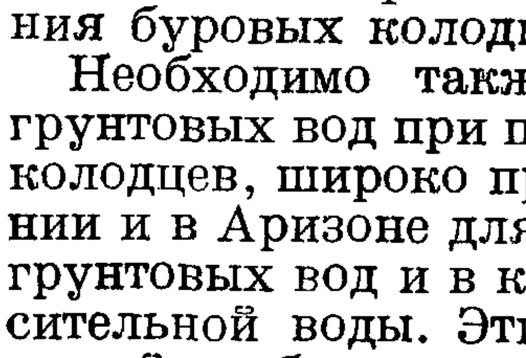
Каптаж грунтовых вод вертикальными водосборными сооружениями производится при глубоких залеганиях водоносного слоя и большой его мощности и водоносности несколькими буровыми колодцами, а при небольшой глубине — при помощи нескольких шахтных колодцев. Расположение водосборных сооружений при устройстве шахтных колодцев

Фиг. 10.

показано на фиг. 10, а схема расположения буровых колодцев — на фиг. 11.

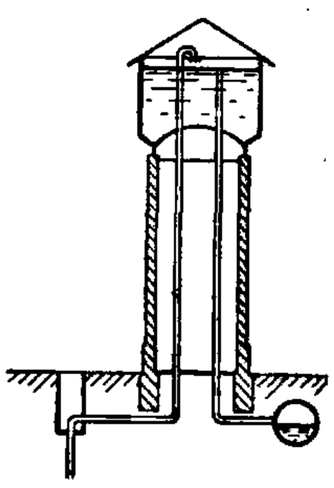
Необходимо также указать на каптаж грунтовых вод при помощи калифорнийских колодцев, широко применяемых в Калифорнии и в Аризоне для понижения горизонтов грунтовых вод и в качестве источников оросительной воды. Эти колодцы закладывают на той глубине, на к-рой имеется достаточно мощный водонепроницаемый слой. Путем механич. откачки воды из колодца происходит вертикальное продвижение грунтовой воды, расположенной в толще поверхностной земли, в этот колодец.

Каптаж артезианских вод для водоснабжения находит широкое применение у нас и за границей. Однако, дороговизна этого вида К. в., обычное увеличение, по мере эксплоатации, жесткости воды, а также (при отсутствии гидрогеологическ. карт) некоторая проблематичность результатов бурения предоставляют большие преимущества каптажу других вод. Отдельные же промышленные и с.-х. предприятия и лечебные заведения с большой пользой применяют каптаж артезианских вод.

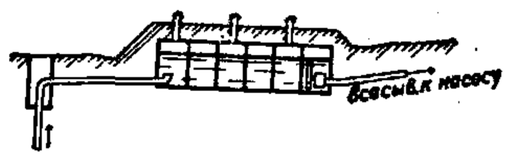


Фиг. 11.

Артезианские скважины д. б. при бурении прочно укреплены обсадными трубами в целях предохранения от обвалов грунта, утечки восходящей снизу воды в промежуточные водопроницаемые слои, а также проникания в скважину недоброкачественной воды. В стенках на нижнем конце артезианских колодцев в горных трещиноватых породах, валунах, гальке не делают отверстий; в других грунтах желательно устройство фильтров. Водосборные устройства при каптаже артезианской воды зависят от высоты напора ее (динамического горизонта). При подъеме артезианской воды без помощи насосов выше кромки бака водонапорной башни специальных устройств не требуется (фиг. 12). При подъеме воды на недостаточную для питания водопроводной сети высоту ее собирают самотеком в резервуар, расположенный на земле, а оттуда перекачивают в напорный бак или разводящую сеть (фиг. 13). Если артезианская вода не доходит до поверхности земли на высоту, меньшую глубины всасывания насосов, в скважину опускается всасывающая труба обыкновенного насоса, к-рым вода подается в башню или в сеть. Если же артезианская вода в скважине не доходит до поверхности земли на высоту, превышающую всасывание насоса, устанавливают в шахту или скважину центробежный насос с вертикальной осью.



Фиг. 12.



Фиг. 13.

Лит.: Брилинг С. Р., Курс водоснабжения, М.—П., 1923; Вавилов Н. И. и Букинич Д. Д., Земледельческий Афганистан, Л., 1929; Дингельштет В., Сельскохозяйственная гидравлика, СПБ, 1904; Костяков А. Н., Основы мелиорации, М., 1927; Люгер О., Водоснабжение городов, пер. с нем., ч. 1, СПБ, 1898; Сурин А. А., Водоснабжение, Л., 1926; Цимбаленко Л. И., Кяризы (водопроводы) Закаспийск. обл., СПБ, 1896; Шаров И. И., Орошаемое хозяйство Закасп. обл., Москва, 1923

Б. Шлегель.

КАПУТ МОРТУУМ, Caput mortuum, минеральная краска темнофиолетового оттенка, получаемая сильным прокаливанием железного купороса. Темп-ра прокаливания и количество пропускаемого при этом воздуха оказывают большое влияние на тон краски; в зависимости от этого можно получить К. м. начиная от желтого, красного, коричневого до темнофиолетового тона, а иногда и черного, если нагрев был достаточно сильным и равномерным.

Продажная К. м. содержит примеси гипса и глины. К. м. в смеси с олифою дает очень прочную масляную краску, применяемую в художественной живописи и в малярном деле. При приемке К. м. обращают внимание на оттенок и размол краски. Хорошие сорта К. м. должны содержать не менее 40% окиси железа; остальное—гипс и глина, но не мел. С вареной олифой К. м. должна хорошо сох-

нуть и давать прочный кроющий слой. При испытании К. м. делают анализ на присутствие растворимых сернокислых солей; наличие их показывает, что краска непригодна для окраски железных частей. Точно так же необходимо испытывать К. м. на присутствие органич. красок пробой на растворение в спирте: окрашивание спирта укажет на примесь органич. краски. **С. Михайлов.**

Лит.: см. *Краски минеральные.*

КАРАБУРЫ, фашины в 8,5 *м* длины и до 2 *м* толщины, изготовляемые из камыша, с заполнением внутри камнем. Фашины связывают камышевыми канатами и прикрепляют ко дну реки и к берегу кольями. Несколько рядов сложенных вместе К. образуют струенаправляющую дамбу. К. применяют в головных сооружениях туземных оросительных каналов в Туркменистане.

КАРАГЕН, каррагеен, ирландский мох, продукт, добываемый из слоевища морских водорослей, относящихся к семейству Gigartinaceae. Поступающий на рынок караген получается из двух видов: Chondrus crispus L. Stackh [= Fucus crispus L. = Sphaerococcus crispus C. Ag. = Fucus (Chondrus) polymorphus Lamour = Chondrus incurvatus Kütz] и, в меньшем количестве, Gigartina mamillosa Good. et Woodw. (= Fucus mamillosus Good. et Woodw. = Mastocarpus mamillosus Kütz = Sphaerococcus mamillosus C. Ag. = Chondrus mamillosus Grew.). К продажному К. бывают также подмешаны, но в меньшем количестве, красные водоросли: Geramium rubrun Hoods. (=Conferva rubra Hoods.), Gigartina acicularis (Wulf) Lamour и др. и бурые водоросли: Furcellaria fastigiata Lamour (=Fucus fastigiatus Hoods.), Stylophora rhizoides C. Ag. и другие виды. Главную часть К. качественно и количественно составляет Chondrus crispus—хрящевик курчавый. Он состоит из плоского листообразного слоевища величиной от 4 до 15 *см*, реже до 30 *см*, у основания столбообразного и заканчивающегося присасывающимся к скале кружочком.

Добыча. Водоросли, доставляющие К., растут на скалах вдоль берегов всего Атлантич. океана как в Европе, так и в С. Америке; более ценный товар—североамериканский. Выловленные водоросли отбеливают на солнце; после отбелки тщательно вымывают в чанах и просушивают на солнце; отбелка К. производится также сернистой к-той.

Состав. Воздушносухой К. содержит (по Риду) 10—25% воды, 9,4% белковых веществ, 55,4% сахара и крахмалоподобных веществ—т. н. флоридового крахмала, относящегося к амилодекстринам (настоящего крахмала в К. нет), 2,2% волокнистого вещества—целлюлозы и 14,2% золы. Согласно Фильду (1921 г.), состав К., по пересчету на безводное вещество, характеризуется следующими данными: 65% желатинистого вещества, т. н. каррагенина, или каррагина, растворимого в кипящей воде, 2÷3% азота, 0,7÷1,0% липоидов, 10÷15% золы. По свойствам каррагенин близок к *n*-арабину. Химическое строение каррагеновой слизи не установлено; считается, что каррагенин—сложный углевод, состоящий гл. образом из галактана, глюкозана и фруктозана; важную особенность его составляет стойкость его против загнивания сравнительно с желатиной.

Свойства К. В сухом состоянии К. представляют собой хрящеватое, твердое, мало просвечивающее, ремневидное тело, состоящее из клубков целых растений, желтоватой до буроватой и местами беловатой окраски. К. обладает весьма слабым запахом и пресным вкусом. Продажный К. часто покрыт белым налетом—скелетом колоний мшанок (Bryozoa).

В воде К. сильно набухает, размягчается, становится слизисто-скользким и издает характерный морской запах. При кипячении 1 ч. К. с 20—30 ч. воды получается золь—слизистый коллоидный раствор, по охлаждении застывающий в студень. Содержащиеся в золе соли обусловливают способность раствора К. желатинироваться; если эти соли извлечены из К. тщательной промывкой его в пресной воде, то раствор такого К. при охлаждении уже не дает геля. С другой стороны, если раствор быстро нагретого неотбеленного К., промытого только морской водой, изготовлен 3—5-часовым кипячением в пресной воде, то образуется твердый гель при отношении К. к воде меньшем, чем 1 : 50. От добавки к растворам К. небольших количеств кислот, щелочей и некоторых солей желатинирующие свойства растворов легко разрушаются. Напротив, от добавки солей кальция твердость каррагенового геля повышается. Растворы К. нечувствительны к таннину, в отличие от растворов агар-агара, осаждаемых таннином. Щелочные производные каррагенина, именно натровые, растворимы в воде и поступают на рынок под фирменными названиями альгина, бландола, норгина; с солями тяжелых металлов (железо, серебро и другие) эти вещества при помощи двойного разложения дают соединения, уже нерастворимые.

Испытание К. состоит прежде всего в осмотре, к-рым устанавливается относительное содержание более ценного Chondrus crispus и присутствие иных водорослей и мшанковых налетов. Отбелка сернистой к-той, вообще понижающая ценность товара и недопустимая при изготовлении медицинского К., узнается по отсутствию кислой реакции (на лакмус) слизи (1 ч. К. на 30 ч. воды); эта же слизь не должна окрашиваться иодом в синий цвет.

Применение. К. нашел себе применение в общей промышленности, в пищевой и фармацевтической. Во всех случаях исходным процессом является получение раствора К. Для изготовления слизи обдают 5 ч. К. 70—90 ч. горячей, но не кипящей воды, добавляют 1—1,5 ч. соды, растворенной в горячей воде, и пропускают раствор через сито с широкими петлями; при повторении той же операции можно получить 160—200 об. ч. вязкой слизи. Каррагеновый гель получается кипячением примерно в течение 1 часа 5%-ного раствора растительной слизи в дистиллированной воде с обратным холодильником, новым нагреванием на паровой бане и фильтрацией через вату; подобным образом можно изготовить 1—2%-ную

вытяжку и упарить ее до застывания в виде геля. Для осветления растворов карагена их фильтруют. Особенно широко распространено применение К. в аппретурной технике; техническая ценность карагеновой слизи основана на легкости проникания ее в ткань, полноте схватывания ею ткани (при чем сохраняется мягкость материала), незагрязняемости материала и необязательности сильного каландрирования ткани после аппретуры. Другая область применения К.—малярное дело. При загрунтовке по цементу полужидким мылом клеевую краску лучше накладывать на карагеновой слизи, чем на животном клее или на смеси их. Из К. делается также заменитель каучука: 450 ч. отфильтрованного карагенового геля нагревают со 150 ч. отмученного мела; сюда добавляют 30 ч. густого белого сиропа и 90 ч. глицерина; по добавлении краски в нагретую смесь последнюю прессуют в формах и в течение нескольких дней просушивают на воздухе; при производстве этого заменителя каучука должен соблюдаться определенный порядок введения составных частей. Хорошая связующая способность К. дала основание Г. Риттеру предложить его, с подкислением минеральными к-тами, как составную часть каменноугольных и коксовых брикетов. Потребление К. как пищевого продукта значительно в приморских странах. Однако, большое содержание в К. полисахаридов делает эти пищевые продукты мало усвояемыми как человеческим, так и животным организмами. В фармации К. находит себе применение как питательная почва для культур микроорганизмов; в этом случае выгодным свойством К. является сравнительно высокая $t°_{пл.}$ (около 100°), несмотря на низкую $t°_{заст.}$ (около 40°) и неразжижаемость большинством культур, а неудобством является легкая отдача воды. Карагеновый клей изготовляют для разных целей, кипятя К. в растворе поташа.

В торговле различают три сорта К.: естественный, очищенный и отборный. Первые два сорта применяются только в технике, а третий—также и в медицине. К. поступает в продажу в виде порошка или лепешек, легко растворяющихся в воде. Из рынков К. наиболее важны: порт Слиго (Sligó) на западном берегу Ирландии, Ливерпуль в Англии, Гавр во Франции, Массачусетс (Плимут) в С. Ш. А. **П. Флоренский.**

КАРАКУЛЬ. а) К. натуральный,—шкурки ягнят каракульской овцы, в возрасте нескольких дней от рождения (от 2 до 7), имеющие завиток, расположенный в форме б. или м. ярко выраженного рисунка. Шкурки нерожденных ягнят, не обладающие завитком, а имеющие муаровую волосяную поверхность, называются каракульчой. К. добывается на огромной площади в ю.-з. Азии. Чистокровное каракулеводство наиболее развито в Узбекской ССР и Персии.

В торговле К. различают: 1) по цвету волосяного покрова, 2) по роду завитка, 3) по размеру шкурки и 4) по сортам. По цвету волосяного покрова различают К. черный, серый, коричневый и переходный между серым и коричневым. По роду завитка различают упругость, блеск, размер и форму завитка; по упругости завиток делится на крепкий, слабый и кольчистый; по блеску—на блестящий и матовый; по размеру завиток делится на крупный, средний и малый; по форме—на вальковатый, бобистый и плоский, кольчистый, расплетистый. По размеру различают шкурки крупные, средние, мелкие и недомерок, или «нязугча».

Сортировка К. своеобразна. Прежде всего, имеются отличия в сортировках К., черного и натуральн. серого и коричневого. Черный К. сортируется на две основные группы—воротниковый и шапочный. Каждая из этих групп делится на следующие сорта. Воротниковый К.: 1) отборный однопарный—шкурки крупного размера, тонкомездровые, с блестящим крупным вальковатым завитком; вальки средн. размера, расположены по всей площади шкурки в форме рисунка; 2) жакетный 1-й—шкурки со всеми качествами отборного, но меньшего размера, с более плотной мездрой (кожей); валек расположен не по всей площади, имеются отдельные бобовидные завитки; рисунок менее четкий, завиток блестящий, крепкий, крупного и среднего размера; 3) жакетный 2-й—шкурки крупного, среднего и мелкого размера, с еще более плотной мездрой, чем у жакетного 1-го; вальки расположены не по всей шкурке: бобовидные завитки присутствуют в заметном количестве; завиток крупный, слабый кольчистый или вальковатый; волос блестящий или матовый; 4) партионный—шкурки крупного, среднего и мелкого размера; крупный, слабый расплетистый или крупный кольчистый завиток; волос блестящий или матовый. Шапочный К.: 5) кирпук—шкурки среднего размера, со всеми качествами отборного, но только с очень мелким вальком по всей площади; завиток крепкий, мелко вальковатый; волос блестящий; 6) флера—шкурки среднего и мелкого размера; завиток слабый, матовый, средний, вальковатый с неотчетливым рисунком; 7) фигурный—шкурки среднего и мелкого размера, с мелкокольчистым или плоским матовым завитком без рисунка.

В черном К. главную роль играет завиток. Лучшими и самыми ценными завитками являются вальковатые, т. е. такие, в к-рых волосы сложены вальками; чем длиннее вальки, тем К. красивее. Следующим по ценности является бобовидный, или бобастый, завиток, представляющий собою вальковатый завиток, но более выпуклый и разбитый на отдельные участки. Кольчистый, или горошковидный, завиток понижает ценность К.; он получается тогда, когда отдельные косички волос завиваются спиралью, образуя иногда на концах нечто в роде узелков, напоминающих горох. В цветном каракуле, сером и коричневом, завиток играет второстепенную роль, а прежде всего ценится окраска. Более ценные и красивые цветные шкурки обладают неравномерным распределением окраски по отдельным волоскам.

В торговле известен еще особый сорт К.—каракуль-перерод, представляющий собою шкурки ягнят от овец породы «малич» или других, скрещенных с каракульскими производителями. Каракуль-перерод имеет грубый различной формы завиток.

По исследованиям Юдина, оказалось, что средний диаметр шерстяного волокна в К. колеблется ок. 29,8 μ; во всех шкурках имеется пух, %-ное содержание к-рого варьирует в пределах от 12 до 89%; более высокий % пуха свойствен более низким, дешевым сортам К.; каракульча свободна от пуха; в разных частях шкурки %-ное содержание пуха значительно меняется, при чем оно понижается в лучших частях (в огузке и спинке).

В продажу К. поступает в сыром или в выделанном и окрашенном виде. Сырой К. составляет значительную статью нашего экспорта. На внутренний рынок К. поступает или выделанный или выделанный и крашеный. Выделанный К., без искусственной окраски, носит название «натурального К.». К нему относятся цветные сорта: серый и коричневый. Под названием «крашеный К.» идет черный К., подвергающийся обязательной окраске для углубления цвета и увеличения блеска волоса.

Производство К. состоит из следующих операций. Через несколько дней после рождения ягненка (не позднее 7 дней) шкурка снимается пластом, т. е. путем прямого надреза от нижней челюсти по брюху до основания хвоста и надрезов по внутренней стороне лап. Затем она квасится в киселе из маисовой муки и сушится. Такой К. называется «сырьем полуквашеным»; он поступает в продажу в кипах, содержащих в среднем 160 шкурок. Выделка К. производится в специальных мастерских или на ф-ках и состоит из отмочки, мездрения, квашения хлебными киселями, сушки, откатки в глухом барабане с несмолистыми опилками, протряхивания в решетчатом барабане и разбивки мездры (кожи) на скобах (тупых ножах). Существует более короткий способ выделки «в засалку». По этому способу полуквашеный сырой К. слегка увлажняют водой, мездрят и пускают без квашения прямо на откатку в барабан. Квашение влияет на характер завитка К.: одни сорта улучшаются в качестве и увеличиваются в размере, другие, наоборот, ухудшаются; так же влияет и крашение.

Крашение К. производится только в один цвет—черный, при чем рецептура его меняется в зависимости от того, красится ли черный или пестрый К. Рецептура для окраски черного от природы К. построена т. о., чтобы только нюансировать природный черный цвет, углубить его и сообщить блеск. Этим требованиям до сих пор удовлетворяет только один краситель — кампеш. Им красят на медной и железной протраве в одной ванне, с последующим вызреванием на воздухе. При такой окраске мездра получается темно-голубого цвета, ценимого в торговле и являющегося признаком хорошей окраски. Пестрый К. красится также кампешем, но путем более длительного процесса, с предварительным протравлением и двухванным крашением, с промежуточным вызреванием. От крашеного каракуля требуется, чтобы его мездра была тягуча (имела потяжку), мягка, без жестких пятен; волос д. б. блестящий, черного цвета с голубым отливом, а окраска—прочна к свету, хранению и трению (см. *Меховое производство*).

К. употребляется на шапки, воротники, дамское манто, жакеты; в изделиях он всегда употребляется волосом наружу.

По данным ЦСУ за 1924/25 год, количество каракульских овец в Узбекистане равнялось 679 800 голов. До войны 1914—18 гг. оно равнялось 1 800 000 голов. Такое уменьшение стада объясняется уводом б. эмиром Бухарским и другими стадовладельцами из Бухары в Афганистан около 1 000 000 голов. Для Туркменистана последние сведения дают общую цифру каракульских овец в 740 000 голов. Кроме Узбекской и Туркменской республик, каракульские овцы разводятся еще в Казакской АССР—в примыкающей к Аральскому морю части Кара-Калпакской автономной области. По данным обследования 1927 года, количество каракульских овец в Кара-Калпакии определяется в 240 000 чистых и 180 000 метисов. Некоторое количество каракуля добывается также на юге СССР—в Крыму, Полтавском и Харьковском округах, в Поволжьи и ряде других районов. К., добываемый в Крыму, носит в торговле название к р ы м с к о г о К., а получаемый из остальных районов ев. ч. СССР—с м у ш к и. Общее количество смушковых овец в наст. время исчисляется в 800 000 голов. Добыча К. и смушки (в шт.) выражается след. цифрами:

Вид каракуля	Годы	
	1913	1927/28
Туркменский	2 000 000	1 700 000*1
Узбекский		
Кара-Калпакский		
Смушка	—	600 000*2

*1 Из них Гос. сектор заготовляет 1 500 000 шт.
*2 Из них Гос. сектор заготовляет 350 000 шт.

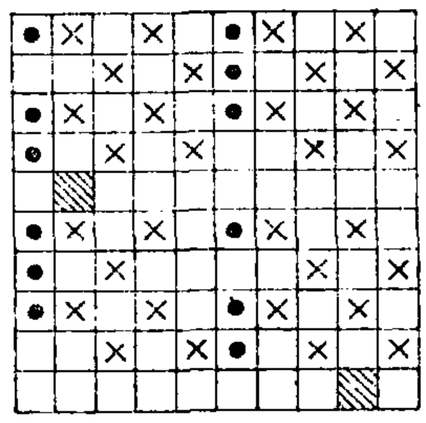
Незадолго до войны 1914—18 гг. Бухара почти монопольно поставляла К. В настоящее время каракулеводство с успехом развивается в разных частях Старого и Нового Света. По инициативе герм. проф. Ю. Кюи (Галле) с успехом проводится акклиматизация каракульских овец в Германии; по примеру Германии их стали разводить и страны Балканского полуострова, Венгрия и т. д. Одновременно, преодолевая все трудности, идет работа по каракулеводству в южной Африке и С. Америке.

Лит.: К а р п о в М. С., Каракулеводство в его современном состоянии, М., 1928; И в а н о в М. Ф., Овцеводство, М., 1925; Ю д и н, Опыт исследования каракульских смушек, «Пушное дело», М., 1927, *6*; «Пушное дело», М., 1927, *5—6*; Проект стандарта на каракуль, Отдел стандартизаций ВСНХ СССР, М. (печат.); Всесоюзный стандарт на пушнину и меховое сырье, М., 1927; Технические условия приемки и сдачи меховых товаров, Москва, 1929. **Н. Булгаков.**

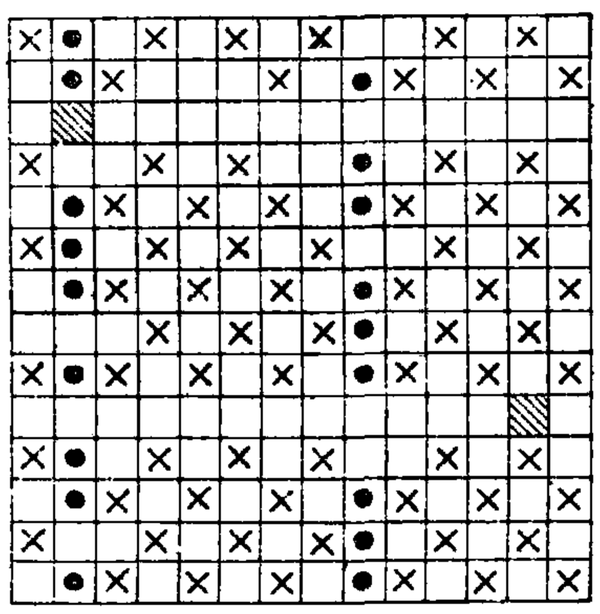
б) К. искусственный (и с к у с с т в е н н ы й б а р а ш е к). Имитацией меха каракульской овцы является спец. ткань, по внешнему виду воспроизводящая этот мех (см. вкл. лист, ст. 712). Назначение искусственного К. то же самое, что и натурального каракулевого меха. Схема постройки искусственного К. следующая: 2 основы—одна из крученой в две нитки хлопчатобумажной пряжи, т. н. коренная основа, и другая—из шерстяной пряжи (ворсовая основа); уток—из хлопчатобумажной пряжи в одну—две нитки. Хлопчатобумажная крученая основа и хлопчатобумажный уток дают о с н о в а н и е, или г р у н т, искусственному К. Шерстяная основа делается из пряжи низких №№ и служит собственно для искусственного каракуля. Раппорт ткани берется таким, чтобы шерстяная основа в главной массе выходила на «лицо» ткани.

В основном построении искусственного К. по переплетению следует различать: 1) К., где основные нити образуют петли, при чем шерстяная нить основы остается целой (т а с к а н о й); 2) К., где петли шерстяной основы разрезаются при ткачестве (р е з н о й каракуль; 3) к о м б и н и р о в а н н ы й К.—часть петель тасканая и часть—резная.

Указанные три основные вида построения искусственного К. в ткачестве дают три главных образца К. Раппорт переплетения для искусствен. К. может быть весьма разнообразный, и механизмы образования зева применяются эксцентриковые, кареточные, жаккардовые, в зависимости от сложности рисунка. В практике СССР применяют по преимуществу эксцентриковые механизмы при механическом ткачестве и «проножки» при ручном ткачестве. На фиг. 1 и 2 приведены примеры простых раппортов для искусственного каракуля фиг. 1 — по утку 10 раз (2 прутка + 8 нитей); фиг. 2 — по основе 10 нитей (2 ворс + 8 грунт). По отделке различают также три главные группы по внешнему виду: 1) пестрые К., 2) гладко окрашенные, К. 3) искусственные К. модных цветов, а также из шерстяной пряжи меланж. Качество искусственного К. зависит от сырья и обработки. Для высоких сортов искусственного К. применяют высоколюстровые длинные шерсти и кроссбреды, для более дешевых сортов — грубые шерсти типа русских, тушинских и т. п. По способу прядения шерстяную основу применяют для высоких сортов К. из пряжи камвольн. английского прядения, для более дешевых сортов применяют основу, приготовленную аппаратным (суконным) способом прядения. Пряжа шерстяная применяется возможно пологая, т. е. с весьма малым числом кручений при прядении. Пряжа английского прядения — более гладкая по сравнению с аппаратной, и искусственный К. получается более блестящим и гладким. В виду слабой крутки при прядении пряжа английского прядения обычно выпускается с банкаброшей, т. е. имеет специальный план прядения. Ткачество идет обычно с 3 навоев — один для хлопчатобумажной пряжи, два для шерстяной пряжи (ворс). Длина сновки для шерстяной основы делается больше в сравнении с хлопчатобумажной. Последнее обусловлено тем, что шерстяная основа дает петли при ткачестве К. Для получения петель при ткачестве под шерстяную основу (ворс) прокладывают металлич. прутки по направлению утка. После образования ткани прутки вынимаются, и отсюда получаются петли искусственного К. Если искусственный К. — «резной», то петли разрезаются.



Фиг. 1.



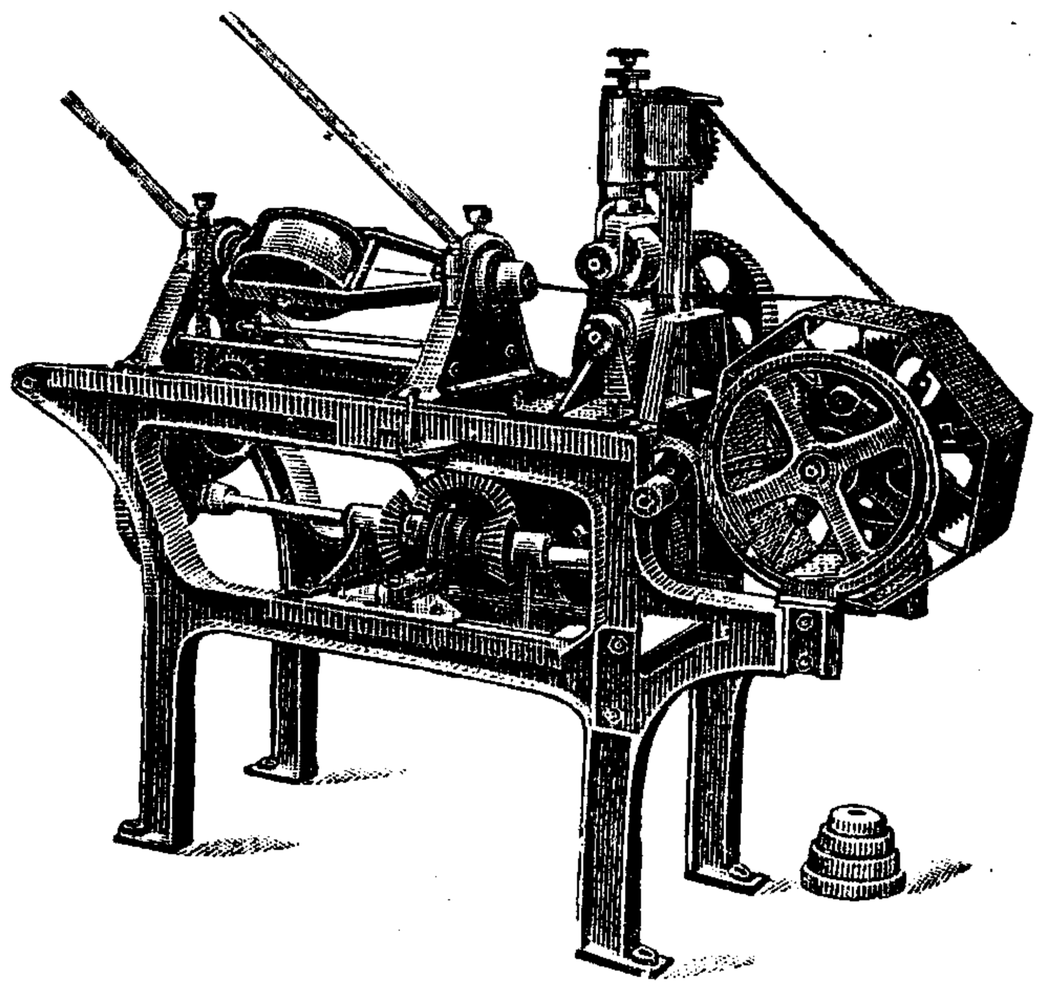
● – Шерстяная пряжа (ворс)

⊠ – Хлопчатобумажная пряжа

▨ – Пруток

Фиг. 2.

Примерный план обработки однотонного К., крашенного в ткани (преимущественно в черный или коричневый цвета): 1) пряжа шерстяная для верхней основы (ворс), по преимуществу в одну нитку; 2) сгонка пряжи с початков или шпуль в несколько нитей (трощение); 3) посадка — трощеную пряжу весьма сильно скручивают в несколько нитей и при кручении делают «посадку», заключающуюся в том, что сильно перекрученную нить ослабляют и получают спирали в форме обычной спиральной пружины; на фиг. 3 приведена «посадочная» машина; 4) заварка или запарка (декатир); первая операция заключается в том, что «посаженную» пряжу в форме мотков вываривают в слабом щелочном растворе в течение нескольких часов; расход кальцинированной соды ок. 2% от веса пряжи; вместо заварки делают также т. н. запарку, т. е. пряжу выдерживают в герметич. закрытых железных котлах, наполненных водяным паром — операция, совершенно аналогичная сухому декатиру в суконном производстве; волокна шерсти фиксируются в той форме, к-рая была им придана при посадке; 5) сушка; 6) перемотка с мотков на катушки; 7) раскрутка: пряжа с катушек раскручивается и разделяется на одиночные нити или по нескольку нитей в каждой пряди в зависимости от сорта и внешнего вида К., для к-рого готовится пряжа (ворс); 8) сновка, обычная при ткачестве; 9) ткачество, как указывалось выше, производится с трех и больше навоев: два или больше навоев с шерстяной



Фиг. 3.

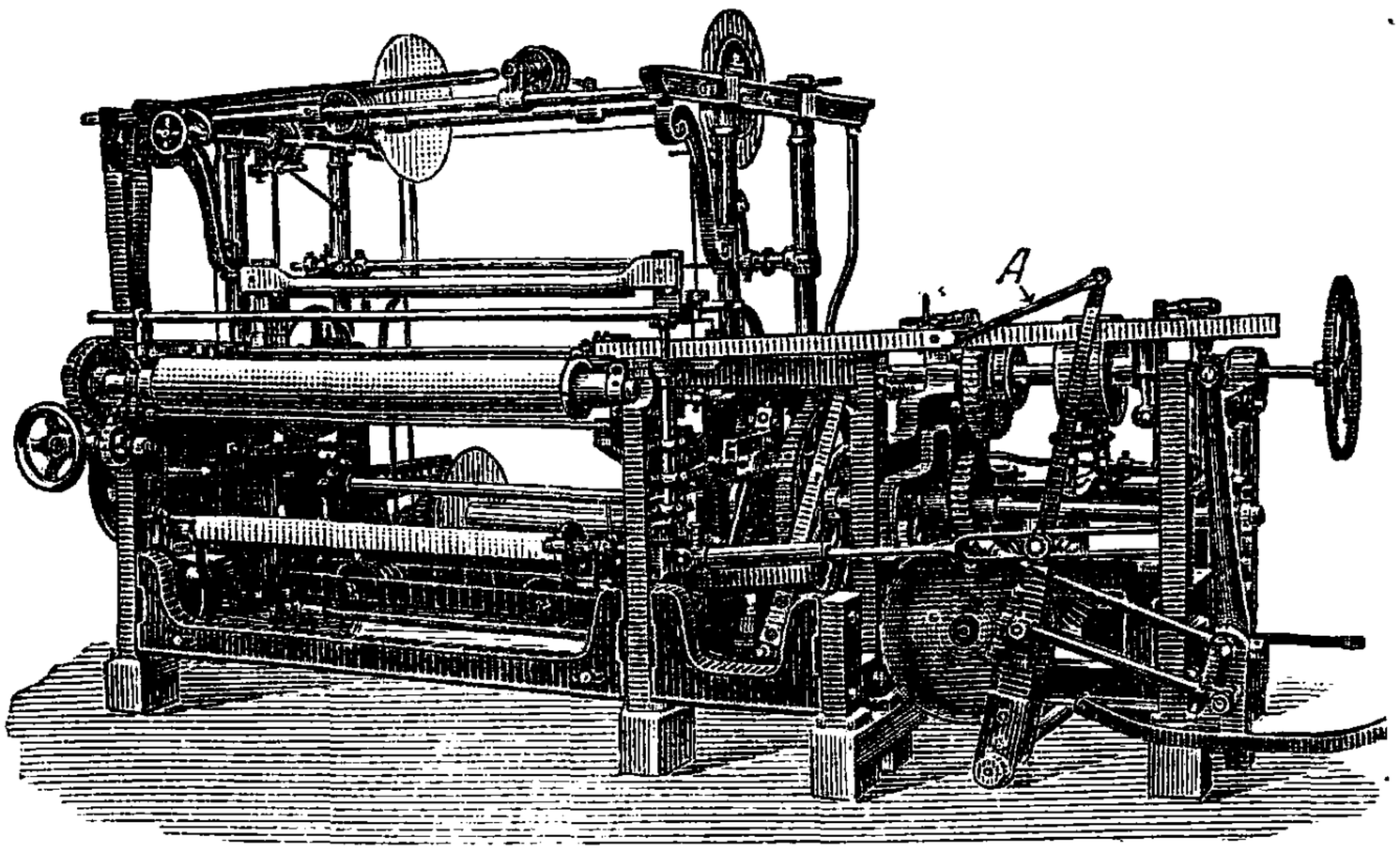
пряжей, обработанной по 1)—8), и отдельный навой, приготовляемый из хлопчатобумажной крученой в 2 нити пряжи; 10) промывка на жгутовых машинах типа машин для суконного производства; 11) крашение — обычное, как для суконного производства — жгутом; 12) аппрет из отвара льняного семени (операция применяется не всегда) для придания поверхности К. бо́льшего блеска; 13) сушка в несколько растянутом виде для получения более расправленного товара (ширительная сушилка); 14) сухой декатир для лучшего фиксирования положения волокна; 15) стрижка выступающих волокон (не для всех сортов); 16) уборка и упаковка для отправки. Описанный план обработки относится к искусственному К., крашенному

после получения ткани, и потому К. получается о д н о т о н н ы м. Хлопчатобумажная пряжа м. б. взята крашенной в соответствующий цвет. Если хлопчатобумажная пряжа, основная и уточная, употребляется не крашенная, то после крашения шерсти (11) К. промывают и красят хлопчатобумажную часть искусственного каракуля.

Для пестрого искусственного К. (преимущественно серого) примерный план обработки от пряжи до готового товара следующий: 1) пряжа шерстяная для верхней основы (ворс), по преимуществу в одну нитку; 2) перемотка шерстяной пряжи в мотки; 3) отбелка или откурка для получения пряжи снежно-белой; 4) подсинька; 5) сушка; 6) сгонка пряжи с мотков в несколько нитей в зависимости от сорта К.; 7) посадка; 8) заварка или декатир; 9) крашение,—при крашении красильный раствор не проникает во всю толщу пряжи благодаря ее сильной перекрутке, и краситель покрывает только верхние слои пряжи, внутренние слои всегда остаются белыми; 10) сушка; 11) раскрутка; 12) снование; 13) ткачество; 14) чистка; 15) стрижка; 16) уборка. Для отдельных сортов м. б. применена аппретура из отвара льняного семени для придания К. большего глянца.

Приведенные планы обработки могут меняться в зависимости от характера искусственного К. Искусственный К. предполагается работать стандартных типов. Выше приводятся данные из проекта стандартов; эти проекты стандартов близки к сортам, вырабатываемым в настоящее время.

Производство искусственного К. находится в ведении 1 Государствен. шерстяного треста и кооперации. Ткачество ведется в большей части на ручных станках и в будущем намечено на механич. станках. На фиг. 4. изображен механич. станок для ткачества. Станок по внешнему виду напоминает обычный ткацкий станок, и только развитая головка с правой стороны отличает его от последнего. На правой стороне сосредоточены механизмы, управляющие движением прутков и ножей для получения петель К. (*A*—тяга, движущая прутки). В довоенное время искусственный К. применялся в довольно большом размере для шапок в армии.



Фиг. 4.

Данные проекта стандартных типов искусственного каракуля.

Наименование товара	Ширина без кромки в *см*	Вес 1 *м*²	Число нитей на 10 *см*		Утычка (уработка) основы, в %		Основа			Ширина берда, *см*		Пряжа				Примечание
							Число нитей					№№				
			основы	утка	коренной	ворсовой	коренной	ворсовой	кромки	полотна	кромки	коренной	ворсовой	кромки	утка	
Серая овчинка резная	75	0,772	140	148	5	68	900	150	60	77	3	24/2	0,98	24/2	24/2	Для получения петель ворса берут прутки высотой 6 *мм*
Искусственная овчинка, полотном крашенная, тасканная	71	0,935	155	99,8	7,5	59	880	220	60	75	3	24/2	1	24/2	8,5	

Для крашенной полотном овчинки—смеска с ворсовой основой № 1: 100% люстровой кроссбредной шерсти 48,5 по Бредфордской системе классификации шерсти.

Смеска для утка хлопчатобумажного угарного прядения:

Хлопок америк. семян	80%
Хлопковые угары	15%
Ровница и крутые концы	5%
	100%

Смеска для ворсовой основы серой овчинки:

Тушинская шерсть 13	62%
Хотанская » 13	34%
Концы ровницы	4%
	100%

Лит.: Сборник описаний предметов и материалов, заготовляемых интендантством для довольствия войск, Петроград, 1915; R e i s e r N. und S p e n r a t h J., Handbuch der Weberei, 2 Auflage, B. 1—2, Leipzig, 1906—08.

А. Синицын.

КАРАМЕЛЬ, продукт разложения сахарозы, смесь некристаллизующихся веществ; получается при нагревании сахара выше 160°; карамель имеет темную окраску, от буро-коричневого до черного цвета, горьковатый вкус, в воде и спирте хорошо растворяется, окрашивая жидкость в коричневый цвет; применяется поэтому для окраски (кулера) ликеров, пива и пр. (см. *Сахар*).

Название К. употребляют и для обозначения определенной категории кондитерских изделий (см. *Кондитерское производство*).

КАРАНДАШНОЕ ПРОИЗВОДСТВО. Продуктом К. п. является карандаш, применяющийся для сухого письма и состоящий из стерженька (мины), заключенного в деревянную оболочку. Родиной К. п. считается г. Нюрнберг (Германия). Для изготовления стерженька употребляется графит очень высокосортный и чистый без примесей, гл. обр. из двух получивших широкую известность копей — Берсдоульских (Англия) и Алиберовских (Сибирь). По мере развития производства и потребления карандашей фабрики ста́ли испытывать очень серьезные затруднения в получении высокосортного по своей однородности и чистоте графита, и был изобретен способ получения искусственной графитной мины; по этому способу графит измельчался в тонкий порошок, просеивался через мелкое сито и смешивался с жидкой (расплавленной) серой. Полученная масса, после тщательного перемешивания на огне, выливалась в плоские формы-плитки. По остывании плитки распиливались, как и естественный графит, на карандашные стерженьки (мины). Графитные мины вставлялись на клею в деревянные оправы и последним вручную придавалась округлая или шестигранная форма. Первая искусственная графитная мина отличалась жесткостью, неоднородностью и хрупкостью при письме. В 1795 году был изобретен новый способ изготовления графитной мины из смеси графитного порошка с глиной, сохранившийся и до настоящего времени. Производственный процесс состоит из производства мины и производства самого карандаша.

Производство мины. Мины изготовляются трех родов: а) графитные мины, б) цветные мины и в) копировальные мины. Исходным сырьем для производства графитной мины служат графит и каолин. Технологич. процесс приготовления графитной мины заключается в подготовке, смешении и размоле сырья, в просеивании и прессовании смеси, в формовке, обжиге и жировании мины.

Подготовка сырья. Оба вида сырья (графит и каолин) при поступлении на ф-ку прежде всего подвергаются очистке от примесей путем просеивания и отмучивания, для чего предварительно графит и каолин раздельно размалываются на шаровых мельницах в течение довольно продолжительного времени в зависимости от сорта и качества полученного сырья; иногда этот процесс длится несколько суток. Измельченные графит и каолин далее подвергаются раздельно совершенно одинаковому процессу: сначала просеиванию через ряд тонких сит (40—60—80—120 меш), а затем предварительной обработке порошка щелочью для очистки от посторонних примесей (частично). Смешанный с раствором порошок через некоторое время (определяемое опытным путем) промывают водой, сильно разжижают (до 0,5%), энергично взбалтывают и во взвешенном состоянии проводят переливанием через ряд поставленных вертикально перегородок в отстойных баках, при чем скорость движения воды постепенно замедляется. Отобранные из разных отстойных баков порции отмученного графита или каолина сцеживают, отжимают и сушат раздельно. По мере накопления однородные порции вторично загружаются в шаровые мельницы и снова проходят весь процесс отсеивания и отмучивания в целях «созревания» массы, т. е. получения полной однородности частиц по составу и по зернистости, что чрезвычайно важно для качества карандаша. В последнее время наилучшим графитом считается цейлонский серебристый; хорош по своему качеству и наш курейский (Сибирь) графит, но он требует много повторных процессов отмучивания и размалывания, т. к. не совсем однороден по своему составу и содержит примеси пустой породы. Наряду с естественным (горным) графитом в К. п. стал применяться и искусственный, получаемый в электрическ. печах графит (способ Ачесона), дающий прекрасные результаты для мягких сортов мины в силу своей однородности и мелкозернистости.

Смешение и размол сырья. Очищенное и подготовленное сырье, в зависимости от марки мины по жесткости, смешивают друг с другом в определенной весовой пропорции. Средняя смесь по жесткости получается при смешении 65% графита с 35% каолина. Бо́льший процент каолина обыкновенно увеличивает жесткость мины; уменьшение каолина в смеси делает карандаш более мягким. Рецептура разрабатывается чисто опытным путем, при чем жесткость мины зависит не только от соотношения графита и каолина, но и от всех последующих процессов, особенно обжига и жирования мины. Жесткость мины определяют и различают по способности карандаша, при одной и той же силе нажима, давать однородную по расцветке и толщине линию. Жесткость карандашей с черной (графитной) миной имеет следующую классификацию (стандарт), к-рая обозначается литерами: литера В—показатель мягкости, литера Н—показатель жесткости. Из сочетания этих литер составлена целая шкала жесткости или твердости карандаша. Средняя жесткость обозначается знаком НВ. Усиление мягкости или твердости обозначается цифрами перед литерой символа, напр.: мягкие сорта обозначаются В, 2В (или № 2 по более упрощенной классификации), 3В, 4В (или № 1), 5В, 6В. В сторону усиления твердости от среднего сорта НВ идет сначала специальный сорт F (канцелярский карандаш, или № 3), дальше идут Н, 2Н (или № 4), 3Н, 4Н (или № 5), 5Н, 6Н (или № 6), 7Н, 8Н; 9Н обозначает самый жесткий карандаш по твердости графитной мины. Наиболее полная шкала дает, т. о., 17 сортов графитной мины по жесткости. Сокращенная шкала дает 6 сортов. Техника выработки полной шкалы заключается главн. образом в повторном отмучивании графита и каолина (до 12—14 раз), тщательном размоле и сортировке сырья. Для получения мягкого или жирного помола, кроме шаровых мельниц, употребляют так называемые *коллоидные мельницы* (см.), работающие более экономно в отношении затраты рабочей силы. После смешения и размола смеси графита и каолина массу отжимают в фильтр-прессах, а затем помещают в сушильные камеры для окончательн. досушки.

Просеивание и прессование смеси. Высушенную смесь пускают уже под № или маркой в дальнейшее производство, для чего смесь опять размалывают и запрaвляют в месильную машину для замешивания с добавлением воды в однородную густую пластическую массу (тесто). Тесто сначала пропускают через гидравлич. разминатель, где масса под сильным давлением проходит через ряд мелких отверстий в 1—2 *мм*, иногда по нескольку раз, при чем масса из цилиндра должна выходить сплошной гладкой глянцевитой нитью без пропусков и задиров, что является признаком массы, спелой и готовой для приготовления мины.

Формовка мины. Готовую массу загружают в стакан формовочного пресса, снабженного специальным формовочным мундштуком, через который при давлении ~150 *atm* и выше масса выходит в виде бесконечной нити, подхватываемой и обрываемой по размеру или двумя рабочими вручную или автоматически для укладки на ровняльные доски (размерами 650×320 *мм*). После легкой подсушки мину разрезают на отдельные стерженьки по длине карандаша с нек-рым припуском (4—5 *мм*), подравнивают вручную и помещают в сушильные шкафы для окончательной просушки. Режим сушки д. б. мягкий, для того чтобы мина при высыхании не давала ни коробления ни трещин (волосных).

Обжиг мины. Высушенную мину складывают в графитные тигли-ящики пачками, пересыпают порошкообразным древесным углем, закрывают крышкой, к-рую по шву обмазывают глиной для прекращения доступа воздуха и огня и направляют в специальную печь для обжига. Тигли в печи при обжиге двигаются автоматически вдоль пода печи и проходят три фазы: а) подогрева, б) собственно обжига и в) остывания. Температура в каждой зоне держится особая, обжиг происходит при $t°$ 1 100÷1 200°, благодаря чему мина получает известную крепость и упругость.

Жирование мины. После охлаждения тиглей, по выходе их из печи, крышки снимают, и мина поступает в автоклавы для жирования. Процесс жирования производится для придания мине нек-рой жирности, для равномерности линии и лучшего скольжения карандаша по бумаге при письме. Жирование производится в автоклаве пропиткой мины под давлением японским воском, стеарином, парафином, говяжьим салом и другими жировыми веществами по специальным рецептам. Процесс жирования ведут следующим образом: графитные мины укладывают в автоклав пачками, вертикальными рядами. По установке вакуума (около 100 *мм*) автоклав заполняют жировым веществом и повышают давление до 4—5 *atm* при $t°$ 120—150°. После полной пропитки графитной мины жиром, последний выпускают и по открытии крышки автоклава дают жиру окончательно стечь, после чего графитную мину очищают опилками и сортируют. Сортировка мины производится на прямизну и правильный размер по длине. Сломанную и искривленную мину режут и затачивают на короткий вставной графит для карандашных ручек. Отсортированный графит идет в клеильное отделение на вклейку в дерево.

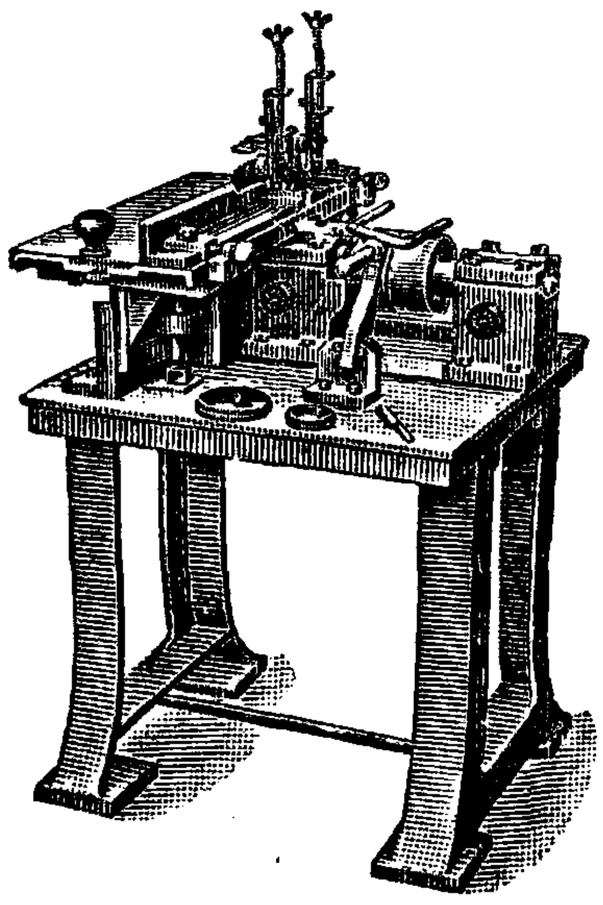
Цветная мина идет на цветные карандаши для рисования и расцветки рисунков и чертежей. Подготовка сырья очень сходна с производством графитной мины. Вместо графита с каолином замешивают минеральные тщательно измельченные в порошок (пудру) краски. Процесс обжига выпадает. Краски при измельчении смешивают в разные оттенки. Существуют школьные наборы в 12 цветов, а для художников и техников набор составляют из 60 тонов. Примерные рецепты составления смеси для цветной мины следующие: синий цвет—80% каолина, 18% берлинской лазури, 2% траганта; красный цвет—86% каолина, 12% красной пигментной краски, 2% траганта; зеленый цвет—52% каолина, 40% хромовой желтой, 6,5% берлинской лазури, 1,5% траганта. Каолин для цветных мин требуется особенно тщательной очистки и правильного белого цвета, чтобы не портить чистоты тона. После составления цветную смесь еще раз тщательно размалывают на шаровой мельнице и направляют в месильную машину, где к массе добавляют трагантовую камедь как связующее вещество. Из месильной машины массу закладывают в пресс, выдавливают через мундштук, принимают на ровняльную доску, откуда масса поступает на стеллажи для воздушной сушки на несколько суток. Сухая мина разрезается по длине карандаша и идет в автоклав на жирование японским воском (доставляемым растением Rhus succedanea). Этим процесс заканчивается, и мина идет в сортировку.

Копировальный графит изготовляют из графита, талька и анилиновых красок. Изготовление не требует обжига и жирования. Для связи употребляют, как и для цветной мины, трагантовую камедь. Рецепты изготовления смеси копировального карандаша: черного цвета—65% графита, 30% метил-виолета, 5% траганта; фиолетового цвета—70% талька, 25% метил-виолета, 5% траганта. Сушка воздушная. При изготовлении копировального графита необходимо обращать серьезное внимание на тщательную изоляцию от анилиновой пыли, особенно, если готовят в том же корпусе и цветные мины. Пыль анилиновых красок также сильно вредит при отделочных процессах (полировка и лакировка карандаша).

Производство самого карандаша. Качество карандаша зависит не только от мины, но в значительной степени и от правильного выбора древесины для обкладки мины. Древесина как сырье для К. п. должна удовлетворять следующим свойствам: а) быть легкой и достаточно мягкой, б) отличаться одинаковым сопротивлением резанию как вдоль, так и поперек волокна, в) иметь блестящий, не лохматый излом и поверхность среза и г) иметь темную не маркую окраску. Лучшими породами для карандашного производства считаются можжевельники разных видов, особенно виргинский можжевельник (Juniperus virginiana) в Соединен. Штатах Америки. Этот вид можжевельника долгое время почти исключительно шел на

выработку карандашной дощечки. Усиленный спрос создал в последнее время кризис на J. virginiana, т. к. все б. или м. крупные запасы его оказались вырубленными. Кроме виргинского можжевельника, к-рый в продаже известен под названием кедра, на обделку карандашей идут следующие породы: Juniperus Oxycedrus—красный кедровый вереск, карандашное дерево (Кавказ, М. Азия); J. excelsa (Кавказ, М. Азия), или гималайский кедр; J. foetidissima (Кавказ); Cedrela odorata (Вест-Индия); J. Bermudiana (Вест-Индия, Флорида); J.Sabina—казачий можжевельник (Туркестан), арча (древесина последнего более твердая и свилеватая); J. procera (вост. Африка), муангати, или узамборский кедр; Phillyrea latifolia (побережье Средиземного моря), каменная липа; древесина хотя и тяжелая (0,92), но пригодна для карандашей. В качестве суррогатов карандашного дерева идут: липа (T. parvifolia), пихта (Abies lasiocarpa и balsamea — С. Ш. А., Ab. sibirica), разные виды тополей, кедр (Pinus cembra — Сибирь), веймутова сосна (Pinus strobus) или белая сосна—С. Ш. А., ольха (Alnus glutinosa). Все породы, употребляемые в К. п., обычно морят под цвет виргинского можжевельника, но применяют и черную протраву (Германия).

Подготовка древесины. Карандашную древесину обычно заготовляют короткими кряжами (1 и 2 *м*). Кряж распиливают на чурки длиной 185 или 370 *мм* (т. е. двойной длины). Чурки поступают на продольноциркульный станок, на котором они распускаются сначала на двойные дощечки, размером 185 × 56 × 15 *мм*. Направление распиловки гл. образ. радиальное при вырезке центральной, сердцевинной части. Распиленная двойная дощечка м. б. нормальной ширины (56 *мм*), так наз. шестерка, потому что из дощечки такой ширины выходит 6 карандашей. Двойная дощечка поступает в воздушную сушку в сложенном в клетки виде под грузом, во избежание коробления. Дощечка, высушенная до пределов «устойчивой» влажности, т. е. до 14—16% абсолютной влажности, поступает на специальные распиловочные (фиг. 1) циркульные роспускные станочки с полуавтоматич. подачей материала, на к-рых двойная дощечка распиливается вдоль на ординарные дощечки размером 185×56×5÷6 *мм*. Толщина дощечки несколько варьирует в зависимости от размера усушки древесины. Распущенную ординарную дощечку сортируют по качеству и опиливают по ширине либо на шестерки либо на недомерки—пятерки, четверки и тройки и направляют на промежуточный склад. Сучок, трещины, косослой



Фиг. 1.

(5% отклонения от нормали) и гниль считаются за брак. Пропитка (морение) дощечки. Подготовленную так. образ. дощечку обычно подкрашивают под нормальную окраску виргинского можжевельника (красновато-коричневый тон) или другой темный цвет. Карандашные ф-ки далеко не всегда ведут подготовку древесины самостоятельно, чаще ф-ки получают заготовку со стороны либо в естественной окраске либо в виде мореных и прожированных дощечек; последнее бывает редко и не иначе как по специальному заказу. Пропитку (морение) дощечки ведут в автоклавах. Сухую дощечку укладывают в особую металлическую клетку, загружаемую в автоклав непосредственно. Укладка дощечки должна предусматривать свободное омывание дощечки раствором краски; лучший способ укладки—в елочку. Раствор анилиновой краски (коричневая кедровая) д. б. отфильтрован перед употреблением в дело, т. к. нерастворимый осадок, покрывая поверхность дощечек, сильно затрудняет пропитку. Иногда, особенно при употреблении суррогатных пород, процесс пропитки соединяется с процессом жирования дощечки. Жирование делают с целью смягчить древесину в карандаше и придать ей блеск в разрезе. В качестве мягчительных средств употребляют: парафин, ализариновое масло, монопин и пр. Если приходится иметь дело с настоящим кедром (P. cembra), липой (T. parvifolia) и другими суррогатными породами, перед вводом мягчительных средств хорошо предварительно обработать дощечку щелочью; последнюю применяют также для удаления смол и облегчения процесса пропитки красками (морение). Раствор щелочи берут крепостью 2—5° Bé. Обработку ведут под давлением (2—3½ *atm*) и при высокой темп-ре (70—90°) раствора. Перед введением щелочи или краски древесину сначала пропаривают под давлением 1,5 *atm*, затем дают вакуум до 12—15 *мм* рт. ст. и, наконец, вводят раствор щелочи или краски. После обработки щелочью древесину тщательно промывают водой. Жирование дощечки также производят под давлением после удаления излишков раствора краски вакуумом.

Сушка дощечки. Окрашенная и прожированная дощечка непосредственно из автоклава переводится в сушильные камеры для искусственной подсушки древесины. Конечная влажность для древесины требуется 6—8% абс. влажности, т. к. иначе дощечка при выработке карандаша после склейки может покоробиться. Режим сушки характеризуют табл. 1 и 2.

Табл. 1. — Режим сушки можжевельника (кедра) толщиной до 25 *мм*.

Влагосодержание в %	*t*° сухого термометра	*t*° мокрого термометра	Относит. влажность в %
Начальное . . .	60	53	70
20	65	52	50
15	68	51	40
10 и ниже . . .	71	46	25

При неправильной сушке отделяются слои заболони. Смолистые вещества (сандарак),

содержащиеся в кедровой древесине, испаряясь вместе с водой, являются причиной ошибок при определении содержания влаги. Ошибка колеблется в пределах 2—3%, доходя до 5%.

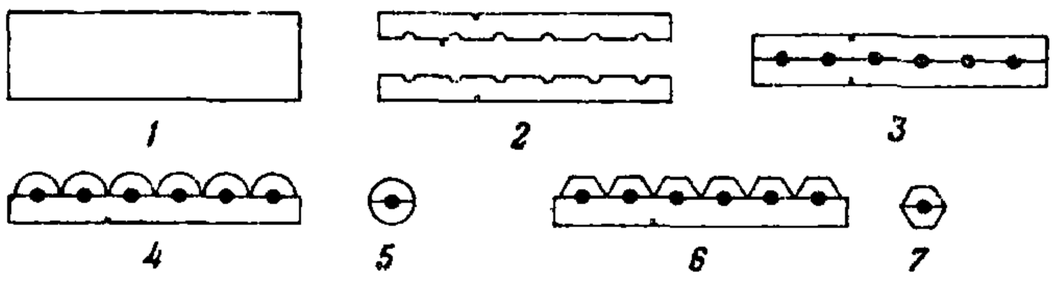
Табл. 2.—Режим сушки липы толщиной до 25 *мм*.

Влагосодержание в %	*t*° сухого термометра	*t*° влажн. термометра	Относит. влажность в %
40	60	55	80
40	63	57	75
30	65	58	70
25	68	57,5	60
20	71	57	50
15	74	52	35
10 и ниже . . .	77	41	20

Режим сушки дощечки д. б. мягким, особенно для можжевельника, т. к. присутствие в древесине сандарачных смол сильно затрудняет сушку. По выходе из сушилки дощечки выгружают из клеток и сортируют по качеству и размерам. Дощечки с трещинами и покоробленные бракуют.

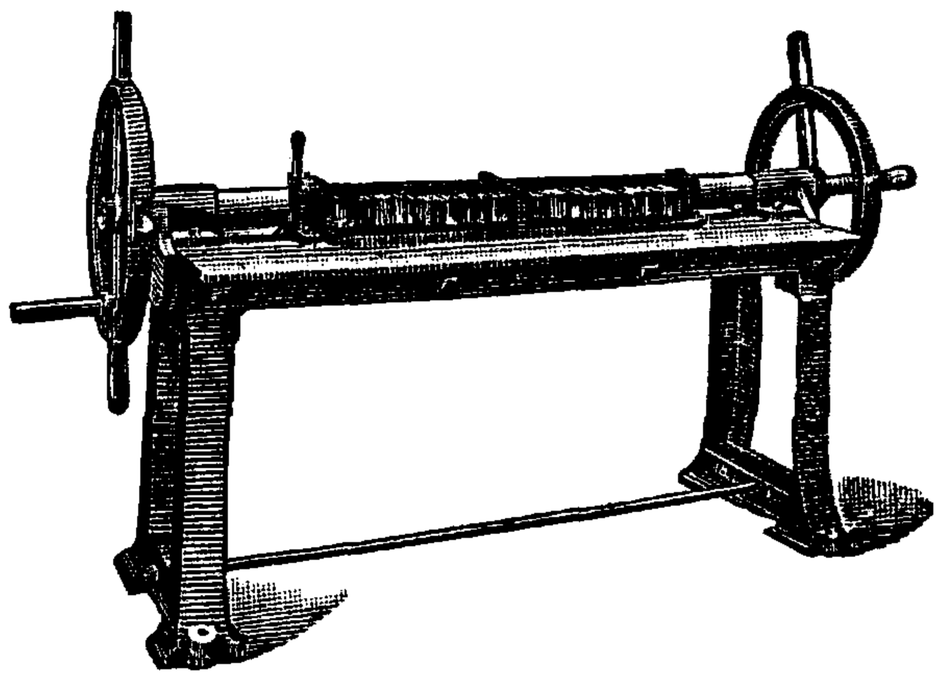
Строжка и дорожение дощечки. Отсортированная дощечка поступает на специальные автоматич. фрезерные станки, которые производят одновременно офуговку одного ребра, острожку и продорожку одной из пластин дощечки. Продорожка заключается в проведении параллельных желобков, соответствующих оси будущего карандаша, куда укладывается мина. Для того чтобы все последующие операции дали полное совпадение по оси карандаша, на противоположной пластине дощечки фрезерная пила проводит особую направляющую бороздку, по которой и ведется фрезеровка дорожки, а впоследствии и тела карандаша. Этот станок требует тщательной регулировки и установки режущих инструментов, т. к. неточность установки создает искусственный брак при вырезке тела карандаша, так наз. эксцентричность мины. Дощечки подают вручную пачками в магазин станка, откуда они автоматически проходят по очереди через станок и автоматически выбрасываются с другой стороны.

Закладка мин и склейка дощечек. Эти два процесса обычно соединены в одну операцию (фиг. 2). Существуют два способа производства этой операции. Первый (устарелый) заключается в том, что половина



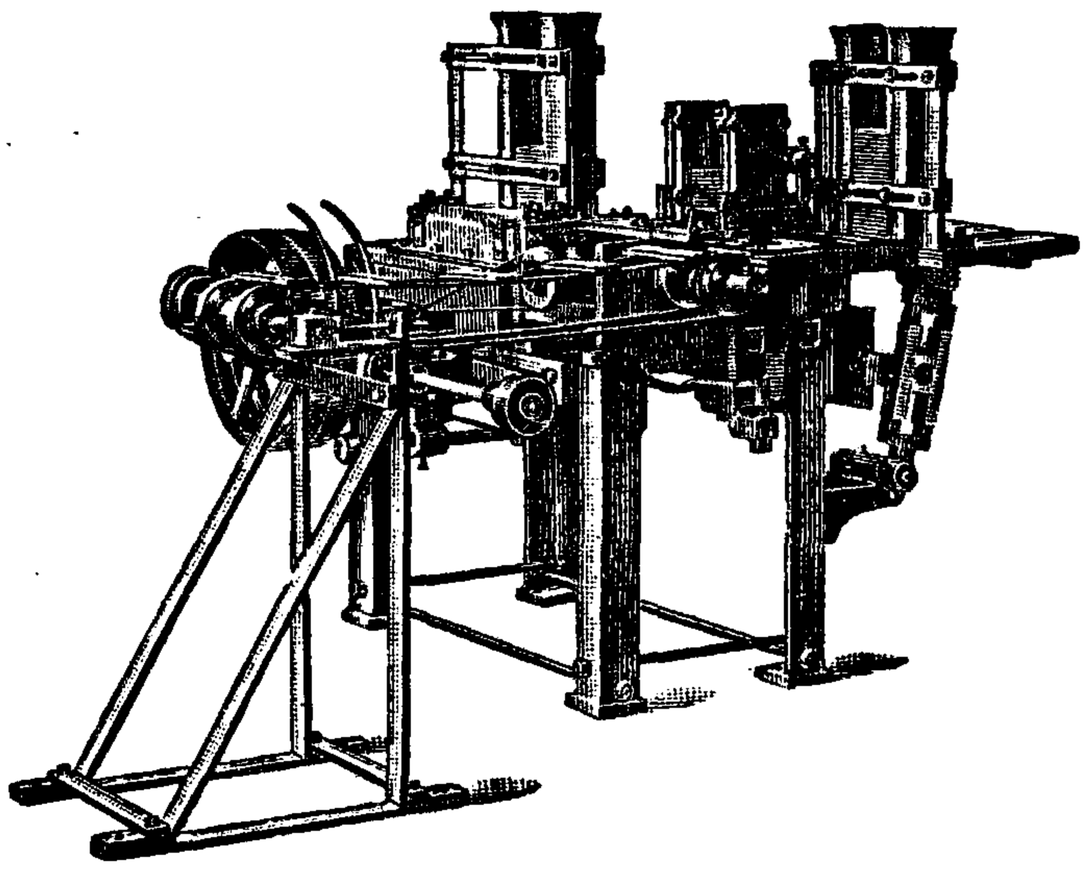
Фиг. 2.

продороженных дощечек поступает на клеильную машину со стороны намазывательного приспособления и передвигается транспортером по столу, по обеим сторонам которого размещены рабочие. Около рабочих одного ряда помещаются вторые половины дощечек, около рабочих второго ряда—отсортированные мины. Последние рабочие снимают с цепей намазанные клеем дощечки, вставляют в желобки вручную мины, для чего требуется особая квалификация, и кладут дощечки с минами обратно на тот же транспортер. Рабочие, сидящие напротив, накладывают вторые дощечки т. о., чтобы направляющие борозды совпадали. Соединен. дощечки снимает со стола рабочий, на котором лежит обязанность уложить склеенные дощечки в сулаги (фиг. 3) для



Фиг. 3.

сушки в зажатом виде. Сушка продолжается обычно одни сутки. Консистенция клея и густота намазки оказывают существенное влияние на распределение влаги в карандашной заготовке; последняя должна находиться 5—6 дней на выдержке в промежуточном складе. Второй способ (современный) дает возможность закладку мин производить на склейном автомате (фиг. 4).



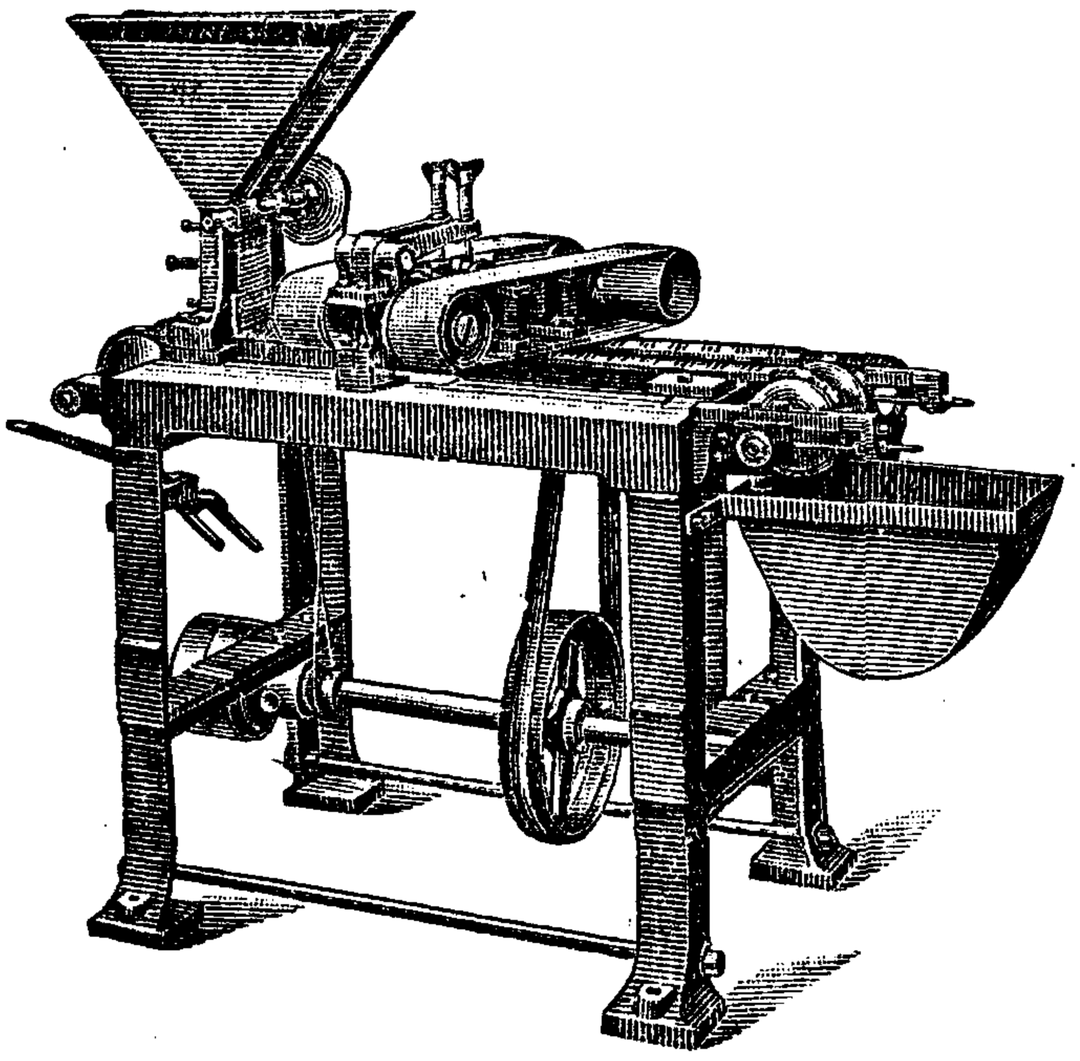
Фиг. 4.

Автомат имеет три загрузочных бункера, при чем в 1-й укладывают дощечки желобками кверху, во 2-й помещают мины, в 3-й укладывают дощечки желобками вниз. При пуске автомата в ход первый шибер проталкивает дощечки из первого бункера ко второму шиберу, к-рый с своей стороны толкает дощечку до тех пор, пока мины не войдут в желобки дощечки; из 3-го бункера выходящая вторая дощечка смазывается клеем и покрывает поверхность первой дощечки, после чего обе дощечки спрессовываются в сулагах. Работа на автомате, помимо точной обработки дощечки, требует ровной, тщательно подсортированной мины, не требует от рабочих никакой квалификации и значительно сокращает число рабочих по сравнению с первым способом (12—14 человек).

Обрезка и заравнивание концов карандашной заготовки. Карандашная заготовка по выходе из сулаги подвергается заравниванию концов точно на длину карандаша, для чего заготовки пропускают на карусельном концеравнительном станке. При вращении карусели с заготовками концы последних проходят между двумя быстро вращающимися дисками с натянутой стеклянной или кремневой бумагой, которая равняет и сглаживает концы заготовок. Эти станки обычно сильно пылят, поэтому они д. б. установлены в специальном, изолированном от остальных отделений помещении с хорошо устроенной вентиляционной вытяжкой (эксгаустер). Необходимо, кроме того, при выводе вентиляционной трубы наружу обеспечить проводку отсоса через воду для осаждения графитной, а в особенности цветной пыли в целях обеспечения надлежащей чистоты выходящего воздуха. Особенно это условие необходимо соблюдать, если на фабрике работают с метил-виолетом (копировальный графит).

Фрезерование тела карандаша. С концеравнительного станка заготовки поступают на специальные фрезеровально-строгальные станки с полуавтоматич. подачей, где заготовка проводится последовательно два раза согласно направляющей бороздке под фрезерной головкой, к-рая разделяет заготовку на отдельные карандаши—круглой, шестигранной или овальной формы. Нормальная заготовка, как сказано выше, дает сразу 6 карандашей, маломерки—иное количество (5—4—3).

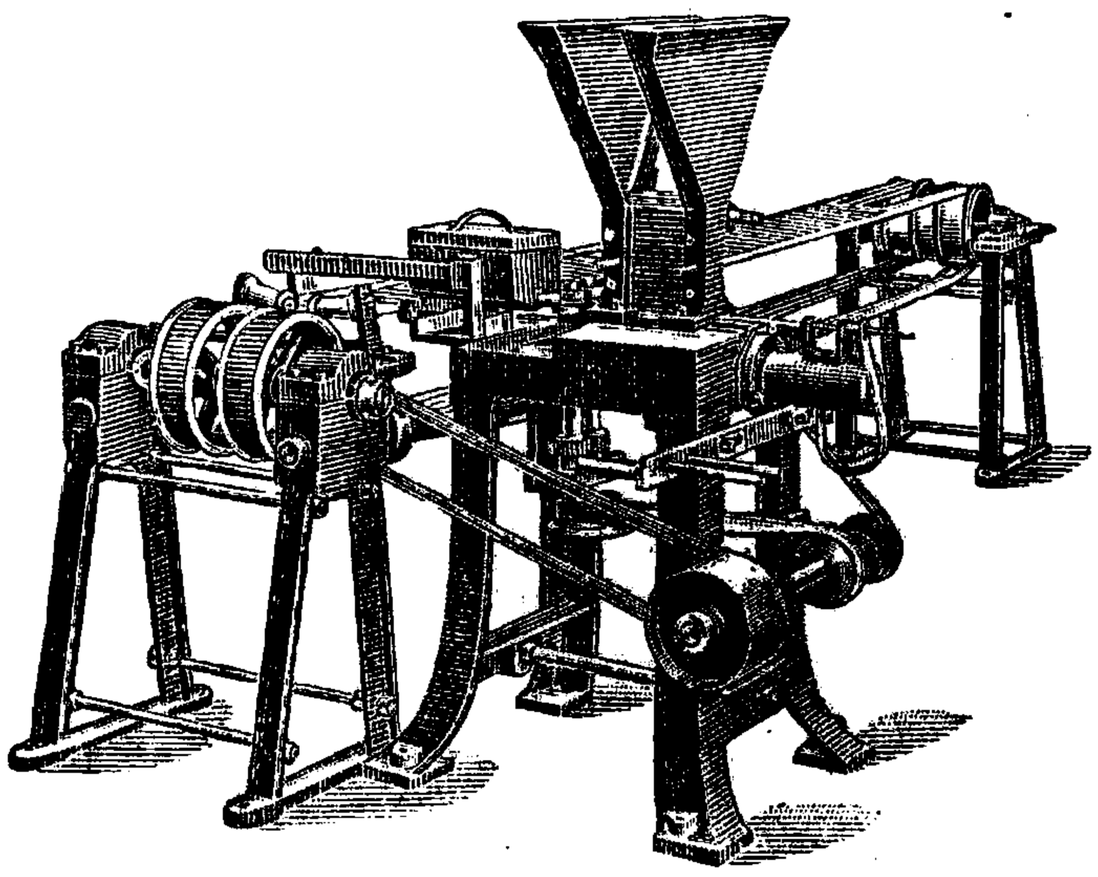
Шлифовка карандаша (хощевание). Остроганный карандаш, в зависимости от сорта, либо сразу идет на клеймовку и дальше на упаковку (столярный



Фиг. 5.

карандаш) либо поступает на предварительную шлифовку. Последнюю производят на специальных ленточно-шлифовальных станках (фиг. 5). Шлифовка может производиться вдоль оси карандаша или поперек. Станки имеют автоматич. подачу. Шлифовка производится стеклянной лентой (шкуркой) мелких номеров (0, 00, 000, 0000). Шлифовочное отделение также д. б. совершенно изолировано от остальных помещений и снабжено вентиляцией. Перед шлифовкой, а иногда и после нее, карандаш бракуют на качество отделки. Заусенцы, задиры, трещины, плохая склейка, эксцентричность образующей и мины не допускаются.

Отделка карандаша. Для так наз. школьных карандашей употребляется натуральная отделка при помощи шлифовальных барабанов, вращающихся с тонко размолотыми опилками мягких лиственных или



Фиг. 6.

хвойных пород, сухих или пропитанных парафином или воском. Эта отделка носит название лощения, или прозрачной отделки. Существует полупрозрачная отделка шеллаком. При этом способе спиртовой раствор шеллака смешивают с анилиновой краской (б. ч. темнокрасного цвета) и этим раствором сначала производят полировку или подгрунтовку карандаша на специальных полировочно-грунтовочных автоматах (фиг. 6). После полировки карандаш лакируют светлым шеллачным лаком. Более современная отделка карандаша — цветная. Цветной карандаш имеет наружную отделку цвета мины. Графитный черный карандаш, рисовальный, имеет чаще всего яркожелтую отделку. Основанием для полировки при этом способе отделки служат ацетилцеллюлозный лак или нитрат-лаки, при чем сначала карандаш грунтуют матовой грунтовкой. Грунтовку изготовляют путем смешения ацетилцеллюлозного лака с минеральной краской соответствующего цвета и полученную смесь тщательно растирают. Густотертый лак служит для грунтовки. Окончательную полировку производят тем же лаком, но в чистом виде. Эти сорта лака дают очень ровный и высокий по качеству и блеску глянец, в виду чего в последнее время его предпочитают остальным отделкам. Грунтовочно-полировальные машины снабжены бункерами, куда ссыпаются шлифованные карандаши. При пуске автомата в ход карандаши один за другим проводятся кулачковым распределителем в выходную щель бункера, откуда они специальным шпинделем непрерывно подаются в мундштук грунтовочно-полировального ящика и выходят через второй мундштук, покрытые со всех сторон грунтовкой или лаком. Как входное, так и выходное

отверстия мундштуков имеют кольца из мягкого войлока для предотвращения вытекания лака из ящика и для снятия лишнего слоя с карандашей при их выходе. Выходящие карандаши падают на поперечный транспортер, медленно продвигающий карандаши через сушильный канал. В конце транспортера ставится ящик, куда карандаши автоматически падают. Каждый карандаш проходит грунтовочные станки последовательно 4—6 раз, а через полировочные станки 2—4 раза, чем процесс полировки карандаша и заканчивается.

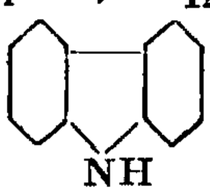
Зачистка и шлифовка концов. Т. к. карандаши при полировке выходят с заплывшими концами (грунтовкой и лаком), то их пропускают через карусельные станки для зачистки и шлифовки концов. Карандаши засыпают в приемный бункер, откуда они автоматически захватываются крючками вращающейся фасонной матрицы и, вращаясь вместе с нею, проходят мимо шлифовального диска и фрезера, к-рые зачищают концы от грунтовки и политуры и шлифуют их. Пройдя диск и фрезер, карандаши автоматически падают в ящик.

Сортировка. Полированные с зачищенными концами карандаши вновь сортируют и сосчитывают, после чего они поступают на клеймение.

Клеймение карандашей. Станок для нанесения клейма состоит из приемного бункера, подающей фасонной шины и клейма. Карандаши ссыпаются в воронку, откуда по очереди проталкиваются на фасонную шину. Клеймо помещается над шиной в особой подвижной оправе, двигающейся вверх и вниз. Над карандашами тянется рольная полоска (лента) бумаги, покрытая снизу бронзой. Через равные промежутки оправа клейма при посредстве кулачка надавливается книзу и давит на клеймо, которое клеймит карандаш через полосу бумаги, благодаря чему рисунок и надпись клейма на карандаше бронзируются.

Упаковка карандашей. После клеймения карандаши связывают дюжинами или просто укладывают в коробки, оклеивают этикеткой фирмы, затем упаковывают в ящики по 50 гросс в каждый и отправляют на склад. **Г. Байер и М. Квятковский.**

КАРБАЗОЛ, иминобифенил, дибензопиррол, $C_{12}H_9N$, находится в каменноугольном дегте; выкристаллизовывается вместе с антраценом, из которого может быть выделен перегонкой сырого антрацена над KOH; карбазол остается в виде карбазолкалия:



$$C_6H_4 \diagdown NK,$$
$$C_6H_4 \diagup$$

откуда выделяют К. действием кислот. К. образует бесцветные блестящие листочки с $t°_{пл.}$ 238°, $t°_{кип.}$ 354—355°, легко возгоняется, мало растворяется в бензоле, эфире и хлороформе, лучше растворяется в абсолютном спирте. В химич. отношении представляет собой слабое основание, дает постоянную соль только с пикриновой кислотой; пикрат К. — красные призмы с $t°_{пл.}$ 186°. Подобно пирролу, К. окрашивает сосновую лучинку, смоченную HCl, в красный цвет; с изатином и H_2SO_4 дает синее окрашивание. К.—очень стойкое соединение по отношению к к-там и щелочам. В последнее время в красочной промышленности К. имеет большое значение как исходный материал для получения ценных *гидроновых красителей* (см.). В технике его получают из остатков после перегонки антрацена и очищают перегонкой.

Лит.: Ворожцов Н. Н., Ступени в синтезе красителей, Л., 1926.

КАРБАМИНОВАЯ КИСЛОТА, неполный амид угольной к-ты, $OC\begin{matrix}NH_2\\OH\end{matrix}$; в свободном состоянии К. к. неизвестна, изучены ее соли, эфиры и хлорангидрид. Аммонийная соль, $NH_2 \cdot CO \cdot ONH_4$, получается при действии сухого углекислого газа на сухой газообразный аммиак: при пропускании смеси этих газов в охлажденный абсолютный спирт соль выпадает в виде кристаллич. порошка; при нагревании в запаянной трубке она распадается на мочевину и воду:

$$NH_2 \cdot CO \cdot ONH_4 = NH_2 \cdot CO \cdot NH_2 + H_2O;$$

при нагревании на воздухе она распадается на аммиак и углекислый газ. Эфиры К. к., уретаны, образуются при взаимодействии эфиров угольной или хлоругольной кислот с аммиаком. Уретаны—стойкие бесцветные, хорошо кристаллизующиеся соединения, применяемые в медицине (обладают снотворным действием).

КАРБИД КАЛЬЦИЯ, CaC_2, твердое кристаллич. вещество, уд. веса от 2,2 до 2,28; $t°_{пл.}$ точно не установлена и указывается в пределах 1 850÷2 300°. Излом технич. К. к., в зависимости от условий получения, меняется от землистого до ярко выраженного кристаллического; различен бывает и цвет его, изменяющийся от серого до блестяще-черного, часто опалесцирующего; химически чистый продукт бесцветен.

Химические свойства. Строение молекулы К. к. выражается ф-лой $Ca\begin{matrix}C\\\|\|\\C\end{matrix}>$; в отсутствии влаги при обыкновенных $t°$ металлы и кислород воздуха на него не действуют; при этих же условиях слабо действуют на него и крепкие кислоты. При высоких $t°$ химич. активность К. к. повышается, и при $t°$ ок. 1 000° он вступает в химич. взаимодействие даже с азотом по ур-ию:

$$CaC_2 + N_2 = CaCN_2 + C$$

(см. *Цианамид кальция*). При взаимодействии с водой К. к. даже на холоду разлагается с бурным выделением ацетилена, C_2H_2; реакция сопровождается выделением большого количества тепла и выражается ур-ием:

$$CaC_2 + 2H_2O = C_2H_2 + Ca(OH)_2 \quad + 414{,}6 \text{ Cal.}$$

Указанная реакция идет даже под влиянием атмосферной влаги, при чем куски К. к. покрываются слоем гашеной извести, которая сообщает им светлосерый цвет; в виду этого К. к. должен храниться только в герметическ. упаковке. 1 *кг* химически чистого К. к. дает 406,25 *г* ацетилена, к-рый при 0° и 760 *мм* Hg занимает объем в 348,7 *л*.

Впервые К. к. был получен Геру в 1840 г. при опытах с электрич. печью; Вёлер, получивший более значительное количество К. к. в 1862 г. при сплавлении кальция с углем, имел возможность изучить его свойства. В 1890 г. Муассан получил К. к. при плавлении в электрич. печи негашеной извести, к-рая давала упомянутый продукт, вступая во взаимодей-

ствие с углем электродов печи. В 1894 г. сотрудником Муассана, Бюлье, был заявлен во Франции первый патент на промышленный способ получения К. к., который в основе и до сих пор остается тем же. В том же году была построена первая электрическая карбидная печь, и тем положено начало производству карбида кальция, которое в настоящее время выражается в млн. *m*.

Современное промышленное производство К. к. основано на восстановлении окиси кальция при высоких *t*° углеродом и взаимодействии восстановленного кальция с углем. Этот процесс отвечает следующему ур-ию:

$$2CaO+3C_2=2CaC_2+2CO \quad -210700\ Cal.$$

Реакция эта сильно эндотермична, а потому может итти только в присутствии интенсивного источника тепла, каким является вольтова дуга электрич. печи. Реакция представляет собою обратимый процесс. Система моновариантна: каждой *t*° при равновесии соответствует определенная упругость CO. Какова минимальная *t*°, при к-рой начинается образование К. к., с точностью не установлено; большинство исследователей считают, что она лежит между 1 800 и 1 900°. При *t*° ок. 2 500° плавится известь; в расплавленном состоянии последняя служит растворителем для карбида, что значительно облегчает дальнейший ход реакции. Сам К. к. в условиях его образования в печи имеет тестообразную консистенцию и только при дальнейшем повышении *t*° становится жидким. При очень сильном перегреве образовавшийся К. к. разлагается по уравнению:

$$CaC_2=Ca+2C.$$

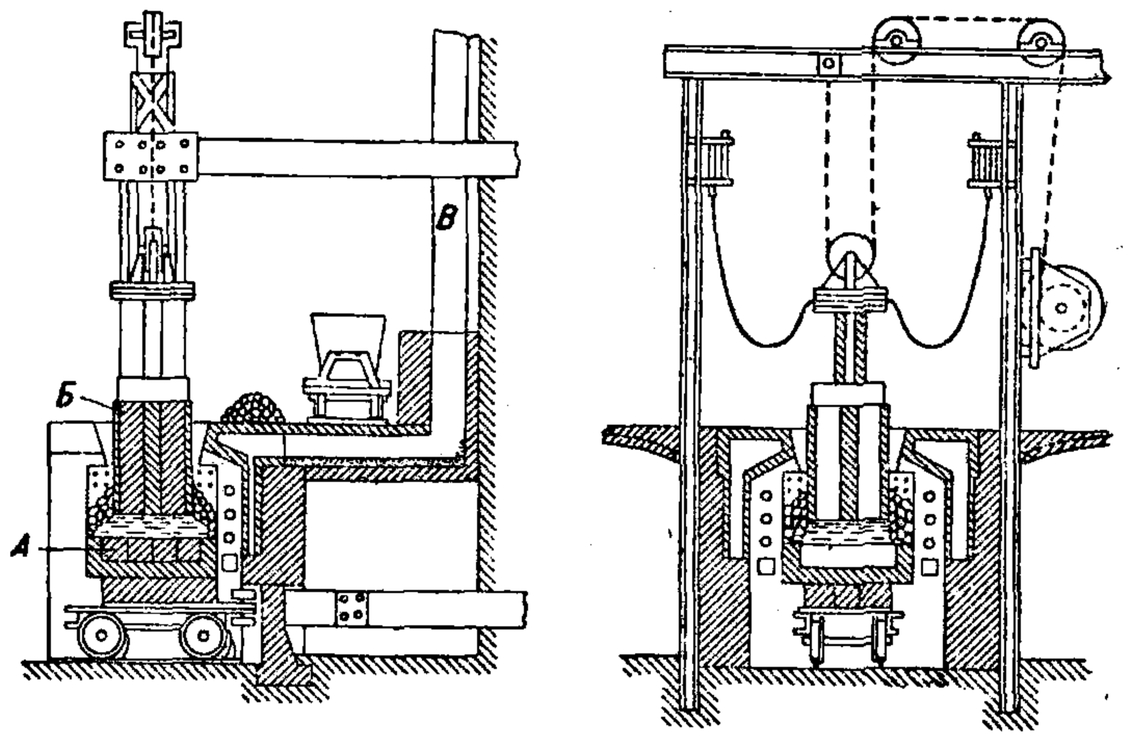
Особенностью производства К. к. является отсутствие побочных продуктов, т. к. примеси, содержащиеся в исходных материалах (если количество их не превосходит известной границы), растворяются в образовавшемся карбиде, не вредя его технич. качествам и лишь несколько понижая процентное содержание CaC_2, а вследствие этого и выход ацетилена.

Теоретически для получения К. к. может служить и углекислый кальций, но на практике он не применяется из-за излишнего расхода электродов и энергии, вызываемого следующими эндотермич. реакциями:

$$CaCO_3=CaO+CO_2 \text{ и } CO_2+C=2CO.$$

Для производства К. к. служит исключительно негашеная известь, которая в большинстве случаев получается тут же на карбидных з-дах, разрабатывающих близлежащие залежи известняков. Известняк, идущий в обжиг, д. б. относительно чистым и содержать во всяком случае не меньше 97% $CaCO_3$ с тем, чтобы в полученной из него жженой извести заключалось не более 4—5% примесей в виде SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3. Наиболее неприятной является примесь MgO, присутствие к-рой в количестве 3—4% может заметно уменьшить производительность печей и даже вызвать их остановку, т. к. магнезия не образует карбида с углеродистыми материалами и затрудняет растворение К. к. в извести; содержание MgO в известняке не должно превышать 0,5%. Фосфаты и сульфаты могут содержаться только в виде следов; максимально допустимым считается: 0,01% для фосфатов и 0,3% для сульфатов. Эти примеси известняка целиком переходят в карбид в виде фосфористого и сернистого кальция—примесей, чрезвычайно нежелательных при использовании К. к. Обожженная известь, идущая в производство, д. б. в виде достаточно плотных, не легко выветривающихся кусков; лучше всего употреблять ее в дело сейчас же по выходе из печи, раздробив на куски размером 50—60 *мм* с возможно меньшим содержанием пыли.

Углеродистый материал для карбидного производства должен быть также очень чистым, что способствует правильному ходу



Фиг. 1.

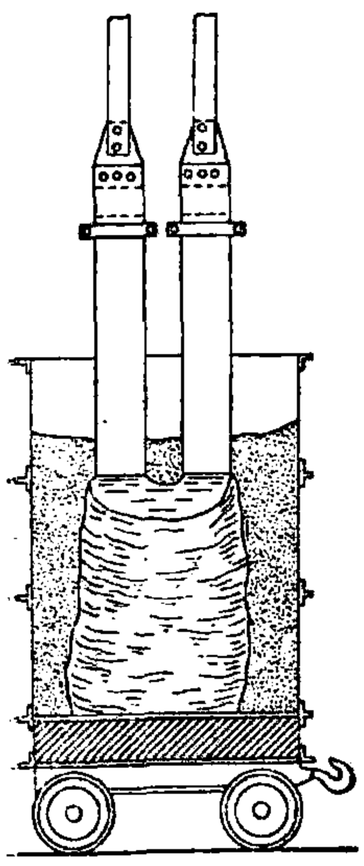
печи и повышению кпд. Применяют или малозольный антрацит или газовый кокс с минимальным содержанием золы. До войны 1914—18 гг. максимальной нормой содержания золы считалось 9%; в настоящее время допускают нек-рое превышение этой нормы, но по возможности оно д. б. минимальным.

Кокс, прибывающий с газовых з-дов очень сырым, предварительно тщательно просушивают до содержания влаги в нем ниже 1%; на крупных з-дах просушивание кокса производят во вращающихся сушилках. Газовый кокс очень электропроводен и порист, что позволяет ему легко реагировать с известью. Древесный уголь, особенно твердых пород, также является превосходным сырьем для карбидного производства, т. к. он порист, содержит мало золы и вредных примесей; он увеличивает кпд карбидной печи и дает продукт высокого качества, но по экономическим причинам применение его ограничено. Антрацит очень плотен, трудно реагирует и пригоден только при работе на мощных печах. При небольшом содержании золы (иногда ок. 5%) он имеет преимущество перед коксом.

Фосфор и сера в углеродистом материале менее вредны, чем в извести, т. к. значительная часть их при процессе улетучивается; поэтому в углеродистом материале допустимо содержание фосфора до 0,01—0,02%, а серы—до 1,25%. Чем чище известь, тем больше примесей можно допустить в углеродистом материале.

К а р б и д н ы е п е ч и. Во избежание явлений электролиза в карбидных печах применяют переменный ток. В зависимости от рода установки питают печи либо однофазным либо трехфазным током. По принципу работы карбидные печи делятся на: а) печи периодич. действия, из которых К. к. извлекают в твердом состоянии, после остывания, б) печи непрерывного действия, из которых продукт выпускают в расплавленном виде через особое выпускное отверстие.

Периодическ. работа, с образованием в печи застывшего блока К. к., характерна для первоначального периода карбидной промышленности и в настоящее время почти не применяется. Первые карбидные печи строились мощностью в 100—300 kW и имели вид небольших четырехугольных железных тиглей, установленных на вагонетках. Довольно часто применявшийся тип печи представлен на фиг. 1. Дно печи имеет угольную футеровку *A* и является одним из электродов, второй электрод *Б* входит сверху; *B*— канал для отвода CO. Способ работы в таких печах основан на электропроводности нагретого карбида. Несколько печей включаются в цепь последовательно, при чем на каждую приходится напряжение в 35—40 V. При опускании верхнего электрода между ним и подом печи образуется вольтова дуга, и тогда производят засыпание приготовленной шихты: после расплавления значительной части шихты снова засыпают дугу. Для поддержания постоянной силы тока верхний электрод делается подвижным. Работа в периодич. печах продолжается до тех пор, пока карбид не заполнит тигля на всю высоту. В виду того что теплоемкость и скрытая теплота плавления карбида незначительны, он довольно быстро застывает, после чего печь выключают, увозят и заменяют новой. Карбид легко отделяется от пода печи; блок вынимают при помощи крана и оставляют на 12—24 часа для полного остывания, после чего уже приступают к отделению непрореагировавшей шихты и дроблению карбида.

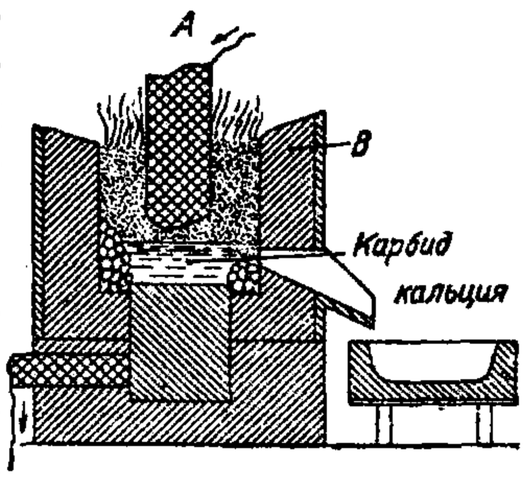


Фиг. 2.

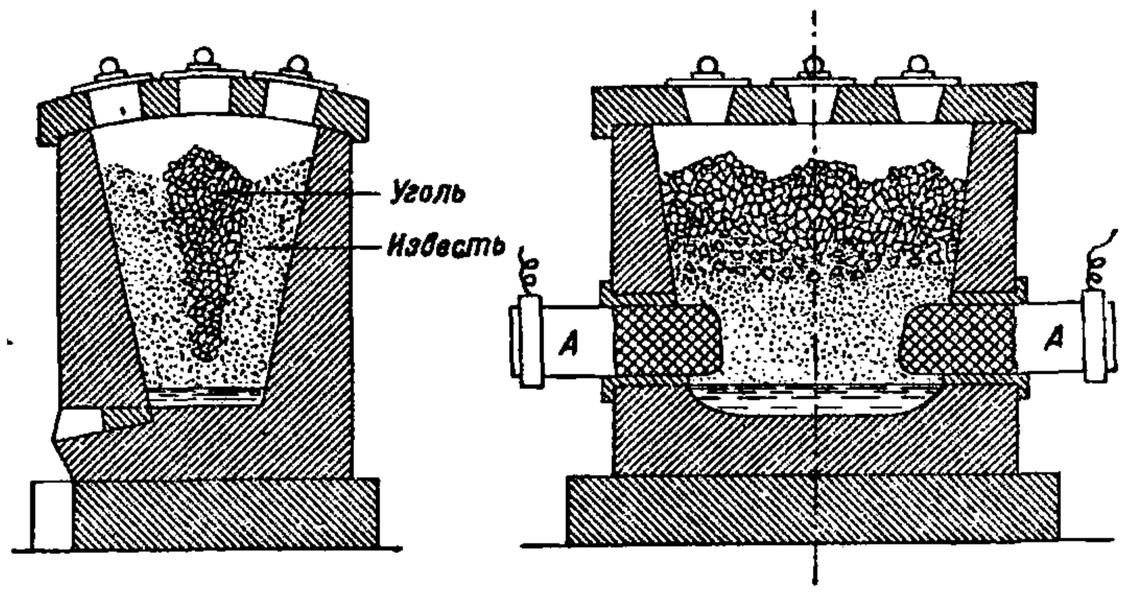
Значительным прогрессом явилось введение печей большей мощности, до 450—500 kW, без нижнего контакта, но с двумя отдельными подвесными электродами с самостоятельной регулировкой каждого. Устройство такой печи представлено на фиг. 2; в ней образуются две последовательно включенные дуги. Преимуществом такого устройства печи является высокое напряжение в сети и низкое напряжение на поду печи; карбид здесь по мере своего образования выходит из сферы действия тока, к-рый проходит только через верхний слой. В начале работы образуются два отдельных блока, к-рые затем сливаются в один большой, до 1 *m* весом. Эти печи работают значительно экономичнее малых и по своей конструкции представляют собою переход к современным большим многоподовым печам.

Способ периодич. работы несовершенен с технич. стороны и неэкономичен. Здесь неминуемы значительные потери шихты, т. к. в готовом блоке годного К. к. иногда содержится только около 50% по весу; кроме того, периодич. работа связана с неэкономичным использованием энергии и электродов, а обслуживание печи, ее чистка, дробление и сортировка блоков требуют значительного количества рабочих рук. Устранение этих неудобств было связано с разрешением проблемы непрерывного процесса, с периодич. выпуском готового продукта из печи в расплавленном виде.

Главным затруднением на этом пути являлось быстрое застывание К. к. в печи: высокая электропроводность расплавленного карбида заставляет поднимать верхний электрод, т. е. удалять вольтову дугу от пода, вследствие чего нижняя часть блока затвердевает; открытие выпускного отверстия (очка) становится крайне затруднительным, а при застывшем слое в 15—20 *см*—и совершенно невозможным. Поэтому, во избежание закупорки очка, карбиду не дают застывать в канале, для чего утолщенным концом лома проталкивают загустевший карбид внутрь печи, так что сам канал остается свободным. Кроме того, при печах большой мощности (600 kW и выше) прибегают к периодич. проплавлению корки при помощи вольтовой дуги, для чего соединенный с верхним электродом железный лом (иногда угольный стержень) вводится в выпускное отверстие и дает вольтову дугу, к-рая и расплавляет застывший карбид. Окончательно задача получения К. к. непрерывным процессом была разрешена в 1904—07 гг. постройкой печей очень большой мощности, измеряемой тысячами kW. Конструкции таких печей чрезвычайно разнообразны: иногда нижняя часть печи служит одним из электродов; другой же электрод подвешивают подвижно в верхней части печи (фиг. 3, где *A*— верхний электрод, *B*— огнеупорная футеровка); иногда оба электрода *A* располагают горизонтально (фиг. 4, шведская трехфазная печь). В последнее время получили широкое распространение трехфазные печи, имеющие три электрода, расположенных в верхней части; ток проходит от одного электрода к другому



Фиг. 3.

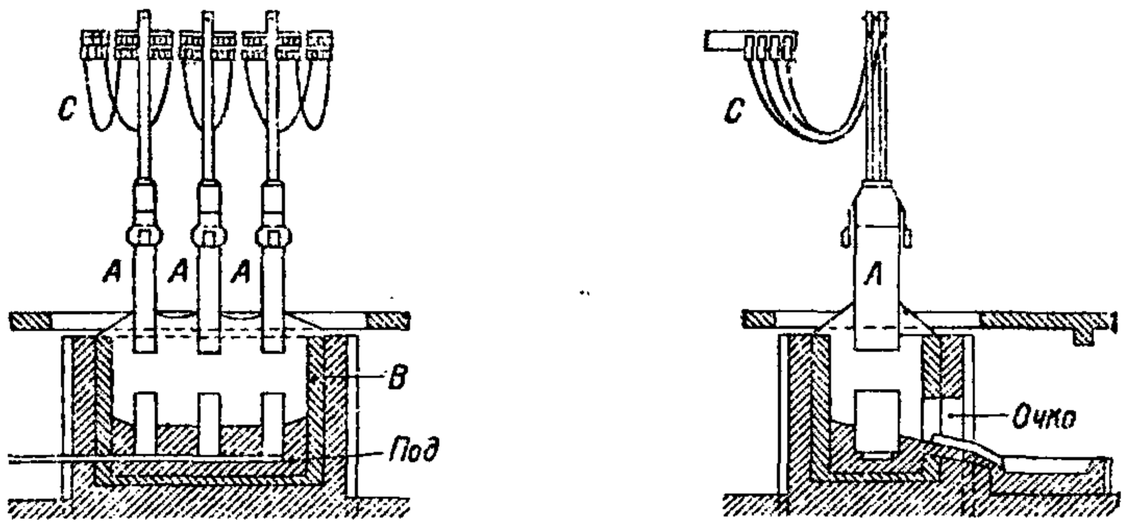


Фиг. 4.

через раскаленную смесь, которая образует сопротивление. На фиг. 5 показана такая трехфазная печь с тремя вертикальными электродами *A* и гибкими голыми медными шинами *C*.

Современные печи для К. к. работают почти всегда сопротивлением, т. е. рассчитаны т. о., что во время работы печи смесь исходных материалов образует источник сопротивления; К. к. в расплавленном виде стекает на под печи, а вновь засыпаемая шихта замещает прореагировавшую и постепенно

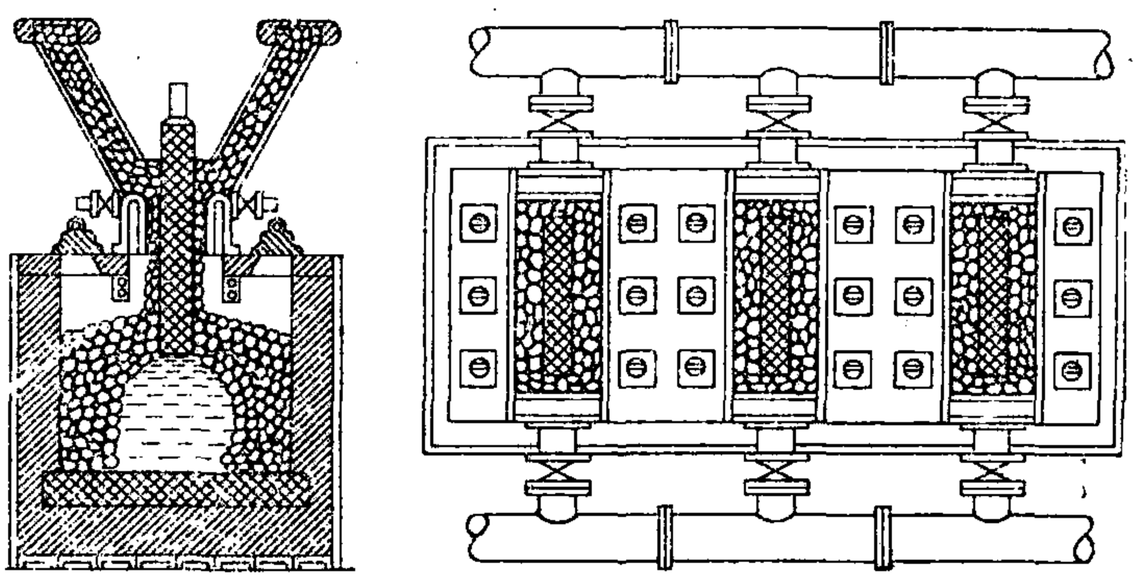
поступает в реакционную зону. Конец электрода погружают в смесь на десятки *см*; вся работа обслуживающего персонала, помимо засыпки шихты, заключается в том, чтобы не давать белому огню вольтовой дуги прорываться наружу, что достигается путем скучивания шихты вокруг верхнего электрода и путем пробивания образующихся



Фиг. 5.

сводов из спекшейся шихты. Это пробивание предупреждает образование корок, которые могут в процессе охлаждения печи образоваться по всему периметру печной шахты и уменьшить кпд вследствие возникновения частичных коротких замыканий тока.

Печи с открытой вольтовой дугой в течение последних 15—20 лет для производства К. к. не применяются, т. к. их работа сопровождается образованием местных перегревов, ведущих к диссоциации образуемого карбида, что в свою очередь вызывает излишнюю потерю энергии и материалов, нерегулярную работу, усиленное выделение пыли и горячих газов, которые затрудняют работу обслуживающего персонала, и значительный расход электродов при уменьшенной отдаче печи.



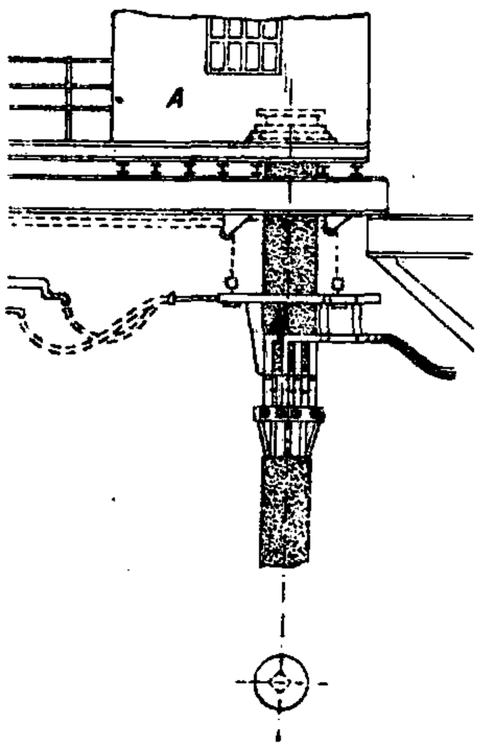
Фиг. 6.

Мощность печей, при начале развития карбидного производства не превышавшая 350 — 500 kW, в настоящее время доходит до 1 500, 3 000, 6 000 и даже 12 000 kW (последнее исключительно для трехфазных печей). Круглые печи на 1 000 kW имеют диаметр 2,25—2,5 *м*, квадратные печи той же мощности имеют сечение от 2,25 × 2,25 до 2,75 × 2,75 *м*. Современная трехфазная печь на 4 000—4 500 kW имеет следующие примерные размеры: длина 9 *м*, ширина 3 *м* и высота 2,5 *м*. При аггрегатах большей мощности работа, вследствие высокой $t°$ и испарений из печи, в высшей степени затруднительна. На каждую *т* получаемого карбида кальция выделяется из печи около 0,44 *т* окиси углерода, CO, которая в печах с открытой шахтой по выходе из слоя шихты сгорает в углекислый газ, CO_2.

Для улучшения условий работы и использования CO, что может возвратить ок. 30% энергии, полезно затрачиваемой на выработку карбида, современная технич. мысль работает над конструкцией з а к р ы т о й п е ч и. Примером такой печи может служить изображенная на фиг. 6 печь, предложенная А. Гельфенштейном. Практич. осуществление закрытых печей встречает большие затруднения вследствие того, что CO с воздухом образует взрывчатую смесь. Так как весьма трудно при высоких $t°$, господствующих в печи, достигнуть полной герметичности и избежать подсоса воздуха, работа с такими печами становится опасной и часто случаются взрывы. В виду этого ни одна из существующих конструкций закрытых карбидных печей не получила широкого распространения в технике, и разработка таких печей носит пока экспериментальный характер.

Для получения в печи $t°$ ок. 3 000°, требующейся для хода непрерывного процесса, необходимо установить надлежащую плотность тока на электродах. Низшей границей плотности тока считается 2 А/*см*²; верхний предел зависит от свойств материала электродов; при нагрузке 8—9 А/*см*² угольные электроды накаляются докрасна по всей длине до зажимов. Для смешанного нагревания (вольтовой дугой и сопротивлением), применяемого в современных печах Гельфенштейна, установлено следующее правило: чем выше рабочее напряжение, тем больше д. б. взята плотность тока. При наиболее распространенных в настоящее время рабочих напряжениях в 50—90 V плотность тока должна находиться в пределах 3÷6 А/*см*² в зависимости от характера электродов. В карбидных печах применяются гл. обр. твердые обожженные электроды, изготовляемые из смеси малозольного антрацита, ретортного угля и нефтяного кокса с каменноугольной смолой и пеком (см. *Электроды*). Хорошие электроды должны обладать однородной структурой, высокой механической прочностью и высокой электропроводностью. В практике применяются электроды в форме цилиндров или брусков прямоугольного сечения. Наибольшие размеры электродов в американ. промышленности достигают 5 *м* длины при квадратном сечении до 95 × 95 *см*; в Зап. Европе электроды готовят длиной до 3 *м* при сечении до 60 × 60 *см*. Однако, чаще применяются электроды меньших размеров (25 × 25 × 200 *см*; 40 × 40 × 250 *см*; и т. п.). При больших амперных нагрузках современных печей такие электроды собирают в пакеты. Весьма важную роль в конструкции печи играют зажимы для электродов, соединяющие медный проводник, подводящий ток к печи с электродом. В зависимости от размера печи, формы электродов и от того, применяется или не применяется водяное охлаждение, типы зажимов бывают крайне разнообразны. Во всякого рода зажимах части, служащие для подвода тока, изготовляют из меди или бронзы; те же части, которые непосредственно прилегают к поверхности электродов, готовят из железа, стали или литой стали. Плотность тока для зажимов с водяным охлаждением допускает-

ся в 7—8 А на *см*² поверхности контакта; при отсутствии охлаждения она не должна превышать 3—4 А на *см*² контактной поверхности. В последнее время в карбидной промышленности начали получать широкое распространение т. н. «непрерывные мягкие электроды» Зедерберга; они достигают нескольких *м* высоты, благодаря чему верхняя часть электрода находится на значительном расстоянии от раскаленной части печи в специально устроенной кабине *A* (фиг. 7). Электрод имеет рубашку из тонкого котельного железа с отверстиями на боковой поверхности для выхода газов; внутри рубашки располагается несколько железных ребер, придающих ей нек-рую жесткость. Внутренняя полость рубашки заполняется специальной сильно спекающейся угольной массой. Работа по набивке и утрамбовке массы производится в упомянутой кабине, что дает возможность наращивать электрод сверху, не прерывая работы печи. Электроды Зедерберга значительно дешевле твердых угольных электродов, хотя, с другой стороны, расход их на 1 *т* К. к. примерно в два раза больше, чем обычных твердых, и они должны иметь бóльшие размеры, так как амперная нагрузка их не должна превышать 3—4 А/*см*².



Фиг. 7.

Наиболее дорого стóящей частью печей большой мощности являются медные шины, связывающие электроды с трансформаторами. Эти шины на нек-ром протяжении д. б. обязательно гибкими, чтобы по мере израсходования электродов последние можно было опускать; вместе с тем шины должны допускать и передвижение электродов в стороны. Б. ч. они состоят из серии медных кабелей малого диам., примыкающих к жесткой части держателей электродов, состоящих из медных пластин. Нормальная плотность тока в шинах—до 1,5 А/*мм*².

Амперная нагрузка печи регулируется перемещением подвижных электродов при помощи лебедок. На малых печах такие лебедки имеют ручной привод, а на больших печах с электродными пакетами они работают от моторов. В новейших установках часто пользуются автоматическ. регуляторами Тьюри (Thury), изготовляемыми фирмой Гено (H. Guenod) близ Женевы, или регуляторами фирмы Сименс-Шуккерт.

Ход пр́оизводства. Для получения 1 *т* К. к., согласно теоретическ. подсчетам, требуется 900 *кг* негашеной извести, CaO, и 560 *кг* углерода. Практический же расход материалов, в зависимости от конструкции печи, ее мощности и условий работы, показан в табл. 1.

Дозировка исходных материалов производится путем взвешивания каждого из продуктов, при чем количество извести м. б. незначительно изменено в зависимости от того, какого качества желательно получить продукт. Нек-рый избыток извести благоприятствует реакции. Выгорание углерода шихты в открытых печах, происходящее от соприкосновения с воздухом, компенсируется углеродом электродов.

Табл. 1.—Расход материалов в *кг* в карбидных печах на 1 *т* карбида кальция.

Материалы	Для периодич. печей	Для печей непрерывн. действия
Известь	1 080—1 200	920—1 050
Кокс	800—1 050	600—700
(Или) антрацит	—	640—700
(Или) древесный уголь	1 200—1 500	800—950
Электроды (твердые)	40—70	15—35

З-ды, эксплоатирующие одновременно несколько печей, устанавливают их обычно в одну линию в просторных помещениях с хорошей вентиляцией. Углеродистый материал и известь, предварительно раздробленные и смешанные в аппаратах, снабженных автоматич. весами, подвозят к верхней части печи транспортером, снабженым специальными ковшами для засыпки. На крупных заводах материалы подвозят в жел.-дор. вагонах прямо в заводские склады с сильно покатым полом, по к-рому они самотеком направляются к дробилкам типа Блека. После дробления эти материалы механич. элеваторами поднимают в специальные закромы, откуда они стекают в двое автоматическ. весов. С весов материалы одновременно передают на транспортеры, к-рые сбрасывают их в один общий сток. Так. обр., приготовленная смесь подается при помощи вагонеток к электрич. печам в загрузочные ковши. При такой механизации один человек в течение 8 ч. может подготовить 20 *т* смеси.

В печах, работающих по принципу непрерывного процесса, можно получить до 3 выпусков в час. От глубины погружения верхнего электрода в смесь существенно зависят как количество загружаемой шихты, так и потери извести от испарения при перегреве. При правильной работе печи шихта, постепенно подогреваясь, опускается вдоль электрода к реакционной зоне. Зона плавления, измеряемая расстоянием от центра электрода до внешней границы жидкого карбида, зависит от количества теплоты, излучаемой единицею поверхности электрода. Для осуществления вполне правильной работы печи надо точно установить наивыгоднейшую плотность тока, соответствующую плавлению данной шихты и образованию жидкого карбида; при недостаточной плотности тока не достигается полное восстановление извести, а при слишком повышенной — диссоциирует и частично испаряется получаемый карбид.

Современные карбидные печи дают около 6 *кг* К. к. на kW-сутки; исследования показывают, что больший кпд м. б. получен только в печах мощностью не менее 3 000 kW. На некоторых иностранных заводах установлены трехфазные карбидные печи в 4 000, 8 000 и даже 15 000 kW, которые работают вполне удовлетворительно. С другой стороны, делаются попытки использовать для предварительного нагрева шихты энергию

окиси углерода, образующейся при реакции получения карбида. Практич. значение утилизации CO видно из следующего приближенного подсчета: 1 *кг* CaO и 0,7 *кг* C дают 0,8 *кг* чистого CaC_2 или 1 *кг* коммерч. К. к. Считая $t°$ реакции в 3 000° и принимая теплоемкость CaO равной 0,2, а теплоемкость углеродистого материала 0,45, получаем количество тепла q, необходимое для нагрева первичных материалов до 3 000°:
$q=(0{,}2\cdot 1\cdot 3\,000)+(0{,}45\cdot 0{,}7\cdot 3\,000)=1\,545$ Cal.
По Форкранду, количество тепла, необходимое для образования 0,8 *кг* CaC_2 из CaO и C, $q'=1\,316$ Cal; следовательно, количество тепла Q, необходимое для получения 1 *кг* коммерч. К. к. (0,8 *кг* чистого CaC_2):

$$Q=q+q'=1\,545+1\,316=2\,861 \text{ Cal};$$

1 kW-сутки=20 650 Cal, следовательно, отдача печи теоретически д. б. 20 650 : 2 861 = =7,21 *кг* карбида на kW-сутки. Если использовать в этом процессе теплоту сгорания окиси углерода, то при одном и том же расходе энергии кпд печи значительно возрастет. Действительно, при получении 0,8 *кг* CaC_2 (1 *кг* коммерческого К. к.) выделяется 350 *г* CO, дающей при сгорании 850 Cal. Следовательно, количество тепла, необходимое для образования 1 *кг* коммерч. К. к., будет 2 861—850 =2 011 Cal, и теоретич. производительность печи возрастет до 20 650:2 011=10,5 *кг* К. к. на kW-сутки. Как указано выше, практич. выход в современных печах выражается 6 *кг* на kW-сутки, следовательно, кпд достигает 85% без использования калорич. мощности CO; если же рассматривать это использование как возможное, то кпд современной печи выражается только 57% теоретически исчисленной отдачи. Из этого подсчета видно, что тепловые потери при неиспользовании окиси углерода очень велики, и удачное разрешение вопроса хотя бы частичной ликвидации этих потерь имеет большое практич. значение.

Из печей, работающих по принципу непрерывного процесса, К. к. от 1 до 3 раз в час выпускается в огненно-жидком состоянии в чугунные изложницы соответствующей емкости, в к-рых он довольно быстро переходит в твердое состояние. Затвердевший карбид еще в горячем состоянии в виде слитков, достигающих веса 250 *кг*, перевозят при помощи механич. транспортерных приспособлений в специальные сухие помещения для остывания. По прошествии 10—12 час. остывший карбид подвергают дроблению на механич. дробилках типа Блека. Раздробленный К. к., в зависимости от требований рынка, поступает в упаковку либо в кусках без отсортировки (разномерный), либо рассортированный на куски определенных размеров. Карбид-разномерка имеет размеры кусков от 15 до 100 *мм* при среднем размере 25—40 *мм*; в таком продукте допускаются куски и менее 15 *мм* в количестве до 5% от общего веса. Сортированный К. к. делится на 3 или 4 сорта со следующими размерами кусков в *мм*:

15— 20, 20— 40, 40— 60, 60—100 } или { 15— 25, 25— 40, 40—100

Кроме того, на рынок выпускается К. к. в более мелких кусках, размерами 1—2 *мм*, 2—4 *мм*, 4—8 *мм* и 8—15 *мм*. Такой карбид в продаже часто обозначается как «гранулированный». Сортировка дробленого К. к. по размерам кусков производится во вращающихся сетчатых стальных барабанах или же на сотрясательных плоских ситах.

Среднее соотношение между весом и объемом продажного К. к., в зависимости от размера кусков, видно из табл. 2.

Табл. 2.—Соотношение между весом и объемом продажного карбида кальция.

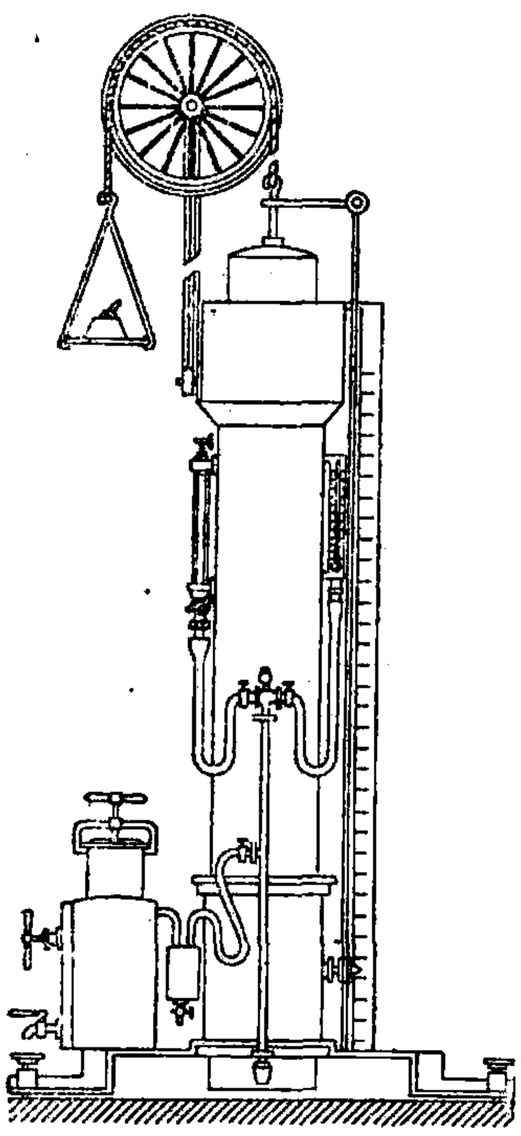
Размеры кусков в *мм*	Объем 1 *кг* карбида в *л*	Вес 1 *л* карбида в *кг*
От 4 до 15	0,91	1,10
» 15 » 25	0,84	1,19
» 15 » 40	0,87	1,15
» 15 » 100	0,83	1,2
» 40 » 100	0,86	1,16

В виду того что от соприкосновения с влагой К. к. разлагается, для хранения его требуется прочная герметич. тара, для чего служат цилиндрич. барабаны из кровельного 4—4,5-*кг* железа. Для большей герметичности продольные швы делают в двойной фальц или проваривают автогенным способом или электросваркой, а для придания жесткости боковую поверхность крупных барабанов гофрируют. Загрузочные отверстия барабанов закрывают жестяной крышкой, припаиваемой к донышку оловом, или же края крышки герметически закатывают на отогнутые края отверстия донышка. Во время транспортирования и хранения К. к. необходимо тщательно следить за герметичностью тары. Следует иметь в виду, что проникание внутрь барабана влаги даже через незначительные отверстия приводит в конце концов к нарушению целости барабана, т. к. образующаяся от разложения известь занимает больший объем, чем карбид, из к-рого она получилась. При исправной таре К. к. может храниться без изменения неопределенно долгое время, а потому вскрывают только такое количество барабанов, какое требуется для работы в течение дня. Вскрывание барабанов следует производить осторожно, пользуясь для этого клещами и стараясь отделить крышку загрузочного отверстия по линии спайки; необходимо избегать применения ударных инструментов в роде зубил, молотков и т. п., т. к. при ударе могут получиться искры и, при наличии внутри барабана взрывчатой смеси ацетилена с воздухом, привести к взрыву. По той же причине при вскрытии барабанов не следует применять паяльных горелок и ламп. Выпускается К. к. обычно в барабанах весом по 100, 50, 30, 20, 10, 5 и 1 *кг*.

При отправке по ж. д. и на пароходах, согласно правилам НКПС, железные барабаны с К. к. должны быть упакованы в деревянные футляры для предохранения от пробивания; исключение делается только для крупных повагонных отправок. Указания относительно устройства складов и порядка хранения К. к. имеются в обязательном постановлении Наркомтруда СССР от 14 января 1926 г. (опубликованном в «Известиях НКТруда» от 8 февраля 1926 г., № 4—5).

Технический анализ К. к. В виду того, что ценность К. к. определяется гл. образом выходом ацетилена из его весовой единицы, технический контроль карбидного производства и определение качества продукта при приемках ограничиваются обычно определением выхода сырого (неочищенного) ацетилена из 1 *кг* карбида. Объем выделившегося ацетилена приводится к температуре 15° и давлению 760 *мм* Hg. Так как технический К. к. является неоднородным веществом, то отбор средних проб должен производиться особо тщательно. Для отбора пробы обычно существуют точные правила, излагаемые в описании стандартных норм, принятых в том или в ином государстве. Общепринятым прибором для технич. анализа К. к. является прибор О. С. А. Устройство его показано на фиг. 8. Он состоит из подвижного железного колокола со шкалой, железного бака и генератора ацетилена с принадлежностями. Генератор соединен с колоколом резиновой трубкой. Бак аппарата наполняется насыщенной ацетиленом водой. Колокол снабжен уравнивающим противовесом, к-рый играет большую роль во всех операциях анализа.

Как указано выше, 1 *кг* химически чистого CaC_2 дает 348,7 *л* ацетилена (при 0° и 760 *мм* Hg). Технический К. к. считается доброкачественным, если 1 *кг* его дает от 280 до 300 *л* C_2H_2. К. к. с выходом ацетилена более 300 *л* на *кг* обычно готовят только по специальным заказам; объясняется это тем, что по мере приближения качества карбида к теоретическому он делается менее плавким, вследствие чего непропорционально увеличивается расход электроэнергии. Практически, количество и качество посторонних примесей в К. к. имеет гораздо большее значение, чем высокий выход ацетилена из него. Постоянными примесями К. к. являются непрореагировавшие известь и уголь. Кроме того, в техническ. продукте всегда присутствует ферросилиций, получающийся гл. обр. из зольных элементов углеродистого материала; количество ферросилиция в отдельных партиях доходит иногда до 3% от веса карбида. В К. к. всегда присутствуют также сернистый и фосфористый кальций. Уменьшения количества трех последних примесей можно добиться только улучшением качества исходных материалов.



Фиг. 8.

Применение. К. к. служит гл. обр. для получения *ацетилена* (см.); кроме того, значительн. количества К. к. расходуются в производстве цианамида кальция по способу Франка и Каро (см. *Цианамид кальция*).

Лит.: Федотьев П., Электрометаллургия, ч. 3, П., 1922; Максименко М. С., Промышленная электрохимия. Курс литограф. лекций, Л., 1927; Escard J., Les fours électriques, P., 1924; Askenasy P., Einführung in die technische Elektrochemie, B. 2, Braunschweig, 1916; Ullm. Enz., B. 2, 2 Auflage, 1928.

П. Малков.

КАРБИДЫ, общее название соединений углерода с металлами (и нек-рыми металлоидами). Большая часть К.—кристаллические вещества; К. металлов часто бывают окрашены в цвет исходного металла. Нек-рые из них имеют широкое применение в технике или сами по себе (напр. К. кальция, кремния, бора) или в виде сплавов с металлами. Приготовление специальных сортов стали, обладающих высокими механич. и химич. качествами, в значительной мере является проблемой, связанной с изучением свойств К. и их поведения в системах металл—углерод. Растворение углерода в металлах часто сопровождается образованием солеобразных соединений, к-рые можно рассматривать как производные (соли) ненасыщенных углеводородов, чаще всего—ацетилена. Вследствие того, что последний является чрезвычайно слабой к-той (приблизительно в 400 раз слабее угольной), его соли легко гидролизуются, выделяя свободный ацетилен. Классификация К. по их отношению к воде в настоящее время почти оставлена, хотя все попытки создания более рациональной классификации еще не привели к вполне удовлетворительному результату. Вопрос о химич. природе К., о характере связи между углеродом и металлами также нельзя считать выясненным в полной мере. Рентгенографич. исследование К. показывает, что в узлах их кристаллич. решеток по большей части находятся нейтральные атомы. Ионной решеткой (типа поваренной соли) обладают TiC, VC, ZrC, NbC и TaC.

Общие свойства К. Температура плавления всех К. чрезвычайно высока; К. с не вполне насыщенным атомом металла (например VC, NbC, TaC) обладают хорошей электропроводностью, равно как и К., у которых атомный объем металла больше атомного объема углерода (например TiC, ZrC). При испарении, происходящем лишь при очень высоких *t*°, К. частично распадаются на углерод и металл. Химич. прочность К. тем выше, чем более электроотрицательным является металл, входящий в состав данного К.; напр., для *t*°, при к-рой Fe_3C распадается полностью, диссоциация Al_4C_3 еще весьма незначительна. При нагревании в атмосфере кислорода К. окисляются, образуя окись металла и CO_2; при нагревании в атмосфере азота или аммиака они образуют нитриды; при нагревании до высокой *t*° с S, Se и Te К. превращаются в сульфиды, селениды или теллуриды. Многие К. разлагаются водой с образованием ацетилена (напр. К. кальция, CaC_2), метана (К. алюминия, Al_4C_3), либо водорода и ацетилена (К. марганца, Mn_3C_2), либо же, наряду с ацетиленом или метаном, образуют другие насыщенные и ненасыщенные углеводороды (напр. К. редкоземельных металлов). Другие К. не только не реагируют с водой, но и чрезвычайно устойчивы по отношению к к-там (напр. К. молибдена или вольфрама). Большая часть известных К. выделена в индивидуальном состоянии; существование других доказано термохимич.

анализом. К. с большим содержанием углерода образуются при растворении углерода в расплавленных металлах при высоких $t°$; при охлаждении они распадаются с выделением избыточного углерода в виде графита. Склонность к образованию К. у некоторых элементов (напр. у Cr, Mo, Si) весьма велика, тогда как у других она выражена слабо (напр. у Mn). Элементы B, Se, C, Si, Ti, Zr, Nb и Ta, занимающие в периодич. системе места на границе между металлами и металлоидами, способны образовывать К. различного состава, из к-рых по крайней мере один отличается большой твердостью и устойчивостью по отношению к химич. воздействиям (таким «карбидом углерода» можно считать алмаз). Самым твердым телом из всех минеральных соединений является К. бора; далее твердость К. падает в порядке вышеприведенного ряда элементов.

Способы получения К. Все К. металлов могут быть получены растворением углерода в расплавленном металле. Общим способом приготовления металлич. К. является способ, применяемый в технике для получения К. кальция и кремния (см. *Карбид кальция*), заключающийся в восстановлении окиси металла углем:

$$CaO + 3C = CaC_2 + CO;$$
$$SiO_2 + 3C = Si + 2CO.$$

Нагревание обычно производится электрич. током, хотя возможны и другие приемы, приводящие к достижению высоких температур (наприм. сжигание избыточного угля шихты вдуванием кислорода). Для восстановления окисей вместо угля иногда пользуются К. кальция. Нек-рые К. могут быть получены при относительно низких $t°$. Так, например, BeC_2, CdC_2, Al_2C_6 и ZnC_2 были приготовлены пропусканием ацетилена над соответствующими металлами, нагретыми до 450—500°. К. щелочных и щелочноземельных металлов м. б. получены действием ацетилена на растворы металлов в жидком аммиаке:

$$3C_2H_2 + 2NaNH_2 = Na_2C_4H_2 + 2NH_3 + C_2H_4;$$
$$Na_2C_4H_2 \rightarrow Na_2C_2 + C_2H_2.$$

Нек-рые К. получают действием К. кальция на водные растворы солей, напр.:

$$2CaC_2 + 2CuCl_2 + 2H_2O \rightarrow CuC_2 + 2CaCl_2 + Cu(OH)_2 + C_2H_2.$$

Кроме К. меди, этим путем удается приготовить HgC_2, FeC_2, NiC_2 и CoC_2 из их хлористоводородных солей и PbC_2 из уксуснокислой соли. Из цианидов карбиды получают восстановлением при помощи металлического магния:

$$Ba(CN)_2 + 3Mg = BaC_2 + Mg_3N_2.$$

Технич. использование карбидов за последнее время развилось весьма сильно. Особенно важное значение имеют К. кальция и К. кремния (см. *Карборунд*). К. применяются для изготовления электродов, электрических сопротивлений, сверл, буравов и т. д.

Важнейшие представители К. К. алюминия, Al_4C_3,—желтые прозрачные кристаллы, удельн. веса 2,36. Чистый К. алюминия может быть приготовлен: 1) нагреванием при высокой $t°$ алюминия с углем в атмосфере водорода, 2) из порошкообразного Al и сажи или графита в струе кислорода, 3) при нагревании Al_2O_3 с К. кальция в электрич. печи. При 2 200° Al_4C_3 (в атмосфере водорода, при 760 *мм*) разлагается на графит и Al (с примесью C). При действии воды на К. алюминия образуется метан, к к-рому обычно бывает примешан водород, вследствие наличия в Al_4C_3 примесей металлич. Al и другого К., менее богатого углеродом (возможно, Al_3C_2). При нагревании в струе кислорода К. алюминия образует CO и окись алюминия, в азоте—нитрид. К. алюминия применяется для освобождения стали от примесей O, S и P, для восстановления окисей металлов и для получения безводного $AlCl_3$ посредством пропускания сухого HCl над смесью карбида и металлич. Al.

К. бария, BaC_2, приготовляется аналогично К. кальция, из BaO или $BaCO_3$ и угля в электрич. печи; он м. б. также получен восстановлением углем сернокислого бария; при этом наряду с BaC_2 образуются BaS и BaO. Удельный вес 3,75. С водой BaC_2 выделяет ацетилен. При 680—700° поглощает азот, переходя в цианид и цианамид бария. Был предложен в качестве исходного продукта для приготовления синтетического ацетальдегида через ацетилен. При действии $Ba(OH)_2$ или NaOH при 600° дает бензол, нафталин и антрацен, с преобладанием первого:

$$3BaC_2 + 3Ba(OH)_2 = C_6H_6 + 6BaO.$$

Карбид бария может служить для получения $Ba(OH)_2$.

К. бора. Из трех известных К. бора—B_6C, B_3C и B_2C_2 — технич. значение имеет только первый. B_6C образуется непосредственно из элементов. Технич. способ приготовления его заключается в нагревании при 2 500° окиси бора, B_2O_3, с углем. Исходным продуктом для приготовления B_6C служит также минерал борацит. B_6C—твердые, плотные кристаллы, по внешнему виду похожие на металл; величина кристаллов сильно зависит от скорости кристаллизации; B_6C—электропроводен. Уд. в. 2,7; твердость выше корунда (по некоторым исследованиям, выше алмаза); менее хрупок, чем К. кремния; применяется для шлифовки алмазов, резки стекла, обработки карборундовых и наждачных кругов, для приготовления горных буров, и т. д. В смеси с корундом B_6C применяется для приготовления шлифовальных порошков, а также как огнестойкий материал, для изготовления электродов и электрич. сопротивлений. Электрич. сопротивления из К. бора устойчивы даже в пламени вольтовой дуги. Прессованный уголь можно частично превращать в карбид бора посредством прокаливания в смеси угля и борной кислоты; в таком виде он пригоден для изготовления электродов дуговых ламп, электродных клемм и т. п.

К. вольфрама, WC,—серый кристаллический порошок; уд. в. 15,9; тверже кварца. Плавится при 3 150°, при высоких $t°$ переходит в карбиды с меньшим содержанием C. Концентрированные H_2SO_4 и HNO_3 только медленно действуют на WC; получается WC из металлического W и угля при $t°$ электрической печи. Другой К. вольфрама, W_2C, получается сплавлением WO_3 с углем; W_2C—серый порошок, тверже корунда, удельн. веса 16,06; в отличие от металлического вольфрама и от WC, он реагирует с газообразным хлором при 300—400°. Важное технич.

значение имеют смешанные карбиды вольфрама и других металлов (особенно Fe и Mo) в сплавах с металлами. Соединение состава $3\,W_2C \cdot 2\,Fe_3C$ находится в ферровольфрамовых сталях. Цементация чугунных изделий посредством их погружения в расплавленный ферровольфрам с содержанием до 0,5% C имеет целью образование на поверхности чугуна твердого и химически устойчивого слоя из К. вольфрама. Смешанному К. вольфрама и хрома приписывают состав, отвечающий ф-ле $W_2C \cdot 3\,Cr_3C$; такой К. представляет собою кристаллич. вещество с весьма большой твердостью. Различные металлич. предметы м. б. покрыты слоем К. вольфрама посредством их нагревания при 400° в смеси амальгамы вольфрама с маслами или углеводородами. Специальные вольфрамовые стали содержат К. вольфрама в количестве от 1 до 20%. Для приготовления в технике чистого К. вольфрама с твердостью 9,8 были сконструированы печи, дающие $t°$ выше обычной $t°$ вольтовой дуги. Этим путем из К. вольфрама м. б. изготовлены различные фасонные предметы, находящие разнообразное применение в шлифовальной и буровой технике. Путем прокаливания алмазной пыли в электрич. печи с К. вольфрама и молибдена приготовляются продукты (в о л о м и т ы), отличающиеся высокой твердостью и применяемые для изготовления буравов, сверл и т. п.

К. ж е л е з а, Fe_3C,—белые блестящие кристаллы, уд. в. 7,04—7,07. Fe_3C может быть выделен из стали посредством обработки последней к-тами; при этом, чем слабее к-та или чем меньше ее концентрация, тем больше выход К. В сухой атмосфере Fe_3C устойчив, во влажной — окисляется; водяным паром при $t°$ красного каления разлагается на закись-окись железа, водород, CO и CO_2. Кроме Fe_3C, существует еще ряд К. железа. Изучение систем железо—углерод имеет большое значение для понимания процессов, протекающих при образовании сталей, их закалке и отжиге.

К. к а л ь ц и я, CaC_2, см. *Карбид кальция*.

К. к р е м н и я, SiC, см. *Карборунд*.

К. м а г н и я, MgC_2, получается при нагревании металлического Mg с углем или в атмосфере CO. С водой он реагирует с образованием ацетилена, но менее энергично, чем К. кальция. Технический интерес представляет приготовление К. магния из обожженного доломита, который при нагревании с углем в электрической печи дает смесь К. магния и К. кальция; эта смесь с водой дает выход ацетилена на 12% больше, чем выход из чистого CaC_2.

К. м а р г а н ц а, Mn_3C,—вещество металлического вида; $t°_{пл.}$ 1 217°, уд. в. 6,89, мягче гипса, кислотоустойчив, парамагнитен. Существование других К. марганца точно не установлено.

К. м о л и б д е н а. С достоверностью доказано существование К. состава MoC и Mo_2C; вероятны также Mo_3C_4 и Mo_2C_3. Технич. значение К. молибдена основано на их применении в сплавах с металлами (Fe и Cr) и с К. вольфрама (быстрорежущая и инструментальная стали, а также кислотоупорные и нержавеющие сплавы).

К. н а т р и я, Na_2C_2, получается при пропускании ацетилена над металлич. натрием; уд. вес 1,575; при 290° он полностью разлагается на графит и натрий. Весьма вероятно, что К. натрия образуется как промежуточный продукт при получении NaCN из азота, соды и угля в присутствии железного катализатора:

$$Na_2C_2 + N_2 \rightleftarrows 2\,NaCN.$$

К. т и т а н а, TiC,—кристаллическ. вещество; $t°_{пл.}$ 3 127 — 3 227°, твердость между 9 и 10, электропроводность (1,8—2,5) 10^{-4} мо-*см*. Приготовляется из TiO_2 путем нагревания с углем при 1 700—1 800°; может быть также получен непосредственно из минерала рутила (1 *кг* рутила и 450 *г* угля). Химически устойчив; растворяется только в горячей царской водке; водяной пар на TiC не действует даже при 700°. TiC применяется для изготовления электродов дуговых ламп; добавление К. хрома, а также серы или селена значительно повышает продолжительность работы таких электродов. Для той же цели пользуются смесью B_6C, TiC и угля. TiC применяют также в качестве защитного покрытия в электрических печах сопротивления, для изготовления огнеупорных тиглей и для технич. получения четыреххлористого титана, $TiCl_4$.

К. у р а н а, UC_2, — кристаллы с металлич. блеском; тверже горного хрусталя, но мягче корунда; $t°_{пл.}$ около 2 260°, при этой же $t°$ UC_2 испаряется. При разложении водой он дает водород и смесь предельных углеводородов (CH_4, C_2H_6, C_3H_8 и т. д.); при растирании в ступке на воздухе воспламеняется. Получается сплавлением металлического урана или его окислов с углем. Рекомендован как катализатор для синтеза аммиака из элементов.

К. х р о м а. С достоверностью известны два К. хрома: Cr_5C_2 и Cr_3C_2. Первый получается сплавлением металла с 4—8,5% угля и последующим растиранием сплава с холодной соляной к-той; представляет собою кристаллич. вещество с серебристым блеском; уд. вес 6,9; $t°_{пл.}$ 1 665 — 1 700°; в царской водке не растворяется, конц. соляной к-той разрушается медленно; в присутствии веществ, связывающих CO_2, поглощает кислород воздуха:

$$4\,CaO + 2\,Cr_5C_2 + 11{,}5\,O_2 = 4\,CaCO_3 + 5\,Cr_2O_3.$$

В случае применения CaO в качестве вещества, связывающего CO_2, реакция протекает при $t°$ = 456°, в случае SrO при $t°$ = 403°, и — BaO при 243°. Cr_3C_2 получается аналогичным путем, но угля д. б. взято больше, чем 9,6%; Cr_3C_2—вещество с жирным блеском; уд. в. 5,6; тверже кварца, но мягче корунда; плавится при 1 890° (с разложением); к-ты на Cr_3C_2 не действуют, при сплавлении с KOH он медленно разрушается. Сплавы хрома с содержанием углерода бо́льшим, чем 8,5%, в соляной к-те не растворяются. К. хрома в сплавах с другими металлами придают последним кислотоупорность. Эти свойства и повышенная твердость определяют большое значение хромовых сталей в промышленности; особенно важное значение имеют смешанные карбиды железа и хрома, обусловливающие высокие качества феррохромовых сталей.

Лит.: Ullm. Enz., 2 Aufl., B. 3, 1929; Ahrens F. B., Metallkarbide u. ihre Verwendung, Stg., 1896; Berggreen P. H., Bibliography on the Different Forms a. Combinations of Carbon with Iron, «Bull. Amer. Inst. Mining Engineers», N. Y., 1914; Berthelot, «CR», février 1901; Gürthler W., Metallographie, B., 1913; Hönigschmidt O., Karbide u. Silizide, Halle, 1914; Matthews J., Review a. Bibliography of the Metallic Carbids, Wsh., 1898; Moissan H., Le four électrique, P., 1897; Tropsch, Gesammelte Abhandl. zur Kenntnis d. Kohle, B. 2, p. 203, Berlin, 1917. **С. Медведев.**

КАРБОКСИЛ, группа —C(=O)OH, характеризующая т. н. карбоновые к-ты. См. *Кислоты* органические.

КАРБОЛИНЕУМ, антисептич. продукт для пропитывания дерева с целью защиты его от гниения. К. представляет собою смесь антисептиков и каменноугольной смолы, из которой предварительно выделены ценные продукты (бензол, нафталин, фенолы, антрацен и пр.). См. *Дерево*, консервация дерева.

КАРБОЛИТЫ, класс *альдегидно-фенольных смол* (см.) кислой конденсации, получаемых преимущественно из технич. трикрезола и формальдегида в присутствии и с участием в конечном продукте нафтеновых или ароматич. сульфокислот (т. н. контакта). Вследствие неустановленности терминологии синтетич. смол К. в настоящее время невозможно точно отграничить от *бакелитов* (см.). В нек-рых К. функцию крезола несет фенол, а функцию формальдегида—фурфурол. В отличие от бакелитов, получаемых гл. обр. конденсацией в основной среде, карболиты конденсируются чаще в среде кислой. Отношение ускорителя процесса к готовому продукту конденсации сложно и не вполне выяснено: кроме каталитического действия, ускоритель, повидимому, непосредственно участвует в реакции, и, кроме того, он входит в продукт как своеобразный наполнитель.

Конденсация крезолов с формальдегидом и другие конденсации в кислой среде изучены и технически разработаны группой русских химиков (П. П. Шестаков, В. И. Лисев, Г. С. Петров, К. И. Тарасов, А. Н. Петров), работавшей с 1910 года и в 1914 году наладившей производство карболита. Основание завода «Карболит» торговым домом Васильева и К° в 1914 г. в деревне Дубровке, возле г. Орехово-Зуева, было началом карболитового дела и производства синтетических смол в России. С 1928 г. этот завод вошел в состав Треста связи.

Виды К. Наиболее важен К. литой, по своим техническ. свойствам близкий к эбониту, целлону и плотной древесине, но с существенным преимуществом — способностью отливаться в формах. Имеется большое число марок литого К., но многие из них еще мало изучены и не усвоены промышленностью. Наиболее известны следующие марки К.: 1) фенольный с формальдегидом (Ф); 2) крезольный с формальдегидом (К); 3) крезольный с формальдегидом, жирнокислотный (Ж); 4) крезольный фурфурольный (Фур); 5) фенольный с формальдегидом, касторовый; 6) прозрачный (Пр); 7) щелочной кальциевый; 8) щелочной бариевый; 9) скипидарный; 10) белковый; 11) крезольный, обезвоженный проваркою при $t°>100°$ в высыхающих или полувысыхающих маслах—«а», «б», «в», «г»; 12) крезольный, обезвоженный обработкою нагретыми растворителями (нефтяными дистиллатами), ароматическими углеводородами, хлорированными углеводородами; 13) крезольный с огнестойкостью, повышенной путем введения хлорированных углеводородов; 14) крезольный с формальдегидом и сульфированным толуолом. Вторую группу К. составляют продукты, близкие к предыдущим, но не доведенные до полимеризации и остающиеся временно или навсегда в промежуточном состоянии: 15) К.-сырец, фенольный, крезольный или жирнокислотный, поставляемый в жидком виде для отливок, заливок или склеек на месте потребления; 16) смолы, заменяющие шеллак; 17) такие же смолы в спиртовых или масляных растворах, применяемых как лаки, с полимеризацией и без полимеризации; 18) лаки для разных целей, гл. обр. для изготовления пертинакса, для пропитки полотна, бумаги, слюды и т. д. Третью группу составляют К. с наполнителями, обрабатываемые штамповкой (этот штампованный К. поставляется как в сыром виде, для штамповки на месте, так и в виде готовых изделий). 19) К. в пасте, для холодной штамповки на ручных прессах; 20) К. в порошке, для горячей штамповки на гидравлич. прессах; 21) К. в пасте, для горячей штамповки. В дальнейшем описываются свойства преимущественно литого К. марок «Ф», «К» и «Ж».

Свойства К. Карболит превосходно поддается механич. обработке на токарном станке, рубанком, фрезером, сверлится, принимает винтовую нарезку, шлифуется и полируется. При покрытии его карболитовым же лаком получается вполне однородная пленка, к-рая не отслаивается при изменениях $t°$, действии влажности и т. п. Отдельные части из К. могут склеиваться карболитовою же смолою, связывающей их после прогрева в монолитное целое. Кроме того, возможна заливка в К. железных частей: такие изделия, вследствие близости коэфф-тов расширения железа и К., не страдают от изменения $t°$, и железо оказывается прочно зажатым в карболитовые заделки.

При механич. обработке К. весьма важно, чтобы скорости и геометрич. формы инструментов были подобраны правильно. Так, при обработке на токарном станке рекомендуется скорость резания 30—42 *м/мин* и скорость подачи 0,15—0,20 *мм* за 1 оборот. Проходной резец должен иметь радиус закругления 3—4 *мм*, угол резания 90° и угол зазора 25—40°. Отрезной резец берется такой же, но с вогнутыми, радиуса 25—75 *мм*, боковыми поверхностями. При винтовой нарезке наиболее удобен резец с углом резания 95° и углом зазора 15—20°; нормальная стружка при начале резания должна быть 0,15—0,30 *мм* толщиною, а затем постепенно уменьшаться до толщины 0,05 *мм* и далее. Сверление К. рекомендуется вести лопаточными сверлами, при скорости резания 15—30 *м/мин*, в зависимости от марки К., и при подаче, равной 0,05—0,4 *мм*. При фрезеровке зуб делается с углом заострения 60—75° и углом резания 90°; скорость резания д. б. 48—90 *м/мин*, а подача фрезерного стола 15—150 *мм/мин*. Разрезание карболитовых листов ведется циркулярными пилами с боковыми поверхностями, сточенными к центру под углом друг к другу в 20—30′; скорость допускается 300—480 *м/мин*, а подача 30—300 *мм/мин*. Отделка поверхности К. слагается из шлифовки (наждачным полотном и пемзой) и полировки (мастикой).

Естественный цвет К. различен. Так, прозрачный К. (Пр) стекловиден, с легким желто-розовым оттенком, но через несколько лет он приобретает интенсивную красно-оранжевую окраску, сохраняя прозрачность. Фурфурольный К. (Фур) — черного цвета; крезольный (К) и фенольный (Ф)—светло-

серые, быстро буреющие; жирнокислотный К. (Ж)—серо-желтого цвета. Смолу фенольного К. (Ф), особенно фенольно-касторового, можно красить искусственно в самом процессе изготовления в любые цвета, предпочтительно темные. Штампованный К. (Ш) обыкновенно поступает в продажу черным. Возможна также прокраска готовых изделий из карболита.

По своему строению литой К. изотропен и в этом отношении выгодно отличается от других альдегидно-фенольных изоляционных материалов, представляющих диэлектрики слоистые. Микроструктура карболита представляет сложную дисперсную систему тонкость к-рой возрастает слева направо по маркам: $Ш_ж$, Ф, К, Ж, Фур, Пр. Марки Ф, К, Ж, Фур структурно родственны между собою и м. б. охарактеризованы как отвердевшие эмульсии. В отношении механическ. деформаций К. при растяжении следует отметить высокую упругость его, особенно марки К; удлинение при разрыве не превосходит 0,0004%. При сушке К. теряет до 8,5% влаги; при погружении К. в воду происходит, наоборот, поглощение ее в количестве до 0,5%. В химическом отношении К. стоек к воде, маслам, кислотам, органич. растворителям (кроме ацетона) и в некоторых случаях (для щелочных К.) к щелочам. Наиболее слабое место К.—его повреждаемость окислами азота и азотной к-той, а также крепкими щелочами. В отношении 25%-ной серной к-ты К. может считаться практически вполне стойким. Низкие $t°$ не отражаются на свойствах К. Различные марки К. выдерживают длительное нагревание до 100° (Ф)—150° (Ж) и временное повышение $t°$ до 270° (Ф)—350° (Ж); сорт К занимает промежуточное положение. Огнестойкость К. может быть повышена введением хлорированных углеводородов. Объемное удельное сопротивление К. при повышении $t°$ ускоренно падает, при чем скорость этого падения возрастает с градиентом приложенного напряжения. При возрастании $t°$ от 0° до 60—70° сопротивление уменьшается примерно в 18 раз. Поверхностное удельное сопротивление К. (оцениваемое высшим баллом 5 по сист. Союза герм. электриков) не падает после вымачивания К. в воде и уменьшается лишь в 3—4 раза после действия ультрафиолетовых лучей. В отношении диэлектрической крепости К. (марок К и Ж) следует отметить ее малую зависимость от температуры в интервале от −10° до +110°. Сводка данных о свойствах К. представлена ниже в таблице.

Сравнительные данные о физических свойствах карболитов.

Свойство	Литые карболиты		
	«Ф»	«К»	«Ж»
Поверхностное электрич. сопротивление при 50% относ. влажности, Ω-см	$5{,}8 \cdot 10^{11}$	$4{,}6 \cdot 10^{13}$	$4{,}6 \cdot 10^{13}$
Объемное электрич. сопротивление при комн. $t°$, Ω-см	$5{,}4 \cdot 10^{9}$	$1{,}7 \cdot 10^{11}$	$5{,}5 \cdot 10^{13}$
Угол сдвига фаз (угловые градусы)	27°	3,6°	1,5°
Диэлектрич. коэфф. ε	5,7	3,5	2,7
Диэлектрич. крепость kV/мм	10	11	12
Разрывающее усилие, кг/см²	184	144	120,3
Раздавливающее усилие, кг/см²	863	999	771
Изгибающее усилие, кг/см²	637	445	401
Вода, поглощенная за 24 ч., %	0,30	0,25	0,18
Плотность, г/см³	1,18	1,12	1,13
Механич. теплостойкость (по англ. нормам), °С	70°	120°	100°
Огнестойкость (по герм. нормам)	1	1	1
Коэфф-т теплового расширения при 20÷60°	$93 \cdot 10^{-6}$	$75 \cdot 10^{-6}$	$120 \cdot 10^{-6}$
Теплопроводность, cal/см в ск.	$100 \cdot 10^{-5}$	$65 \cdot 10^{-5}$	$51 \cdot 10^{-5}$
Теплоемкость, cal/г	0,48	0,46	0,46
Твердость по Бринелю при нагрузке 300 кг, в кг/мм²	24	31	25
Твердость по Шору, с тверд. молотк.	45	59	53
Твердость по Мартенсу, г/0,01 мм	3,2	3,4	4,6
Твердость по Мосу	2,6	2,7	2,8

Производство К. В качестве «контакта» при конденсации исходных материалов применяются обычно сульфонафтеновые к-ты ($C_{20}H_{28}SO_3$), с успехом заменяемые иногда сульфированным толуолом, бензолом и т. д. Что касается трикрезола, то получение литого карболита требует возможно большего содержания в нем *м*-крезола, тогда как для лаковых смол наиболее выгодно значительное содержание *о*-крезола. В конденсирующуюся смолу вводят в некоторых случаях жирные к-ты, белки, смолы. Химический характер процесса в грубом приближении подобен таковому же при конденсации бакелита. Из производственных особенностей выгодно отличает К. от бакелита возможность вести конденсацию без применения давлений, а также изготовлять большие отливки и крупные изделия из одного куска. Все видоизменения процесса производства К. трудно охватить общей схемой; поэтому ниже приводится лишь один из наиболее простых рецептов. На 10 вес. частей технич. трикрезола берут 7 вес. ч. 40%-ного продажного формалина; сюда же добавляется 3% (от веса трикрезола) «контакта». При непрерывном перемешивании смесь нагревают в кубе до момента бурного вскипания—образования синтетич. смолы (с выходом 13 вес. частей) и водного слоя. Этот последний отделяют, а смолу обезвоживают нагреванием при 75—80° в вакуум-аппарате в течение нескольких часов. Затем в нее вводят еще 2—3 вес. ч. 40%-ного формалина и некоторые другие вещества (наполнители, окрашивающие вещества); жидкую массу разливают по формам, в к-рых она полимеризуется нагреванием в течение нескольких часов в особых печах при 60—80°. Затвердевший и полимеризованный К. подвергается просушке при 125° в сушильном шкафу в течение около одного часа. Далее, к полученному карболиту применяется, если нужно, механическая обработка: полировка, лакировка и т. д. В некоторых случаях конденсация ускоряется иными катализаторами, а нафтеновые сульфокислоты вводятся уже после процесса обезвожения смолы.

Для производства штампованных К. количество катализатора увеличивают и в смолу вводят твердые наполнители, минеральные (асбест, слюда, тяжелый шпат, переработанный кварц) или органические (старый и бракованный К., кокосовая скорлупа, древесина, гидроцеллюлоза), достаточно измельченные. Т. о., получается либо вязкое карболитовое тесто либо порошок. Тесто может подвергаться как горячей, так и холодной штамповке; последняя требует дальнейшей полимеризации изделий в сушильных шкафах. Карболитовый порошок (а иногда и тесто) штампуется горячим способом, полимеризуясь непосредственно в матрицах.

Применение К. По совокупности физич. свойств К. представляет материал, применимый в электропромышленности как слабых, так и сильных токов (изоляторы для внутренних установок, щиты, аппаратура, измерительные приборы, радиотехнич. аппаратура), в электрическом и общем аппарато- и машиностроении (подшипники, валы, части текстильных машин, валики пишущих машин), в поделочной (пуговицы, гребни, бусы, ручки для «вечных» перьев, зажигалки, портсигары, линейки, лекала и т. д.), в текстильной и химич. промышленности (кружки и фильтры для производства вискозы, облицовка ванн, сосуды), в оборудовании лабораторий, в производстве предметов медицинского и гигиенического назначения. Кроме этих разнообразных применений, следует отметить два новых, еще не вошедших в практику: 1) пропитка К. древесины (см. *Дерево*, электроизоляционный материал), которая дает электроизоляционный и другого назначения материал высокого качества, и 2) использование К. в хирургии, в частности при ринопластических операциях, в качестве искусственной кости.

Лит.: Карболит, его производство и свойства, под ред. П. А. Флоренского, «Труды гос. эксперим. электротехнич. ин-та», М., 1928, вып. 21; Петров Г. С., Сульфокислоты нефтяных углеводородов, их применение в промышленности, «Нефт. и сланц. хоз.», М., 1922, *5—6*, стр. 279—288; его же, Продукты конденсации фенолов с альдегидами и их диэлектрические свойства в зависимости от исходных материалов и способов конденсации, «Труды химич. ин-та им. Л. Я. Карпова в Москве», П., 1923, *1*, стр. 115—129; его же, Пластические продукты конденсации фенолов с альдегидами и их отношение к химическим реагентам, там же, 1926, вып. 5, стр. 71—80; Petroff G. S., Karbolit, ein Kondensationsprodukt von Phenolen mit Aldehyden, «Kunststoffe», München, 1926, Jg. 16, *5*, p. 81—83.

П. Флоренский.

КАРБОЛОВАЯ КИСЛОТА, см. *Фенолы.*

КАРБОНИЗАЦИЯ шерсти и полушерсти заключается в обработке их при нагревании растворами кислот, или кислых солей, или средних солей, выделяющих кислоты при гидролизе, с целью удаления растительных примесей. Мытая рунная шерсть обычно содержит некоторое количество растительных частиц в виде шишечек репейника, остатков корма, соломы, и других, к-рые при механич. обработке (трепании, кардочесании) полностью не удаляются и попадают далее в ткань. Находясь в ткани, они при крашении кислотными, хромировочными и другими красителями не окрашиваются, а остаются в виде белесоватых точек; кроме того, они делают ткань шерохова-той. Удаление этих частиц вручную при помощи пинцетов или закрашивание их т. н. тинктурами является делом кропотливым и в большинстве случаев не достигающим цели; поэтому для удаления растительных частиц применяют К. Для выделения шерсти из полушерстяного тряпья, состоящего из хлопка и шерсти, тоже прибегают к К., получая при этом т. н. экстрактную искусственную шерсть.

К. основана на *гидролизе* (см.) растительных частиц, состоящих гл. обр. из целлюлозы. Под действием к-т (H_2SO_4, HCl), кислых солей ($NaHSO_4$) и некоторых средних солей ($AlCl_3$, $MgCl_2$), гидролизующихся с образованием HCl, целлюлозные волокна при повышенной $t°$ превращаются в бесструктурные вещества (целлюлозу А, гидроцеллюлозу, декстрины целлюлозы и др.), легко удаляемые выколачиванием и промывкой. Шерстяные волокна при К. не изменяются или изменяются лишь незначительно (имеются, однако, указания, что неосторожно проведенная К. может вызвать ослабление прочности шерстяного волокна). Наряду с гидролизом целлюлозы происходит образование темно окрашенных веществ (по-видимому, продуктов пирогенного разложения, конденсации и т. п.), а также наблюдается выделение углерода (по всей вероятности в результате отнятия воды от целлюлозы). Выделение углерода и дало повод назвать этот процесс (совершенно неправильно) карбонизацией, т. е. обугливанием.

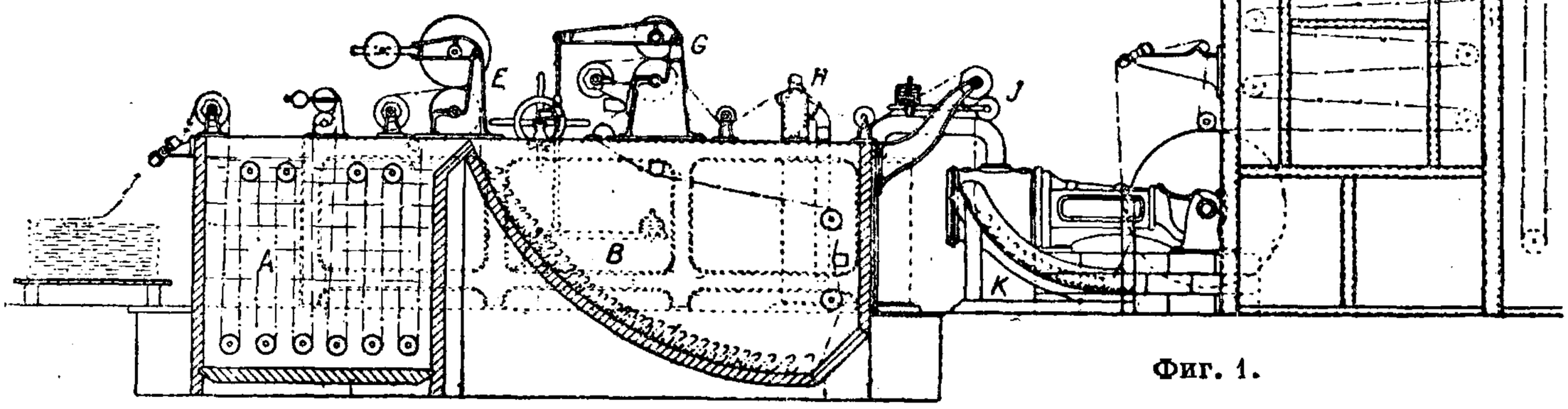
Различают мокрую и сухую К. Мокрая К. заключается в обработке шерсти при повышенной темп-ре (40—80°) растворами H_2SO_4 или $NaHSO_4$. Сухая К. состоит в том, что шерсть сначала пропитывают растворами кислот или указанных выше солей, отжимают избыток их на центрифугах или отсасывают (продувают), а затем ткань или рунную шерсть подвергают высушиванию и собственно К. («выжиганию») при 90—150°. При постепенном нагревании растворы указанных гидролизующих веществ концентрируются и вызывают разрушение растительных частиц. Сухой К. называют также К. полушерсти, производимую газообразным HCl. В качестве гидролизующих (карбонизующих) средств применяют растворы H_2SO_4 (3—5,5° Bé) при 90—110° (сухая К.) и при 40—80° (мокрая К.), $NaHSO_4$, $MgCl_2$ (5—13° Bé при 130—250°) и $AlCl_3$ (6—7° Bé при 125°). В настоящее время наиболее распространенной является сухая карбонизация серной кислотой для шерсти и газообразным HCl для полушерсти; $NaHSO_4$, $MgCl_2$ и $AlCl_3$ применяют редко, т. к. $MgCl_2$ и $AlCl_3$ требуют для К. высоких температур (125—150°), могущих вызвать ослабление шерстяного волокна. Кроме того, при К. этими солями образуются нерастворимые гидраты $Mg(OH)_2$ и $Al(OH)_3$ или же основные соли, требующие для их растворения дополнительной кисловки. Обыкновенно после процесса К. следует промывка, нейтрализация раствором соды крепостью 3—5° Bé и вторичная промывка шерсти.

К. шерсти. К. подвергается как мытая рунная шерсть, так и мытая ткань. Если шерсть сильно засорена растительными

частицами и удаление их механич. путем затруднительно, то, во избежание засорения прочесного аппарата, такую шерсть подвергают К. после промывки. Карбонизованная шерсть в виде руна при последующем крашении, даже в случае неровной окраски, не дает неровно окрашенной ткани, т. к. при механическ. обработках в аппаратном и ткацком отделениях имевшиеся на шерсти пороки выравниваются и делаются незаметными. Имеются, однако, указания, что карбонизованная шерсть обладает худшей способностью к прядению и валянию, чем шерсть некарбонизованная. Карбонизацию шерсти в виде ткани производят суровьем после промывки, после валки до крашения и после валки по крашении. Чаще всего ткань карбонизуют после валки, хотя до валки ткань бывает рыхлее и растительные частицы быстрее и лучше разрушаются. При последнем способе К. требуется, однако, лишняя операция промывки суровья—операция, производимая не для всех сортов ткани. При карбонизации после валки представляется нек-рая опасность в смысле возможности получения красильного брака вследствие неровной окраски, особенно при неосторожной К. Неравномерный отжим кислот, неравномерные сушка и «выжигание» влекут за собою неоднородность проработки шерстяного волокна, что служит причиной появления пятнистой окраски при крашении—т. н. «кислотных пятен», обычно окрашивающихся светлее. В случае трудно окрашивающейся ткани и применения плохо эгализирующих красителей, К. производят после крашения, хотя здесь нужно иметь в виду, что красители д. б. прочными. Кроме того, здесь могут образоваться т. н. с в и щ и—белесоватые незакрашенные точки в местах нахождения растительных частиц; после крашения и К. эти частицы удаляются, и обнажаются незакрашенные места. В большинстве случаев все же К. производят после валки до крашения. Все сказанное выше относится к суконным тканям; камвольные ткани карбонизуют редко, так как растительные частицы удаляются из них уже при механических обработках, главным образом при многократном прохождении через чесальные машины.

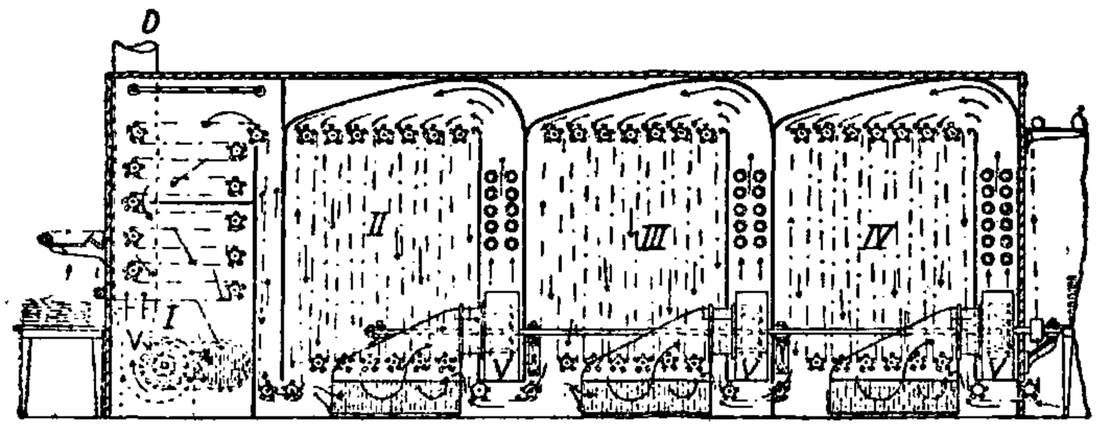
а) К. р у н н о й ш е р с т и производится след. образом. Мытую шерсть загружают в корзины и погружают в деревянный освинцованный чан, содержащий раствор H_2SO_4 крепостью 4—5,5° Bé, на срок от 30 мин. до 3 час. После этого корзины с шерстью вынимают, дают избытку раствора стечь и отжимают шерсть на центрифуге, корзина и кожух которой освинцованы или покрыты кислотоупорной эмалью. После отжима шерсть содержит около 50—60% влаги (по весу сухой шерсти); ее направляют в карбонизационную сушилку, где происходит сушка при 40—45° и К.—удаление растительных частиц при 100—110°. Карбонизационные сушилки для рунной шерсти бывают периодические (камерные с ящиками) и непрерывные (с металлическими транспортирующими сетками). Карбонизация рунной шерсти практикуется редко; чаще подвергают карбонизации готовые ткани.

б) К. ш е р с т я н ы х т к а н е й производится на установках периодических или непрерывных. При К. на установках периодич. действия шерстяная ткань предварительно замачивается жгутом в деревянной освинцованной барке типа *гарансинной барки* (см.), в растворе H_2SO_4 крепостью 3—5° Bé, в течение 15—30 минут, при обыкновенной $t°$. Затем ткань наматывают на деревянный баран, находящийся над баркой, дают избытку раствора стечь, после чего ткань снимают с барки и отжимают в центрифуге, устроенной так же, как указано ранее; при этом ткань защищают от соприкосновения с металлическ. частями центрифуги при помощи шерстяных чехлов. После отжима ткань, содержащая 50—60% влаги, поступает в карбонизационную сушилку, где происходит сушка и собственно К. (работа этой сушилки описана ниже). При К. на непрерывно действующих установках (фиг. 1), все более и более применяемых на ф-ках большой производительности, ткань в сухом или влажном виде, в расправку, поступает прежде всего на замочку в раствор H_2SO_4, крепостью 3—5° Bé, находящийся в деревянном, изнутри освинцованном ящике *A*. Сделав в нем несколько вертикальных ходов по роликам, ткань выходит из ящика, отжимается парой резиновых валков *E* и укладывается в компенсатор *B*, где лежит нек-рое время для лучшего пропитывания к-той. Отсюда ткань проходит через пару отжимных валов *G* над отсосом *H* (в нек-рых конструкциях отсасывание заменено продувкой сжатым воздухом); при этом избыток кислоты отсасывается (или выдувается), и на ткани остается 55—70% влаги (по весу сухой шерсти). После отсоса ткань проходит между отжимными валами *J*, через второй компенсатор *K* и отсюда в карбонизац. сушилку (фиг. 2);



Фиг. 1.

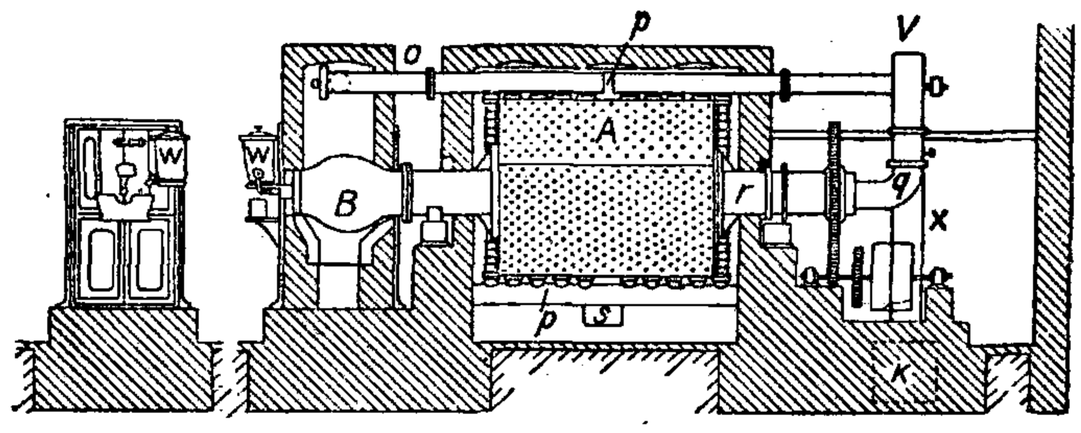
последняя состоит из четырех-пяти камер, покрытых железными листами и изолированных пробковой изоляцией. Камеры сообщаются между собою щелями, через к-рые проходит ткань. В камерах ткань движется по направляющим деревянным баранчикам. Между камерами помещены калориферы (ребристые или пластинчатые); внутри их



Фиг. 2.

проходит пар (3—5 *atm*), который обогревает воздух, циркулирующий в камерах и необходимый для сушки ткани и ее К. Ткань поступает в камеру *I*, где подвергается предварительной подсушке при 45—55°; здесь она движется по баранчикам в горизонтальном направлении, во избежание потеков раствора; в остальных камерах ткань движется в вертикальном направлении (имеются конструкции сушилок с вертикальным движением ткани во всех камерах). Из камеры *I* ткань идет в камеры *II* и *III*, где она высушивается, соответственно, при 75—80° и 85—95°; затем она поступает в камеру *IV*, где при 100—110° происходит собственно К. (в нек-рых установках имеется еще пятая, охладительная камера, где ткань охлаждается до 45°). После выхода из сушилки ткань укладывают при помощи самоклада. Воздух в сушилке движется навстречу ткани; циркулируя в камерах (под действием вентиляторов *v*), он подогревается калориферами. Отработавший воздух выбрасывается вентилятором через трубу *D* в камере *I*. Продолжительность пребывания ткани в карбонизационной сушилке равна 15—45 минутам смотря по роду ткани. Производительность сушилки зависит от скорости прохождения ткани, а эта скорость регулируется при помощи коробки скоростей, имеющей 10 ступеней (от 2,13 до 8,55 *м* в 1 минуту). Расход пара на 1 *кг* испаряемой воды равен 1,8—2 *кг*. Ткань после К. обычно подвергают промывке, затем нейтрализации в растворе Na_2CO_3 крепостью 4—5° Bé и опять промывке. В некоторых случаях, если ткань подвергается крашению, ее окрашивают не высушивая; если же крашение производят хорошо эгализирующими красителями, то ткань даже не нейтрализуют содой, а сразу после К. замачивают в красильной барке и там же красят. Для лучшего смачивания ткани растворами H_2SO_4 предложены смачивающие вещества в роде «леонила SB» и др., к-рые позволяют несколько снижать концентрацию H_2SO_4 при К.

К. полушерсти производится при изготовлении т. н. экстрактной искусственной шерсти из полушерстяного тряпья. К. здесь применяется сухая, при помощи газообразного HCl, и ведется в карбонизационных печах; из последних наиболее распространение на печь системы Ширпа (фиг. 3). Она состоит из чугунной реторты *B*, которая соединена с вращающимся чугунным барабаном *A*, пятиугольного сечения, с внутренней стороны усаженным крючьями. Реторта находится в топке и обогревается ею, а барабан *A*—в печном пространстве, обогреваемом калориферами *p*. В барабан загружают 150—750 *кг* рассортированного тряпья и приступают к К. Первой стадией является сушка при 40—50° в течение 1—1,5 ч.; при этом барабан вращается, делая 3—4 об/ск. Сушка производится дымовыми газами, проходящими из топки по трубе *o* и ребристым калориферам *p* и удаляемыми вентилятором *V* через дымовой канал *k*. Воздух в печном пространстве, по мере насыщения влагой, уносится наружу через канал *s*. После сушки начинается собственно К. при 80—100°. С этой целью в горячую вращающуюся реторту *B* из бачка *w* подают жидкую соляную кислоту крепостью 20—21° Bé; здесь кислота испаряется, и газообразный HCl проходит внутрь барабана *A*, где производит гидролиз хлопка в полушерстяном тряпье; после этого HCl через отверстия в барабане и трубы *r*, *q*, *x* уходит в канал *k* наружу (канал *s* в это время закрыт).



Фиг. 3.

Продолжительность этой операции—1—1,5 часа (всего с сушкой К. продолжается 2—3 часа). После окончания К. HCl окончательно удаляют, останавливают вращающийся барабан и приступают к выгрузке полученной «искусственной шерсти». После протрепывания ее промывают, нейтрализуют раствором соды и опять промывают. Расход соляной кислоты (19—21° Bé)—около 6—8% от веса тряпья; расход механич. энергии—2,5 ÷ 4 HP.

Лит.: Петров П. П., Химическая технология волокнистых материалов животного происхождения, М., 1924; Синицын А. А. и Шухер С. М., Карбонизационная установка непрерывного действия для сукон «Рудольф и Кюне», стр. 104—120, М., 1927; Ganswindt A., Wollwäscherei u. Karbonisation, Lpz., 1905; Heermann P., Technologie d. Textilveredelung, 2 Aufl., B., 1926. **Д. Грибоедов.**

КАРБОНИЛ, или карбонильная группа, группа $=CO$, имеющая две свободных связи, характерная для *кетонов* (см.), содержащаяся также в альдегидной группе $-C\begin{matrix}H\\ \diagup\\ \diagdown\\ O\end{matrix}$ (см. *Альдегиды*), в карбоксильной группе $-C\begin{matrix}O\\ \diagup\\ \diagdown\\ OH\end{matrix}$ и в солях, эфирах и галоидангидридах карбоновых кислот. Для К. характерна двойная связь между углеродом и кислородом, обусловливающая возможность реакций присоединения различных групп по месту этой связи, что наблюдается для кетонов и альдегидов. При этом группи-

ровка $>C=O$ переходит в группировку $>C<^{O-}$, так что за счет двух освободившихся связей (у кислородного и у углеродного атомов) могут присоединиться две одновалентные группы. Так, при присоединении H_2 кетонная группа $>C=O$ переходит во вторичную алкогольную $>CHOH$; при присоединении воды трихлоруксусный альдегид (хлорал), $CCl_3—C<^{H}_{O}$ переходит в хлоралгидрат, $CCl_3 \cdot CH(OH)_2$; при присоединении бисульфита натрия, $NaHSO_3$, образуется соединение с группировкой $>C<^{OH}_{SO_3Na}$; присоединение NH_3 к К. альдегидной группы приводит к альдегидаммиакам; присоединение синильной к-ты—к циангидринам:

$$>C=O + HCN \longrightarrow >C<^{OH}_{CN};$$

к К. легко присоединяются также и магний-органические комплексы.

О соединениях металлов с группой CO см. *Окись углерода*.

КАРБОРУНД, карбид кремния, SiC, в к-ром растворено до 2% карбида железа и карбида кальция. К. кристаллизуется в гексагональной системе; цвет—от серо-стального до черного в зависимости от количества и характера примесей; хрупок; тв.—9,5—9,75; уд. вес от 3,125 до 3,21. К. хорошо сопротивляется действию кислот (исключая смеси плавиковой и азотной кислот), но разлагается от действия расплавленных щелочей, железа и меди. Хлор начинает действовать на карборунд при 600°, полностью разлагая его при 1 200°. При $t°$ около 2 200° происходит разложение К. по реакции:

$$SiC = [C \text{ (графит)} + Si \text{ (пары)};$$

разложение может быть замедлено появлением на поверхности К. защитной кремнеземистой пленки, образующейся благодаря присутствующим в К. примесям. С водяным паром К. реагирует при 1 300—1 400°. Теплопроводность К. составляет 0,015—0,024 cal *см/см²* ск. °С. Временное сопротивление на сжатие равно ~ 1 000 *кг/см²*.

Химически чистый К. не электропроводен. Значительная проводимость обычного К. приписывается содержанию в нем элементарного кремния, к-рый легко удаляется посредством кипячения К. с КОН. К. отличается большим постоянством объема при высоких $t°$, что обусловливается незначительным коэфф-том термич. расширения и постоянством его молекулярно-кристаллич. структуры. В связи с высокой теплопроводностью это свойство делает К. в высокой степени термостойким материалом. Химич. состав различных видов технич. К. указан в таблице.

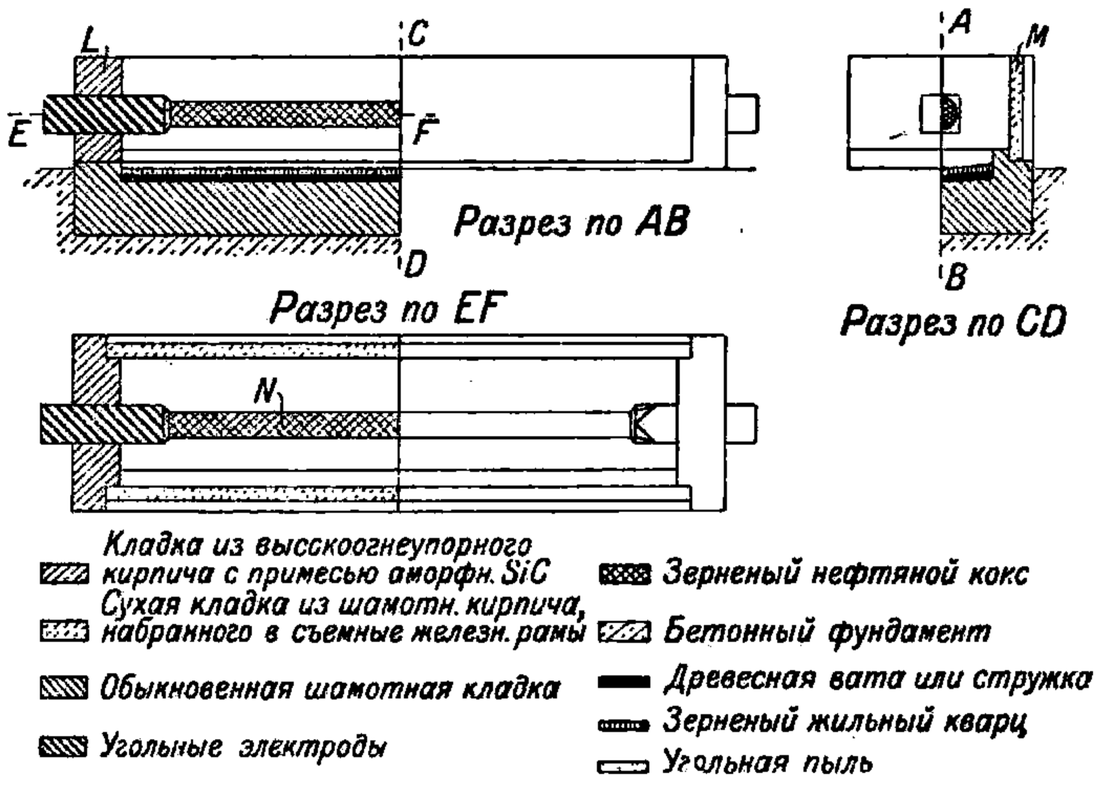
Благодаря своей исключительной огнеупорности, твердости, теплопроводности и низкому коэфф-ту расширения, К. широко применяется при изготовлении высокосортных огнеупорных материалов, шлифовальных кругов и других изделий специального назначения (см. *Карборундовые изделия* и *Абразионные материалы*).

Химический состав карборунда (в %).

Виды К. \ Состав	C	Si	Fe_2O_3+ +Al_2O_3	CaO	MgO
Теоретич. состав . . .	29,7	70,3	—	—	—
Кристаллич. К., неочищенный	34,0	63,5	2,4	0,1	—
То же, очищенный выщелачиванием . .	30,2	69,1	0,5	0,1	—
Аморфный К., очищенный	27,9	65,4	5,1	0,3	0,2

К. получается в электрическ. печах путем сплавления смеси кремнезема и угля в отсутствии воздуха. В обычный состав шихты входят: кварц в количестве 52—54%, кокс—35%, древесные опилки 5—11% и поваренная соль 1,5—4%. Размер зерна кварца и кокса не должен превышать 2—4 *мм*; содержание кремнезема в кварце д. б. от 97 до 99,5%. Кокс содержит до 85—90% С. Роль древесных опилок заключается в придании материалу известной пористости для удаления окиси углерода, выделяющейся согласно реакции $SiO_2 + 3C \rightarrow SiC + 2CO$. Поваренная соль способствует удалению железа и других примесей путем образования летучих хлоридов железа и алюминия.

Электрич. печи (см. фиг.), применяемые для плавки К., имеют две постоянные стенки *L* и две разборные—*M*, выложенные из огнеупорного материала. В постоянные стенки печи вделываются угольные электроды, расположенные в несколько рядов. Между



отдельными электродами вставляются медные пластинки, присоединенные к подводящим ток проводам. Через всю печь проходит стержень *N* диам. 50—75 *мм*, изготовленный из зерен нефтяного кокса размером ок. 2 *мм*; этот стержень в свою очередь при помощи графитового порошка присоединяется к угольным электродам.

В печь засыпается шихта и включается ток напряжением 230 V. Через определенное время производится постепенное понижение напряжения до 100—75 V при соответствующем повышении силы тока до полного сплавления содержимого печи. Реакция начинается при 1 615°. При 1 920—1 980° аморфный К. переходит в кристаллический. Температуру в печи поддерживают обычно в пределах 1 950÷2 100°. По окончании про-

цесса вокруг стержня *N* образуются последовательно слои: 1) графита, 2) кристаллического К. толщиной 30—40 *см*, 3) аморфного порошкообразного К., 4) смеси силоксикона (Si_2C_2O) с монооκисью кремния (SiO) и 5) внешний слой в виде смеси кремнезема с углем. Часть шихты остается неизмененной. После охлаждения содержимое печи выгружается, и полученные продукты сортируются. Отсортированный К. размалывается на бегунах, просеивается на отдельные фракции и обрабатывается серной кислотой и водой с целью очищения от примесей и тонкой пыли. Содержание посторонних веществ в готовом продукте доходит до 5%.

На крупнейшем америк. з-де Carborundum Co. близ Ниагарского водопада имеется ряд электрических печей мощностью от 746 до 2 500 kW. Печь для производства К. мощностью 746 kW имеет длину около 7 *м* при внутренних размерах $5 \times 1{,}8 \times 1{,}7$ *м*. Производительность печи в течение 36 час. составляет 3 150 *кг* кристаллического К. Расход энергии на 1 *кг* К. равен 8,7 kWh. Печь мощностью 1 500 kW, в течение 36 часов вырабатывает 6 500—6 800 *кг* К., при расходе энергии 7,5 kWh на 1 *кг* продукта.

Лит.: Searle A. B., Refractory Materials, their Manufacture a. Uses, p. 166—169, L., 1924; Searle A. B., The Manufacture a. Use of Abrasire Materials, p. 12, 34—35, London, 1922; Ullm. Enz., 1 Aufl., B. 3, p. 281—289; Litinsky L., Schamotte und Silika, ihre Eigenschaften, Verwendung und Prüfung, p. 55, Leipzig, 1925; Singer F., Die Keramik im Dienste v. Industrie und Volkswirtschaft, p. 470, 471, Brschw., 1923; Niederleuthner R., Unbildsame Rohstoffe keramischer Massen, W., 1928. **А. Фреберг.**

КАРБОРУНДОВЫЕ ИЗДЕЛИЯ, изделия высокой огнеупорности и твердости, изготовляемые из карборунда, друг. карбидов и карбоксидов кремния (см. *Карборунд*) со связующими добавками: огнеупорной глиной, органическими веществами и друг. Средний химич. состав массы: 77—90% SiC, 6—18% SiO_2 и 4—5% $Fe_2O_3 + Al_2O_3$. По данным Серля (Searle), обожженные при низшей *t*° К. и. состоят главн. обр. из силоксикона (Si_2C_2O), неустойчивого при более высоких *t*°. При 1 600° в нейтральной атмосфере образуются карборунд и окись углерода. Уд. вес К. и. колеблется от 2,73 до 3,2 в зависимости от состава, темп-ры обжига и величины давления при прессовании. При испытании термич. стойкости К. и., изготовленные со связкой из огнеупорной глины, после 10-кратного нагрева и последующего резкого охлаждения показывают сравнительно незначительную потерю веса: от 0,3 до 8,0%. К. и. хорошо сопротивляются действию щелочей и к-т за исключением фтористоводородной. Из металлов и их окислов наибольшее действие на К. и. имеют перекись свинца, глет, хромовокислый свинец, а также железистые шлаки, сильно разъедающие К. и. в окислительной атмосфере. Зола, увлекаемая горючими газами, образует на поверхности К. и. глазурь, предохраняющую материал от дальнейшего разрушения. Среднее сопротивление на сжатие, по Вернике и Серлю, равно 400 *кг/см*^{2}, в отдельных случаях оно может доходить до 680 *кг/см*^{2}. Под нагрузкой К. и. выдерживают без размягчения *t*° до 1 700°. Электрич. сопротивление при 1 040° равно 0,4 МΩ-*см*. Коэфф. теплопроводности (0,00982) К. и., изготовленных с 20% глины, в 3 раза превышает коэфф-т теплопроводности магнезитовых кирпичей и в 12 раз—динаса; линейный коэфф. расширения равен 0,0000045. Объемная пористость К. и. составляет около 30%.

К. и. применяются в тех случаях, когда наряду с высокой огнеупорностью и твердостью требуется большая теплопроводность и термич. стойкость, не обеспечиваемые обычными шамотными материалами. Из карборундовых материалов изготовляются огнеупорные изделия специального назначения: реторты, муфели, сожигательные камеры для тоннельных печей Дреслера, кирпичи для электрич. печей и т. д.; карборундовые материалы применяются также для покрытия шамотных камней, находящихся в ответственнейших местах печей. Эти материалы, благодаря своей чрезвычайной твердости, идут для изготовления шлифовальных изделий. Как на недостаток К. и. следует указать на большую их электропроводность, окисляемость при *t*° выше 1 600° и высокую стоимость.

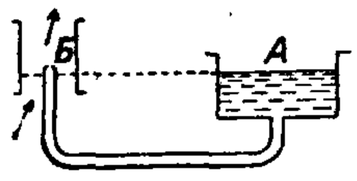
Производство К. и. в основном мало отличается от производства других огнеупорных изделий (в частности динаса или шамота, изготовляемых сухим прессованием) или абразионных изделий из алунда, наждака и т. д. Величина зерен карборунда варьирует в зависимости от назначения изделий. Американские фирмы применяют состав шихты из равных частей зерен, имеющих величину, соответствующую номерам сит в 16, 24, 36 и 100 отверстий на пог. дм. Иногда к такому составу примешивается небольшое количество наиболее тонких частиц. Связующие добавки в виде глины, полевого шпата, жидкого стекла и других, в том числе и органич. веществ, смешиваются с измельченным карборундом и небольшим количеством воды в мешалках (см. *Глиномятка*). Из полученной порошкообразной массы формуются вручную или на механич. прессах под давлением до 465 *кг/см*^{2} изделия требуемой формы. Отформованные изделия высушиваются на обогреваемом поду в просторных помещениях или в специальных сушилках. Обжиг производится в печах, позволяющих вести его при высоких *t*° и при определенном составе газов. Особенно часто применяются электрические печи. Температура обжига колеблется от 1 400 до 2 000°.

Лит.: Searle A. B., Refractories for Furnaces, Crucibles, etc., p. 424—428, L., 1924; Bischof C., Die feuerfesten Tone u. Rohstoffe, p. 244—245, Lpz., 1923; Litinsky L., Schamotte u. Silika, ihre Eigenschaften, Verwendung u. Prüfung, p. 245—247, Lpz., 1925; Wernicke F., Die Herstellung d. feuerfesten Baustoffe, p. 184, B., 1921; Hecht H., Lehrbuch d. Keramik, p. 170—171, W.—Lpz., 1923. **А. Фреберг.**

КАРБЮРАТОРЫ, приборы для приготовления рабочей смеси из легко испаряемого топлива и воздуха, поступающей в рабочий цилиндр двигателя внутреннего сгорания для превращения химич. энергии топлива в механич. работу.

Принципы карбюрирования. Осуществление процесса карбюрирования требует хорошего механическ. распыливания топлива воздухом для получения больших поверхностей соприкосновения воздуха с топливом, без чего невозможно осуществить хоро-

шее испарение последнего. Для достижения этой цели в современных конструкциях применяют способ так наз. жиклерного распыливания, состоящий в том, что топливо, истекая из небольшого отверстия жиклера *Б* (фиг. 1) под влиянием разности давлений в топливном сосуде *А* и у жиклера, подхватывается и распыливается протекающим воздухом за счет его повышенной скорости. Т. о., энергией для распыливания топлива является кинетическая энергия воздуха, искусственно созданная в месте истечения топлива. Этот способ распыливания рабочей смеси осуществляется во всех современных К. Способ жиклерного распыливания явился результатом целого ряда исканий в продолжение многих лет; наряду с ним были предложены и другие принципы карбюрирования (испарением с поверхности и барботажный способ), но в настоящее время они оставлены в виду получающейся неоднородности испаряющегося топлива и малой гибкости работы этих карбюраторов.



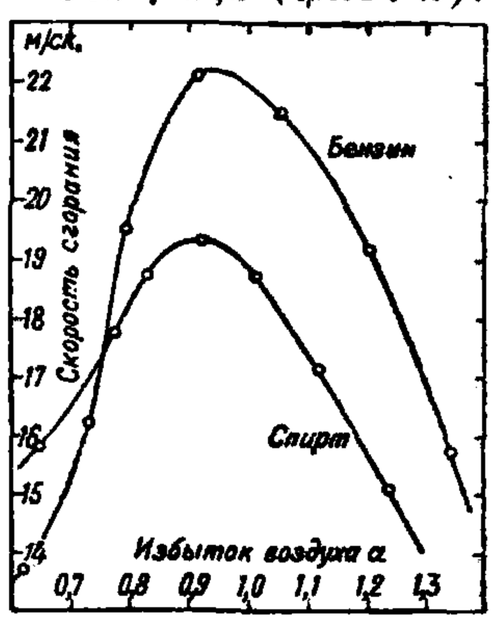
Фиг. 1.

Соотношение между воздухом и топливом. Всякая рабочая смесь, в зависимости от ее состава (соотношения между количеством воздуха и топливом), должна обладать определенными свойствами, необходимыми для ее воспламенения и быстрого сгорания в цилиндре двигателя. Смесь обладает способностью воспламеняться лишь при определенных пропорциях содержащихся в ней воздуха и топлива; при этом различают так наз. пределы воспламеняемости этой смеси. Высший предел соответствует такому составу рабочей смеси, когда при обогащении топливом она перестает воспламеняться, а низший предел — когда смесь при дальнейшем обеднении топливом также не воспламеняется. Количественно эти пределы определяются как %-ное по объему содержание топлива в рабочей смеси. Следовательно, высший предел есть максимум, а низший предел—минимум этого содержания. По данным пределам воспламеняемости м. б. определен соответствующий коэфф-т α избытка воздуха (представляющий отношение действительного количества воздуха в рабочей смеси к теоретически необходимому), к-рый является основной характеристикой состава рабочей смеси. Пределы воспламеняемости рабочих смесей и значения коэфф-та α для различных топлив приведены в табл. 1. Как видно, рабочая смесь, образованная из жидкого топлива, имеет сравнительно узкие интервалы пределов воспламеняемости, и потому К. должен всегда обеспечивать такой состав рабочей смеси, к-рый не выходил бы за эти пределы. Дальнейшим требованием, предъявляемым к К., является образование рабочей смеси такого состава, к-рый обеспечивал бы ее быстрое сгорание в двигателе, а следовательно, и ее хорошее использование как с точки зрения получения наибольшей мощности, так и экономичности. Эти последние требования сдвигают еще уже пределы состава рабочей смеси—до значений коэффициента α от 0,8 до 1,15 для бензина (при нормальном режиме мотора), между к-рыми и работают все современные легкие моторы.

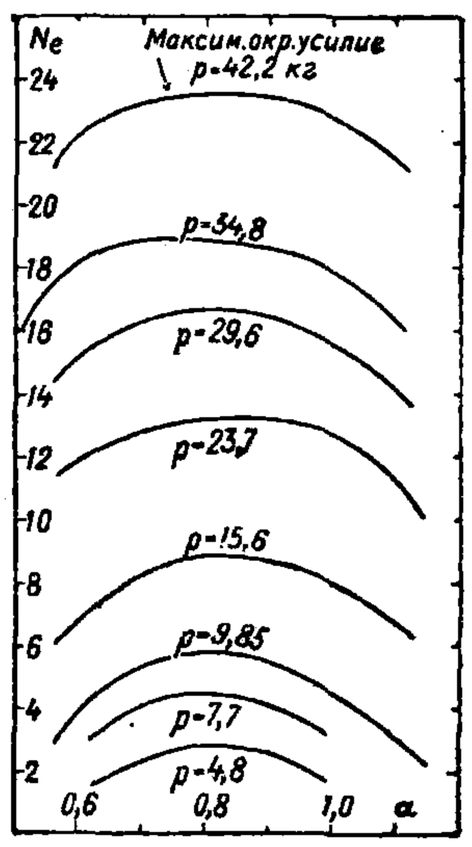
Табл. 1.—Высшие и низшие пределы воспламеняемости рабочих смесей и коэффициенты избытка воздуха.

Род топлива		Высший предел	Низший предел
Бензол	% топлива	6,5	2,65
	α	0,4	1,02
Бензин	% топлива	5,9	1,5
	α	0,3	1,23
Пентан	% топлива	4,9	2,4
	α	0,52	1,09
Спирт	% топлива	13,7	3,95
	α	0,44	1,7
Эфир	% топлива	7,7	2,7
	α	0,42	1,26

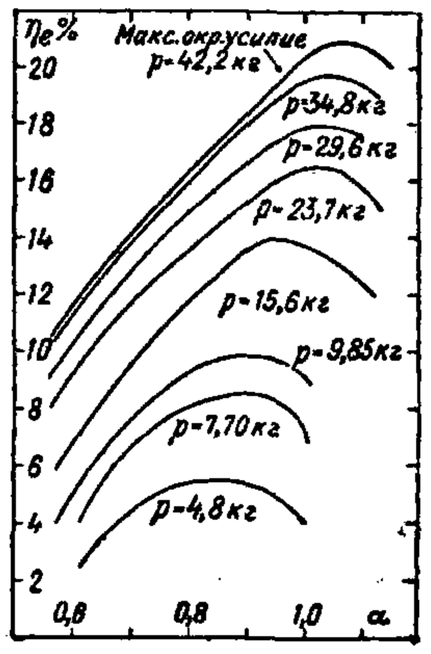
Из теоретич. рассмотрения рабочего цикла легкого двигателя следует, что его экономичность возрастает с увеличением коэфф. α; однако, переходя к действительному циклу, необходимо принять во внимание то обстоятельство, что скорость сгорания рабочей смеси имеет свое максимальное значение лишь при определенном ее составе, понижаясь в ту или другую сторону от максимального значения при $\alpha = 0.8 \div 0{,}9$ (фиг. 2). Соответственно этому наибольшая мощность двигателя получается при недостатке воздуха в рабочей смеси в 10—20%. Наибольшая экономичность соответствует избытку воздуха в 10—15% на полном дросселе. Зависимость мощности и экономичности от α при различных крутящих моментах дана на фиг. 3 и 4. Максимальная мощность для всех крутящих моментов соответствует 15—20% недостатка воздуха ($\alpha = 0{,}85 \div 0{,}80$), в то время как максимальная экономичность соответствует значениям α в пределах $0{,}8 \div 1{,}1$ в зависимости от крутящего момента. Для холостого хода необходимо обогащение рабочей смеси, т. к. оно соответствует и максимальной мощности и максимальной экономичности.



Фиг. 2.



Фиг. 3.

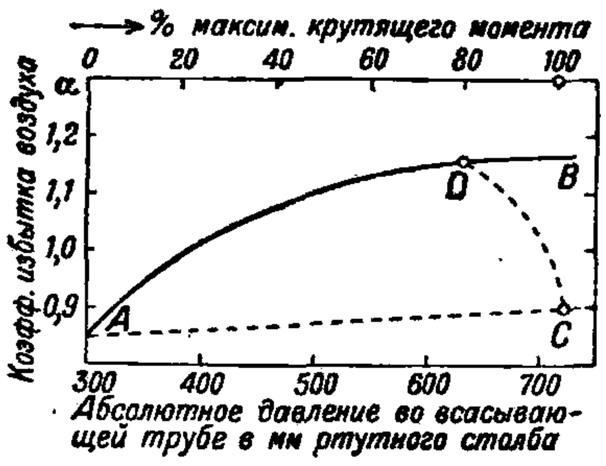


Фиг. 4.

На основе этих данных устанавливаются следующие требования, предъявляемые к автомобильным и авиационным К. Эксплоатационная мощность авиационного мотора в полете соответствует 90% его номинальной

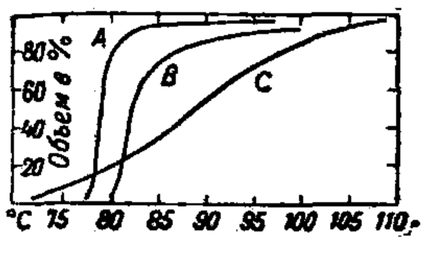
мощности; при этом режиме мотор должен работать достаточно экономично, чему соответствует регулировка К. на $\alpha \cong 1$. При полном открытии дросселя (напр. при взлете) д. б. предвидена возможность получения максимальной мощности за счет обогащения рабочей смеси и доведения α до значений 0,90—0,85. В автомобильном моторе К. должен давать хорошую экономичность при некоторой средней скорости автомобиля. Это обычно соответствует значению α около 1. Для получения максимальной мощности рабочая смесь должна быть обогащена, также как и при дросселировании. Вообще же стремятся, чтобы при достаточно широких пределах изменения скорости и крутящего момента К. давал экономичную смесь.

На фиг. 5 дано изменение коэфф-та избытка воздуха α для бензина в зависимости от абс. давления во всасывающей трубе или же, соответственно, от максимального крутящего момента при разных положениях дросселя. С прикрытием дросселя соответствующий максимальный крутящий момент получается при обогащении рабочей смеси от $\alpha=0{,}90$ до $\alpha=0{,}85$ (прямая AC) вследствие наличия большего относительного количества остаточных газов в цилиндре. Кривая ADC определяет такое изменение состава рабочей смеси, к-рое обеспечивает: 1) получение максимальной мощности при максимальном крутящем моменте (малые обороты и полный дроссель)—точка C, 2) экономичную работу при длительном режиме мотора—точка D и участок влево от нее, 3) устойчивую и достаточно экономичную работу на малом газе—точка A и близлежащий участок (обогащение рабочей смеси), что вытекает из вышеизложенного. Эта характеристика является основанием для регулировки К.

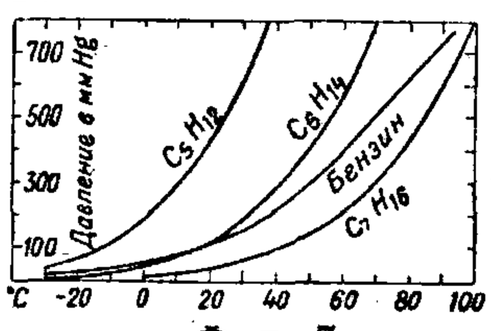


Фиг. 5.

Испарение. Как выше было указано, легкое топливо в процессе карбюрации должно испариться, что в свою очередь произойдет за счет отнятия тепла от воздуха и понижения его $t°$. Всякое жидкое топливо представляет собою смесь углеводородов с разными $t°_{кип.}$; поэтому процесс испарения топлива протекает при повышающейся $t°$ его: при некоторой определенной $t°$ начинают испаряться легкие фракции, а с повышением ее—и более тяжелые. Этот процесс носит название фракционной разгонки топлива. На фиг. 6 приведена зависимость объема испарившегося топлива (в процентах) от $t°$. При подсчете процесса испарения в К. условно принимают, что должно испариться 70% топлива, и по этому значению находят соответствующую $t°$, называемую у с л о в н о й $t°_{кип.}$ топлива при атмосферном давлении. Как и для всякой жидкости, эта $t°$ является функцией давления, а потому может быть определена соответствующая зависимость $t°_{кип.}$ от давления на основании ур-ия Клапейрона:



Фиг. 6. *A*—кривая испарения спирта, *B*—кривая испарения бензола, *C*—кривая испарения бензина.



Фиг. 7.

$$A\,(v-v')\,dP=\frac{r}{T}\,dT, \qquad (1)$$

где A—термич. эквивалент механич. работы, v—уд. объем насыщенного пара в $м^3/кг$, v'—уд. объем жидкости в $м^3/кг$, P—давление в $кг/м^2$ и r—скрытая теплота испарения. Связывая это ур-ие с характеристич. ур-ием

$$Pv=RT, \qquad (2)$$

пренебрегая объемом жидкости v' и заменяя $AR\cong\frac{2}{\mu}$, где μ—молекулярный вес, найдем:

$$\int_{P_1}^{P_2}\frac{dP}{P}=\frac{\mu}{2}\int_{T_1}^{T_2}\frac{r\,dT}{T^2}. \qquad (3)$$

После интегрирования получаем:

$$\ln P_1=\ln P_2-\frac{\mu r}{2}\cdot\frac{T_2-T_1}{T_2T_1}. \qquad (4)$$

На основании этого уравнения, задаваясь условной $t°_{кип.}$ данного топлива при атмосферном давлении, строим кривые зависимости давления от температуры (фиг. 7). Воздух и пары топлива, входящие в рабочую смесь, имеют свои парциальные давления, к-рые м. б. определены по закону Дальтона, на основании следующего ур-ия:

$$P_D=P\,\frac{G_D\cdot R_D}{G_L\cdot R_L+G_D\cdot R_D}, \qquad (5)$$

где P—давление в $кг/м^2$, G—вес в $кг$, R—характеристич. постоянная (индекс L относится к воздуху, индекс D—к парам топлива). Из ур-ий (5) и (4) определяются парциальное давление паров бензина в рабочей смеси и соответствующая ему $t°$ насыщения пара, являющаяся минимальной для испарения топлива. Теплоемкость смеси м. б. определена из ур-ия:

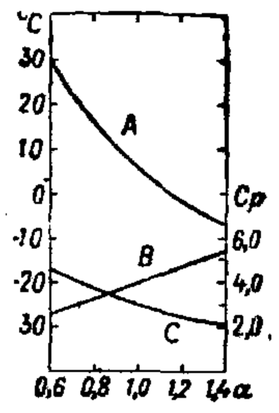
$$C_p=G_D\cdot C_{pD}+G_L\cdot C_{pL}, \qquad (6)$$

где C_p—теплоемкость смеси при постоянном давлении, C_{pD}—теплоемкость паров топлива при постоянном давлении, C_{pL}—теплоемкость воздуха при постоянном давлении. Деля скрытую теплоту испарения топлива r на теплоемкость рабочей смеси, отнесенную к 1 $кг$ топлива, определяют потребное понижение $t°$ воздуха:

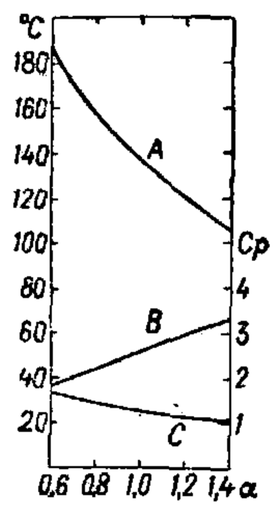
$$\Delta t=\frac{r}{C_p}. \qquad (7)$$

Складывая условную $t°_{кип.}$ топлива при его парциальном давлении в смеси с величиной Δt, получаем минимальную $t°$ воздуха, поступающего в карбюратор, обеспечивающую испарение: $t_{min}=t_{кип.}+\Delta t$. Как видно, эта величина зависит в сильной степени от скрытой теплоты испарения топлива и от состава рабочей смеси: с повышением r необходимая темп-ра воздуха растет, с увеличением α она падает. Эти влияния изображены на фиг. 8 и 9. Скрытая теплота испарения спирта равна 288 Cal, бензина—76 Cal, благодаря чему и минимальная $t°$ поступающего воздуха для спирта д. б. значитель-

но выше, что влечет за собой необходимость сильного подогрева воздуха в спиртовых К. Полное испарение топлива не является обязательным для успешного его сжигания: оно может быть подано в цилиндры в туманообразном состоянии, требующем его тонкого



Фиг. 8. *A* — кривая минимальной *t*° при полном испарении бензина, *B* — кривая теплоемкости смеси, *C* — кривая *t*° насыщенного пара.

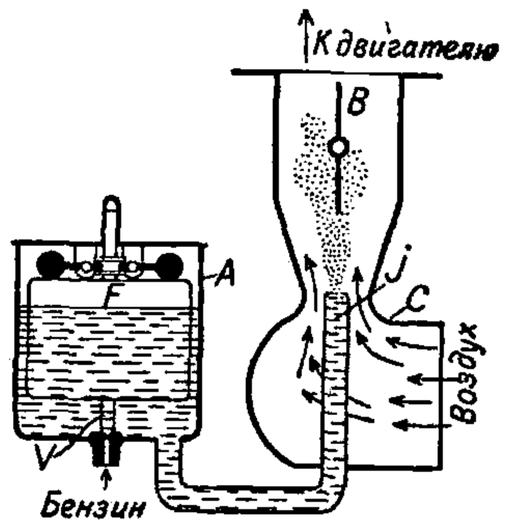


Фиг. 9. *A* — кривая минимальной *t*° воздуха при полном испарении спирта, *B* — кривая теплоемкостей смеси, *C*—кривая *t*° насыщенного пара.

распыливания. По опытам Габера (Haber), такие рабочие смеси могут работать при значениях $\alpha \cong 2$, однако скорости сгорания получаются значительно пониженными, что влечет за собой снижение мощности и экономичности машины. Сжигание топлива в туманообразном состоянии имеет место при работе тяжелых, трудно испаряемых топлив, а частично—при всяком топливе, т. к. К. никогда не может обеспечить полного испарения топлива.

В К., работающих на тяжелых топливах, достигнуть совершенного испарения топлива практически почти невозможно, а потому для них особое значение приобретает образование стойких туманообразных смесей. Под тяжелыми топливами понимаются такие топлива, которые испаряются в интервале 100÷320°. В СССР таким топливом является гл. обр. керосин. По данным Вильсона (Wilson), для полного испарения керосина необходима темп-ра рабочей смеси в среднем не ниже 135°. Это м. б. достигнуто лишь путем значительного подогрева как поступающего в К. воздуха, так и рабочей смеси. Тепла выхлопных газов при малых нагрузках и оборотах для этой цели обычно нехватает; кроме того, столь высокая *t*° вызывает значительное уменьшение коэфф-та наполнения, а следовательно, и мощности двигателя. Поэтому приходится довольствоваться образованием в кабюраторе туманообразной рабочей смеси, заботясь о том, чтобы эта смесь не конденсировалась на стенках подводящих труб и чтобы топливо не коксовалось в цилиндровой головке и на днище поршня. По данным Вильсона, эти требования достижимы при *t*° туманообразной смеси 70—80° и при скоростях этой смеси в трубопроводах ок. 100 *м/ск*. Получение таких туманообразных смесей осуществляется либо горячим способом, т. е. путем подвода тепла в К. извне, либо холодным способом, т. е. механич. путем. По первому способу наибольшим распространением пользуется сильный подогрев топлива в небольшом количестве воздуха; получающаяся переобогащенная смесь топлива и воздуха перемешивается затем с остальной массой рабочего воздуха, при чем бо́льшая часть топлива переходит в туманообразное состояние, будучи хорошо распределена в воздухе. Имеет также распространение способ частичного сжигания топлива в самом К., в особой камере, и примешивания образовавшихся горячих газов к основной массе рабочей смеси для ее нагрева. По второму способу, устойчивые туманообразные смеси образуются путем распыливания при помощи сжатого воздуха и многократного расширения. Особняком стоит метод образования рабочей смеси из тяжелого топлива путем его крекирования в специальном аппарате, составляющем неотъемлемую часть карбюратора.

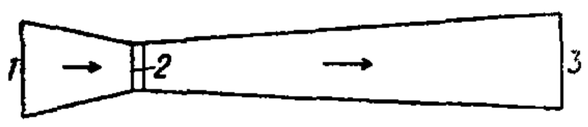
Истечение. Во вспрыскивающем К. процессы перемешивания топлива с воздухом и его испарения осуществляются за счет относительного движения воздуха и топлива; при этом, согласно схемы фиг. 10, топливо из поплавковой камеры *A* поступает в жиклер *J* и, за счет создаваемой в этом месте большой скорости протекающего воздуха, засасывается из жиклера и разбрызгивается. Повышенная скорость воздуха у жиклера создается за счет сужения воздушного потока, соответственно чему в этом месте происходит понижение давления, и топливо истекает из жиклера под влиянием разности давлений в поплавковой камере и в суженном сечении. Это суженное место носит название диффузора (*C*), или корсета карбюратора. В поплавковой камере поддерживается постоянный уровень топлива при помощи иглы *V* и связанного с ней поплавка *F*.



Фиг. 10.

Основная задача процесса образования рабочей смеси при различных количествах воздуха, протекающего через К., соответственно меняющемуся режиму мотора, заключается в получении смеси определенного наивыгоднейшего состава. В легких двигателях изменение режима соответствует или изменению мощности в зависимости от числа оборотов при полном открытии дросселя при неизменном начальном давлении поступающего воздуха (работа на земле) или изменению мощности при постоянном числе оборотов мотора, но при меняющемся начальном давлении рабочего воздуха (работа на высоте); наконец, возможно изменение режима за счет дросселирования, осуществляемого путем прикрытия дроссельной заслонки *B* (фиг. 10). Если бы количество топлива, которое вытекает из жиклера, было прямо пропорционально количеству засасываемого воздуха, то состав рабочей смеси оставался бы постоянным. В действительности этой зависимости не существует. Чтобы выявить действительное изменение состава рабочей смеси при изменяющемся количестве проходящего через К. воздуха, рассмотрим те законы, к-рым подчиняются процессы протекания воздуха через диффу-

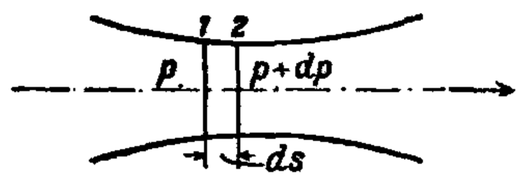
зор и процессы истечения топлива из жиклера. Диффузор К. обыкновенно имеет форму, представленную на фиг. 11; он состоит из 3 частей: суживающегося входа, горловины и расширяющейся выходной части. Если поперечные сечения входа и выхода одинаковы, то при отсутствии трения и вихрей, давления в сечениях *1* и *3* д. б. одинаковыми; в действительности давление в сечении *3* всегда меньше давления в сечении *1*; эта потеря напора обусловливается скоростью протекающего воздуха, формой корсета, сопротивлением жиклера и уд. в. топлива. Коэфф-т расхода, т. е. отношение истинного расхода к теоретическому, таких корсетов колеблется в пределах от 0,94 до 0,99; для получения их максимальных значений необходимо делать угол конуса суживающейся части не выше 30°, а угол конуса расширяющейся части—от 5 до $7^1/_2°$.



Фиг. 11.

Протекание воздуха через диффузор. Закон протекания воздуха получается из следующих соотношений. Пусть имеется трубопровод переменного сечения, и воздух движется в направлении, указанном стрелкой (фиг. 12). Рассматривая перемещение воздуха из сечения *1* в сечение *2* на длину ds и предполагая изменение давления в потоке на величину dp, найдем действующую силу, заставляющую воздух двигаться, равной

$$[p-(p+dp)]F=-F\,dp\,.$$



Фиг. 12.

Эта сила д. б. равна силе, полученной от ускорения движения воздуха на пути ds, т.е.

$$-F\,dp=mj=m\frac{dw}{dt}\,. \qquad (8)$$

Принимая во внимание, что

$$m=\frac{F\cdot ds\cdot\gamma}{g} \qquad (9)$$

и $\gamma=\frac{1}{v}$, находим:

$$-F\,dp=\frac{F\cdot ds\cdot\gamma}{g}\cdot\frac{dw}{dt}=F\cdot\frac{\gamma}{g}\cdot\frac{ds}{dt}\cdot dw=F\cdot\frac{\gamma}{g}\cdot w\cdot dw\,.$$

Отсюда

$$-dp=\frac{\gamma}{g}\cdot w\cdot dw\,,$$

или

$$-v\cdot dp=\frac{w\cdot dw}{g}\,, \qquad (10)$$

где m—масса воздуха в $кг\cdot сек^2/м$, j—ускорение в $м/сек^2$, w—скорость в $м/сек$, γ—об. вес воздуха в $кг/м^3$, F—площадь рассматриваемого поперечного сечения диффузора в $м^2$, g—ускорение силы тяжести в $м/сек^2$, v—уд. объем воздуха в $м^3/кг$, p—давление в $кг/м^2$. Интегрируя ур-ие (10), получим:

$$-\int_{p_1}^{p_2}v\cdot dp=\int_{w_1}^{w_2}\frac{w\cdot dw}{g}=\frac{w_2^2}{2g}-\frac{w_1^2}{2g}\,;$$

$$-\int_{p_1}^{p_2}v\cdot dp=\frac{w_2^2}{2g}-\frac{w_1^2}{2g}\,. \qquad (11)$$

При работе К. обычно падение давления в корсете не очень велико, и изменением уд. объема воздуха можно пренебречь, т. е. принимать $v=\mathrm{Const}$. Получающиеся при этом ошибки практически оказываются ничтожными. Тогда найдем:

$$v(p_1-p_2)=\frac{w_2^2}{2g}-\frac{w_1^2}{2g}\,, \qquad (12)$$

или

$$\frac{p_1}{\gamma}-\frac{p_2}{\gamma}=\frac{w_2^2}{2g}-\frac{w_1^2}{2g}\,; \qquad (12')$$

отсюда

$$\frac{p_1}{\gamma}+\frac{w_1^2}{2g}=\frac{p_2}{\gamma}+\frac{w_2^2}{2g}=\mathrm{Const}, \qquad (13)$$

т. е. для любого сечения потока

$$p+\frac{w^2}{2g}\cdot\gamma=\mathrm{Const}\,; \qquad (14)$$

p—статич. давление в потоке, измеряется напором h_s в $мм$ водяного столба, $\frac{w^2}{2g}\cdot\gamma$—гидродинамическое давление в потоке, измеряется напором h_w. Суммарное давление в трубопроводе

$$H=h_s+h_w\,. \qquad (15)$$

Из уравнений (14) и (15) имеем:

$$\frac{w^2}{2g}\cdot\gamma=H-h_s\,;$$

$$w=\sqrt{\frac{2g(H-h_s)}{\gamma}}=\sqrt{\frac{2g\cdot h}{\gamma}}\,. \qquad (16)$$

Так как секундный расход воздуха выражается уравнением

$$G=w\cdot F\cdot\gamma\,,$$

то

$$G=F\sqrt{2g\cdot h\cdot\gamma}\,. \qquad (17)$$

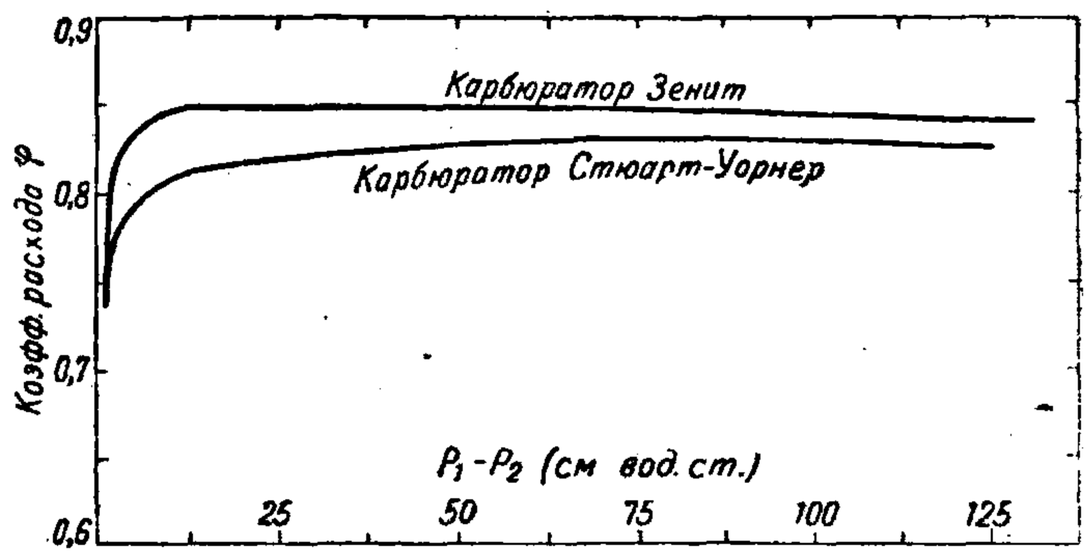
В ф-лах (16) и (17) h есть гидродинамич. давление, обусловленное скоростью протекающего воздуха или, соответственно, напор в $мм$ вод. ст., а F—площадь наименьшего сечения диффузора в $м^2$. Принимая для К. начальную скорость $w_1=0$, из ур-ия (13) получим:

$$G=F\sqrt{2g(p_1-p_2)\gamma}=4{,}43F\sqrt{(p_1-p_2)\gamma}\,. \qquad (18)$$

Т. о., расход воздуха зависит от падения давления в корсете К. и от плотности окружающего воздуха. В действительности величина расхода G меньше вследствие указанных выше потерь напора за счет сопротивления трения и завихрения потока. Эта потеря оценивается коэфф. расхода φ и определяется опытным путем для данного диффузора. Обозначая $4{,}43\,\varphi$ через A, найдем:

$$G=A\cdot F\sqrt{(p_1-p_2)\gamma}=A\cdot F\sqrt{h\cdot\gamma}\,. \qquad (18')$$

На фиг. 13 приведены изменения коэфф-та



Фиг. 13.

расхода φ в зависимости от падения давления для двух К.—Зенит и Стюарт-Уорнер. Как видно, коэфф-ты расхода не остаются постоянными при изменении напора, что и указывает на несколько меняющийся против уравнения (18) закон протекания воздуха по диффузору, обусловленный дополнительными влияниями вихреобразований в потоке, точно не учтенными. Вообще следует отме-

тить, что ф-лы (16), (17) и (18) справедливы лишь для случая завихренного движения, когда скорости протекающего воздуха выше критич. скорости. Значение последней находится в обратной зависимости от диаметра трубопровода и в прямой зависимости от падения давления, что видно из табл. 2.

Табл. 2.—Значения критических скоростей $w_к$ (в *м/сек*).

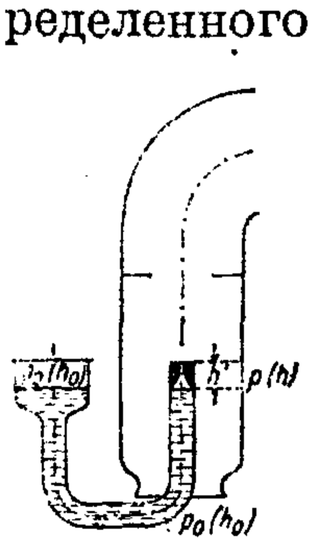
(p_1-p_2) в *кг/см²* \ D в *мм*	25	50	100
0,2	1,2	0,6	0 3
1,0	6,0	3,0	1,5

При тех разрежениях, которые имеют место в К., скорость воздуха $w > w_к$., и движение воздуха в К. всегда вихревое. Если $w < w_к$., то движение является струйным и не подчиняется выведенному выше закону, а следует экспериментальному закону Пуазейля (Poiseuille). Такой случай движения может иметь место при истечении топлива из жиклера и разобран подробно ниже.

Истечение топлива из форсунки (жиклера). Закон истечения топлива из жиклера определяется в значительной степени формой самого жиклера, обусловливающей либо струйное либо завихренное протекание топлива. В случае струйного протекания топлива, процесс истечения его выражается законом Пуазейля, по которому напор h_r в *мм* водяного столба, преодолевающий сопротивления, выражается:

$$h_r = 32w \frac{l}{d^2} \cdot \eta , \qquad (19)$$

где w—скорость в *м/сек*, l—длина трубы в *м*, d—ее диам. в *м*, η—коэффициент внутреннего трения жидкости в *кг · сек/м²*. Таким образом, напор пропорционален первой степени скорости. Эта формула предполагает отсутствие завихренных движений в потоке, что может иметь место, как указано выше, лишь до определенного критическ. значения скорости.



Фиг. 14.

Действительная скорость движения топлива м. б. меньше и больше этой критич. скорости ($w \gtrless w_к$), благодаря чему закон Пуазейля в жиклерах не м. б. применен для всех режимов мотора. Это дополнительное влияние вихрей, как выше было указано, пропорционально квадрату скорости, и, так. образ. в случае завихренного движения закон истечения из жиклера должен выразиться уравнениями:

$$w = c\sqrt{\frac{h}{\gamma_m}} \quad \text{и} \quad g' = C \cdot f \cdot \sqrt{h \cdot \gamma_m} , \qquad (20)$$

где w—скорость топлива в *м/сек*, g'—расход топлива, f—площадь поперечного сечения в *м²*, γ_m—об. в. топлива в *кг/м³*, h—напор в *кг/м²* (или в *мм* водяного столба), c и C—числовые коэффициенты. В обычном жиклере истечение топлива подчиняется нек-рому промежуточному закону Руммеля (Rummel), т. е. величина напора зависит от 1-й и 2-й степеней скорости, согласно ур-ию:

$$\frac{p_r}{\gamma_m} = \frac{p_0 - p}{\gamma_m} = a_1 w + a_2 w^2 , \qquad (21)$$

где a_1 и a_2 — коэффициенты, определяемые экспериментальным путем. На фиг. 14 дана схема расположения жиклера с указанием всех пьезометрических высот, отсчитываемых от атмосферы; применяя ур-ие Бернулли, находим:

$$\frac{w^2}{2g} + h' + \frac{p_r}{\gamma_m} = h_0 - h , \qquad (22)$$

где $h_0 = 0$ соответствует атмосферному давлению. Соединяя ур-ия (21) и (22), получим:

$$w^2 \left(\frac{1}{2g} + a_2\right) + a_1 w + h' = -h .$$

Вводя выражение расхода топлива в ск. $Q = w\ f\ м^3/сек$, находим ур-ие для расхода:

$$\left(\frac{Q}{f}\right)^2 \left(\frac{1}{2g} + a_2\right) + \frac{Q}{f} \cdot a_1 = -(h + h') ,$$

или

$$c_1 \cdot Q^2 + c_2 \cdot Q = H , \qquad (23)$$

где $H = -(h + h')$ есть полное разрежение в *м* столба топлива; $c_1 = \left(\frac{1}{2g} + a_2\right) \cdot \frac{1}{f^2}$; f является площадью сечения распылителя; $c_2 = a_1 \cdot \frac{1}{f}$. Т.о., в двух частных случаях м. б. получены законы истечения, соответствующие или струйному или завихренному движению. Конструктивно могут быть выполнены форсунки, осуществляющие эти законы; рассмотрение их изложено ниже.

Изменение состава рабочей смеси при разных условиях работы. Воздух, протекая через К., всегда подчиняется вихревому закону течения, т. е. его количество пропорционально корню квадратному из величины напора; топливо может вытекать из жиклера как по закону вихревого, так и по закону струйного движения или нек-рому промежуточному; поэтому необходимо рассмотреть влияние этих течений на состав рабочей смеси в К. при разных условиях его работы.

Случай: топливо вытекает из жиклера по закону вихревого движения; изменяется количество протекающего воздуха соответственно изменению числа оборотов мотора при неизменном положении дросселя. Для двух режимов, 1 и 2, обозначая количество воздуха в *кг* через G_1 и G_2 и количество топлива в *кг* соответственно через g_1 и g_2, найдем коэфф. избытка воздуха:

$$a_1 = \frac{G_1}{L_0 \cdot g_1} \quad \text{и} \quad a_2 = \frac{G_2}{L_0 \cdot g_2} ,$$

где L_0—количество *кг* воздуха, теоретически необходимое для сжигания 1 *кг* топлива. Отсюда

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{G_2}{G_1} \cdot \frac{g_1}{g_2} . \qquad (24)$$

По ф-ле (18′) имеем:

$$G_1 = A \cdot F\sqrt{h_1 \cdot \gamma_1} \quad \text{и} \quad G_2 = A \cdot F\sqrt{h_2 \cdot \gamma_2} .$$

Т. к. принимается, что $\gamma_1 = \gamma_2$, то

$$\frac{G_2}{G_1} = \frac{\sqrt{h_2}}{\sqrt{h_1}} .$$

По формуле (20),

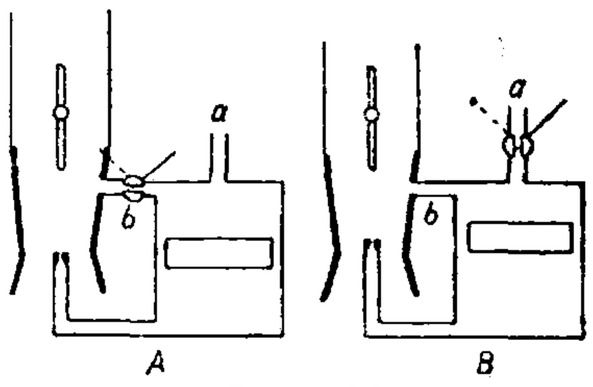
$$g_1 = C \cdot f\sqrt{h_1 \gamma_m} , \quad g_2 = C \cdot f\sqrt{h_2 \gamma_m} \quad \text{и} \quad \frac{g_1}{g_2} = \frac{\sqrt{h_1}}{\sqrt{h_2}} .$$

Подставляя отношения $\frac{G_2}{G_1}$ и $\frac{g_1}{g_2}$ в ур-ие (24), находим:

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{\sqrt{h_2}}{\sqrt{h_1}} \cdot \frac{\sqrt{h_1}}{\sqrt{h_2}} = 1 ,$$

главный жиклер C; она подает топливо из промежуточного колодца J, соединенного с атмосферой. Количество топлива, подаваемого этой последней форсункой, обусловливается калиброванным отверстием (жиклером) I, через к-рое топливо подается в колодец J под постоянным напором, соответствующим уровню топлива в поплавковой камере и не зависящим от режима мотора. При неработающем двигателе колодец J заполнен топливом до уровня поплавковой камеры. При увеличении числа оборотов количество поступающего из жиклера I топлива относительно меньше расходуемого К. из форсунки H, благодаря чему уровень топлива в колодце J понижается. Главная форсунка C делается таких размеров, что она при всех режимах подает недостаточное количество топлива. Когда весь бензин из колодца J будет израсходован, через жиклер I будет продолжать поступать постоянное количество топлива, к-рое в смеси с воздухом направляется из жиклера H в корсет карбюратора, компенсируя тем самым обогащение рабочей смеси. В то же время воздух, поступающий через жиклер H, уменьшает разрежение около жиклера C, производя этим тормозящее действие на основную массу топлива, вытекающего из главного жиклера C.

Регулировка на холостом ходу. При работе двигателя на прикрытом дросселе требуется обогащение рабочей смеси. Жиклеры всех современных К. отрегулированные на правильный состав рабочей смеси при нормальных рабочих режимах двигателя, не могут обеспечить переобогащение ее на холостом ходу, гл. обр. вследствие малого разрежения в корсете при работе на малом газе.

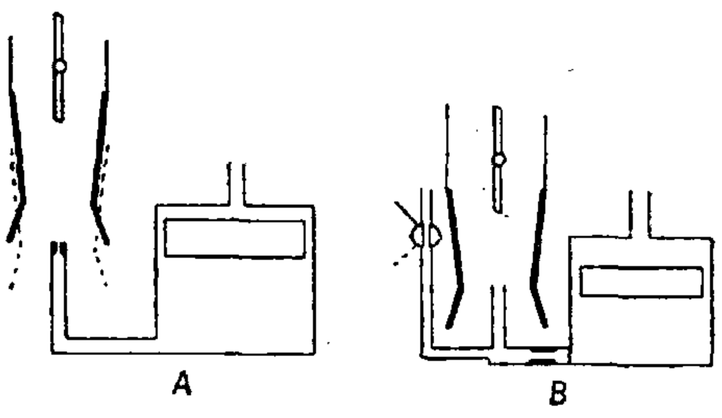


Фиг. 22.

Для этой цели К. снабжают дополнительными приспособлениями, дающими возможность подавать топливо непосредственно из поплавковой камеры в смесительную у дроссельной заслонки. Разрежение, созданное при торможении дросселем протекающего воздуха, достаточно для подсасывания бензина, обеспечивающего богатую рабочую смесь. Схема и конструкция таких приспособлений разобраны ниже.

При переводе двигателя на работу при полном дросселе происходит сильное обеднение рабочей смеси. Это является следствием сильного увеличения разрежения в смесительной камере, благодаря чему увеличение притока бензина не может следовать за повышением количества воздуха из-за большей инерции топлива по сравнению с инерцией воздуха. Для устранения этого явления необходимо иметь некоторый запас бензина за жиклером, к-рый можно было бы использовать при быстром переводе двигателя на полный газ. Для этой цели и служат специальные колодцы, наполняемые топливом при холостом ходе двигателя.

Высотная регулировка. В авиамоторах К. работают при плотности воздуха, изменяющейся от высоты полета аппарата. Как было доказано, в случае изменения γ постоянство рабочей смеси обеспечивается лишь при капиллярных жиклерах, т. е. при истечении топлива, следующем закону Пуазейля. Для поддержания требуемого состава рабочей смеси при подъеме на высоту в большинстве случаев устраиваются дополнительные приспособления, основные схемы которых приведены на фиг. 22 и 23. В схеме А фиг. 22 поплавковая камера соединена особым вентилем b с корсетом К. и отверстием a с атмосферой. Открывая вентиль b, мы уменьшаем давление в камере, уменьшая тем самым напор, под к-рым вытекает топливо из жиклера, и обедняем, таким образом, рабочую смесь с подъемом аппарата на высоту. В схеме В фиг. 22 это же достигается в обратном порядке, т. е. поплавковая камера постоянно соединена с корсетом отверстием b и имеет вентиль a, сообщающий ее с атмосферой. Прикрывая вентиль a, мы держим поплавковую камеру под бо́льшим разрежением и, следовательно, обедняем рабочую смесь. В схеме А фиг. 23 обеднение рабочей смеси осуществляется за счет подвижного корсета карбюратора. При работе на земле отверстие жиклера располагается в узком сечении корсета; при подъеме на высоту корсет передвигается вверх, разрежение у устья жиклера тем самым уменьшается, и рабочая смесь обедняется. На схеме В фиг. 23 регулировка осуществляется за счет большего или меньшего торможения соответствующим вентилем дополнительного тормозящего воздуха: при полном открытии этого вентиля поступающий тормозящий воздух уменьшает количество вытекающего топлива; при прикрытии вентиля рабочая смесь соответственно обогащается. Указанная высотная регулировка в большинстве случаев осуществляется вручную, так что К. заранее регулируется на нормальный состав для работы на земле, а с подъемом на высоту пилот воздействует на высотное приспособление.



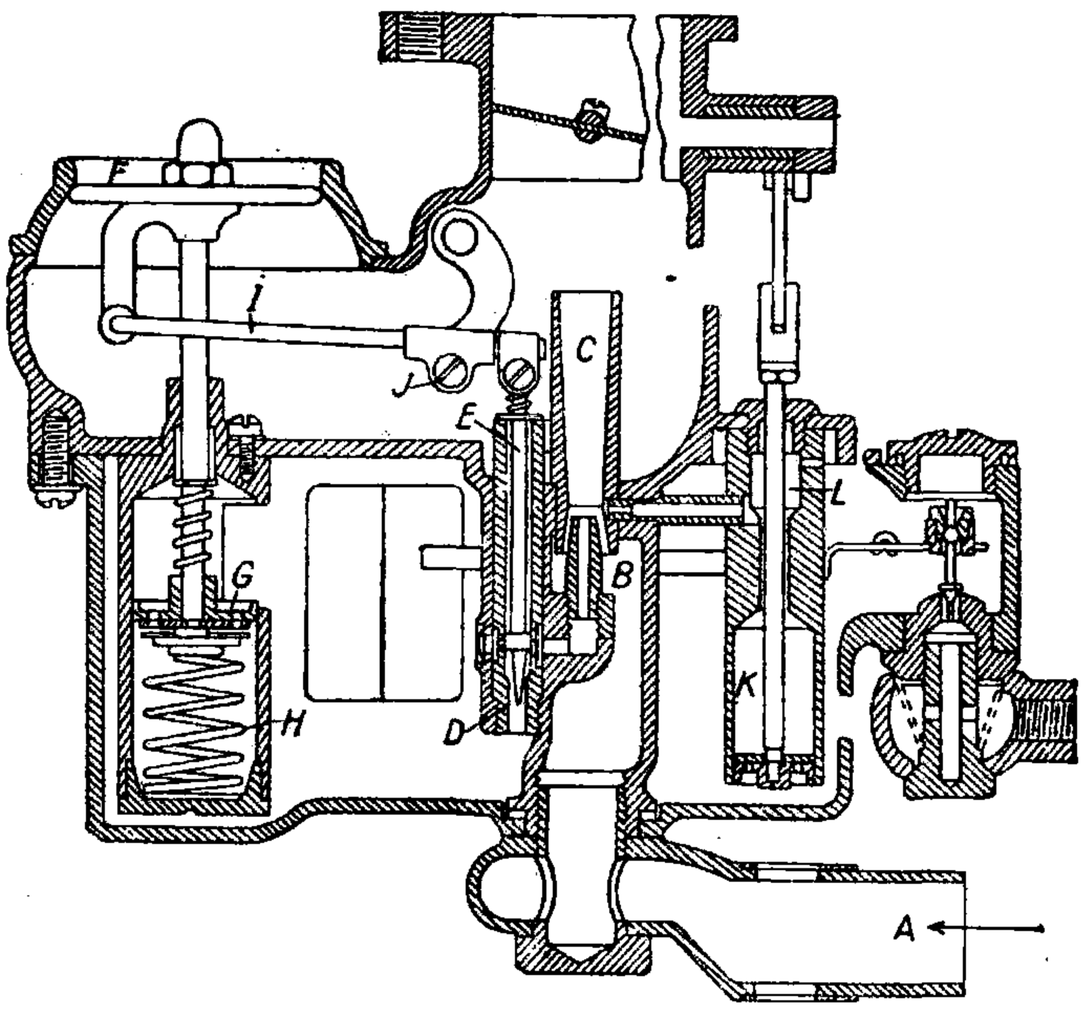
Фиг. 23.

Распределение рабочей смеси в многоцилиндровых моторах. Если карбюратор должен питать рабочей смесью несколько цилиндров, то в этом случае возникает задача равномерного распределения рабочей смеси по цилиндрам. Практически это осуществляется подбором длин и форм трубопроводов, соединяющих К. с цилиндрами, а также очередностью поступления рабочей смеси в отдельные цилиндры. В действительно исполненных двигателях полной равномерности распределения рабочей смеси, однако, не наблюдается, и приходится мириться с некоторыми отклонениями, стремясь доводить их до минимума. Согласно испытаниям, произведенным Bureau of Mines над четырехцилиндровым двигателем при 1 000 об/м., неравномерность распределения рабочей смеси, поступающей в отдельные цилиндры, в силь-

ной степени зависит от регулировки К.; при регулировке на бедную рабочую смесь количество поступающей в отдельные цилиндры смеси колеблется в значительно меньших пределах (от 24,6 до 25,5% при $\alpha=1{,}25$), чем это наблюдается при богатых смесях (от 24,2 до 26,4% при $\alpha=0{,}65$).

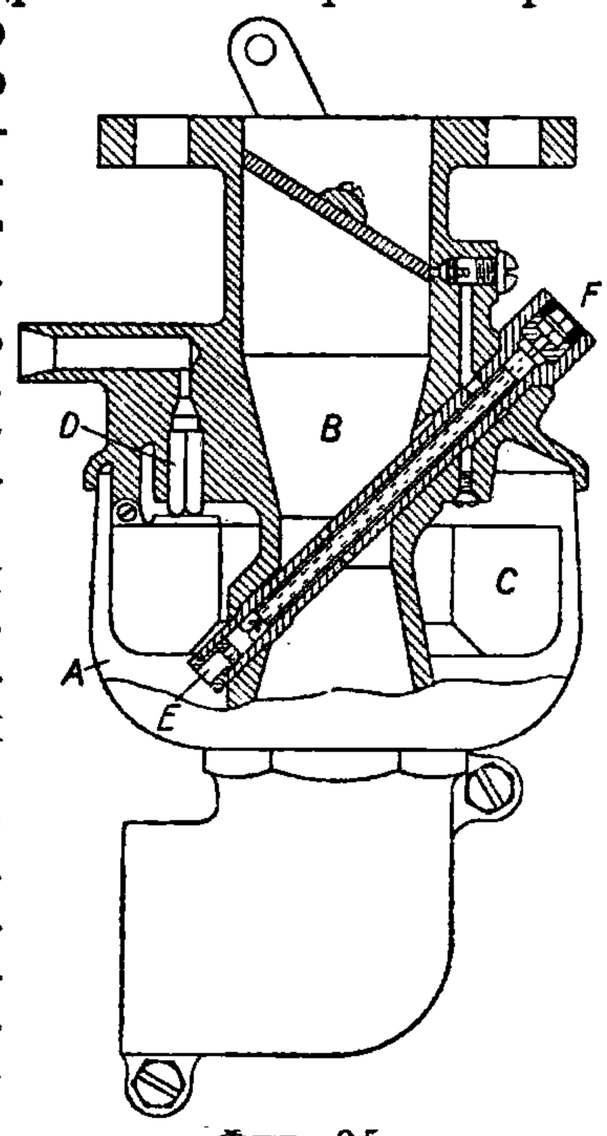
Подогрев рабочей смеси. Для надежного испарения топлива в рабочей смеси требуется подогрев поступающего воздуха, при чем необходимая степень подогрева зависит: 1) от сорта топлива, 2) от состава рабочей смеси и 3) от состояния наружного воздуха. Подогрев воздуха до К. осуществляется обычно т. о., что воздух засасывается через манжету, окружающую выхлопную трубу, и тепло отходящих газов используется для подогрева воздуха. Иногда воздух до поступления в К. просасывается через нижнюю часть картера, отнимает от него тепло и подогревается. Чрезмерный подогрев воздуха связан с сильным уменьшением его плотности, а следовательно, коэфф-та подачи и мощности мотора. Более распространенным является подогрев рабочей смеси после образования ее в К., что осуществляется при помощи специальной рубашки вокруг трубопровода смеси, через к-рую проходит часть выхлопных газов или горячая вода из мотора. Рубашка часто окружает верхнюю часть К., составляя с ним одно целое.

Конструкции основных типов современных карбюраторов. К. системы Шеблера изображен на фиг. 24 в разрезе. Его отличительные свойства—регулировка состава рабочей смеси при помощи клапанов добавочного воздуха и изменения сечения жиклера иглой. Основной воздух поступает



Фиг. 24.

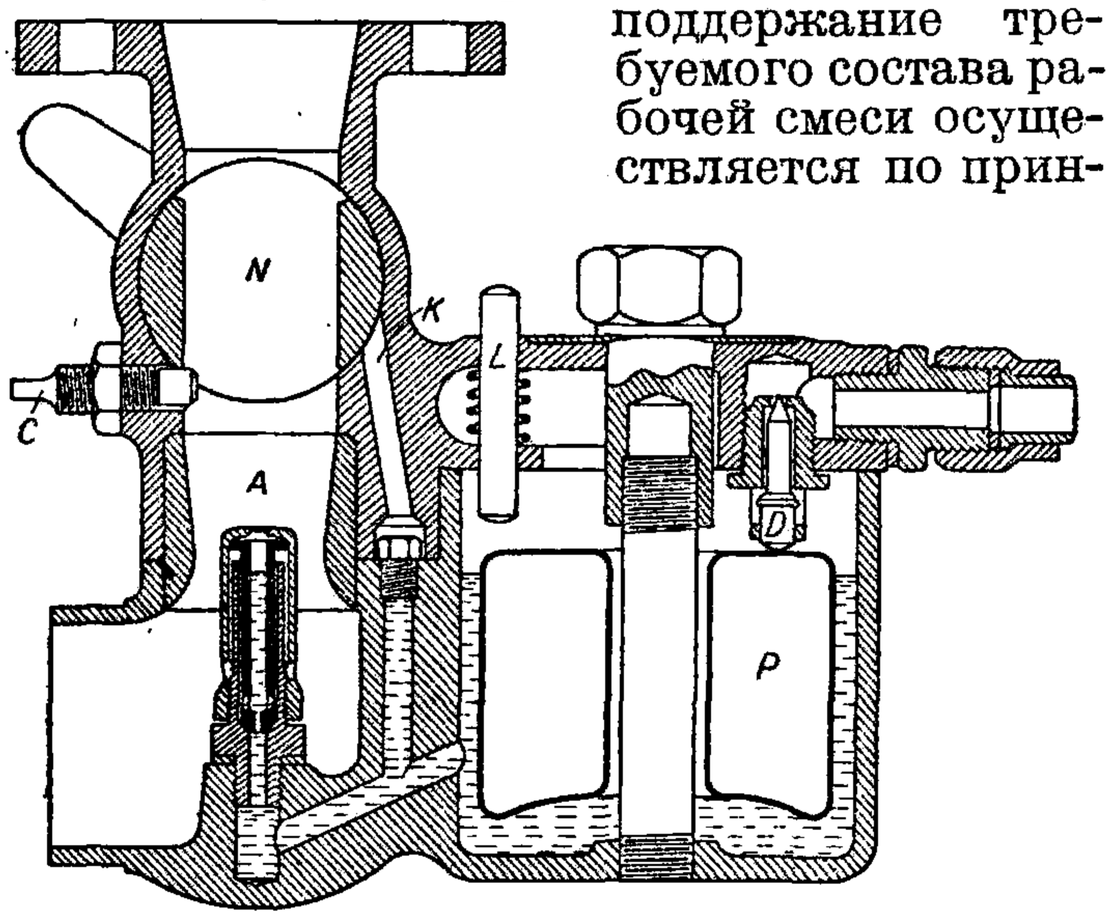
по всасывающей трубе A и, проходя через корсет К. C, распыливает топливо, впрыскиваемое через жиклер B. Количество вытекающего топлива зависит от величины отверстия D и положения иглы E. Для подачи дополнительного воздуха служит клапан F, на оси к-рого в поплавковой камере сидят поршенек G и пружина H. Клапан F и игла форсунки E связаны между собой рычагом I, сидящим на оси J, к-рая, в свою очередь, может перемещаться. При открытии клапана F игла E приподнимается и увеличивает сечение жиклера для протока топлива. Степень обогащения рабочей смеси при этом будет, однако, зависеть от положения оси J, управляемой снаружи от руки или рычагом дроссельной заслонки. На оси дроссельной заслонки укреплен кулачок, к-рый при некотором ее положении упирается в шуруп, сидящий на рычажке, соединенном с осью J. При дальнейшем открытии дросселя кулак, нажимая на шуруп, заставит переместиться ось J, благодаря чему игла E поднимется и обогатит рабочую смесь, что и требуется при работе на полном газе. То же м. б. осуществлено шофером при помощи специальной тяги и чаще всего имеет место при пуске двигателя. Установка дросселя при работе на холостом ходу осуществляется упорным шурупом на дроссельной заслонке. При нормальных скоростях автомобиля положение оси J фиксируется специальным упорным шурупом на внешней стороне К. Для получения же максимальной мощности служит кулачок, действие к-рого описано выше. К. снабжен приспособлением, обеспечивающим приемистость мотора при внезапном открывании дросселя. Оно состоит из бензинового насосика K, скалка поршня к-рого соединена с дросселем. При быстром повороте последнего насос подает топливо по кольцевому пространству L непосредственно в корсет К. и тем сильно обогащает смесь. Т. о., в данном типе К. требуемый состав рабочей смеси на разных режимах мотора осуществляется при помощи довольно сложных приспособлений, состоящих из ряда подвижных деталей, что делает К. капризным и мало надежным в эксплоатации. К. системы Шеблера распространен исключительно на американских автомобилях.



Фиг. 25.

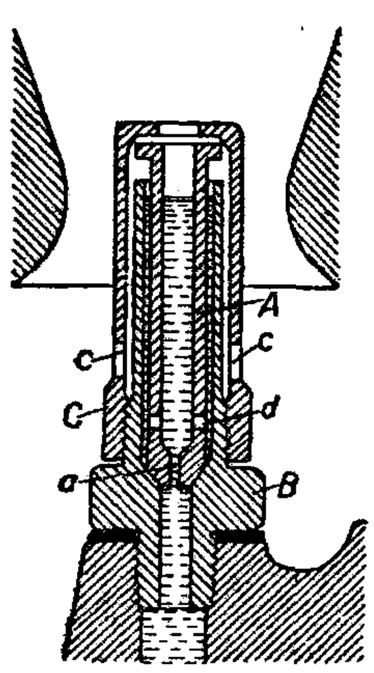
К. системы Паллас (фиг. 25) состоит из поплавковой камеры A, окружающей диффузор B, и кольцеобразной формы поплавка C', подвешенного на одном конце и действующего непосредственно на запорную иглу D, управляющую доступом бензина в поплавковую камеру. Форсунка расположена наклонно в корсете К., составляющем одно целое с его корпусом. Калиброванное отверстие E жиклера расположено внизу и затоплено бензином в поплавковой камере. Внутри форсунки вставлена трубочка, образующая в ней кольцевое пространство и имеющая в нижнем конце сверления, а в верхнем—жиклер F для тормозящего воздуха. Этот последний, поступая в форсунку сверху по внутренней трубочке, смешивается с топливом у устья топливного жиклера и, производя на него тормозящее действие, вместе с ним по внешнему кольцевому

пространству направляется в корсет К. через видимые на чертеже отверстия. Жиклер холостого хода образован сверлениями в теле К. и отверстием в основной форсунке. Он подает топливо непосредственно у дроссельной заслонки и действует, когда в этом месте образуется сильное разрежение при прикрытом дросселе, чем и обеспечивается требуемое обогащение рабочей смеси на холостом ходу. Так. обр., в К. системы Паллас поддержание требуемого состава рабочей смеси осуществляется по принципу торможения топлива специальным воздухом, без помощи каких-либо подвижных деталей. Конструкция К. проста и надежна; одним из ее преимуществ является легкая смена форсунки. К. системы Паллас является К. автомобильного типа.



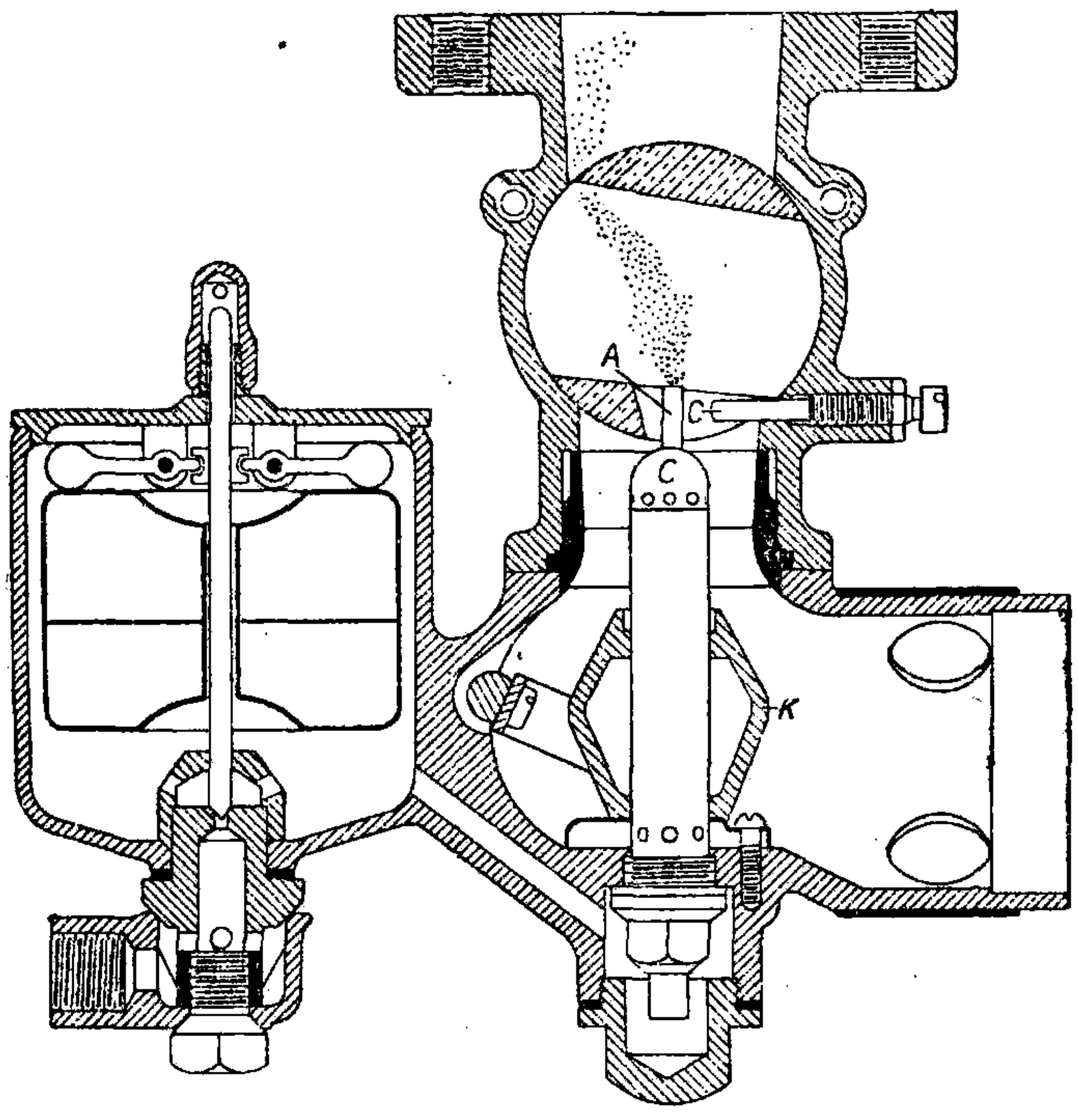
Фиг. 26.

К. системы Солекс. В этом французском К. (фиг. 26) основной интерес представляет форсунка (фиг. 27), состоящая из трех частей: собственно форсунки *A* с калиброванным отверстием *a* в нижней части, внутренней трубки с гайкой *B* на конце и стакана *C*, при помощи к-рого форсунка прижимается к своему конич. седлу. В нижней части форсунки сделан ряд отверстий *d*, а в нижней части стакана—отверстия *c*. Когда мотор не работает, топливо заполняет внутренний колодец, а также кольцевое пространство вокруг форсунки до уровня, соответствующего уровню в поплавковой камере. При быстром переводе мотора на полный газ запас топлива во внутреннем колодце расходуется, чем обеспечивается богатая рабочая смесь до достижения двигателем полной мощности. Вслед за этим через отверстия *c* в форсунку начинает поступать воздух, к-рый проходит во внутреннее кольцевое пространство между *A* и *B*, затем через отверстия *d* поступает в жиклер *A*, перемешивается с топливом, одновременно тормозя его, и в виде пены попадает в корсет К. Действие тормозящего воздуха зависит от размера отверстий *d*. Если они слишком малы, то образование пены идет слабо, и смесь обогащается; если они велики, то воздух слишком сильно тормозит топливо. Для работы на холостом ходу при прикрытом дросселе, как видно из фиг. 26, сделан специальный канал *K*, подающий топливо непосредственно из поплавковой камеры к дросселю, т. е. к тому месту, где имеется при холостом режиме наибольшее разрежение, обеспечивающее подсос топлива для получения богатой смеси. Поплавок К. *P* действует на запорную иглу *D* непосредственно, без промежуточных рычагов. Вместо дроссельной заслонки применен цилиндрич. золотник *N* с цилиндрич. вырезом по форме всасывающего канала. При полном открытии дросселя обеспечивается проходная площадь для газа без потери ее сечения, как это имеет место при простой дроссельной заслонке. Упорным шурупом *C* фиксируется положение дросселя при работе на холостом ходу. Штифт *L* с пружиной служит для заполнения от руки поплавковой камеры топливом. К. состоит из двух литых деталей и вставного корсета *A*, чем достигается простота сборки и устраняется необходимость иметь особую крышку для поплавковой камеры.



Фиг. 27.

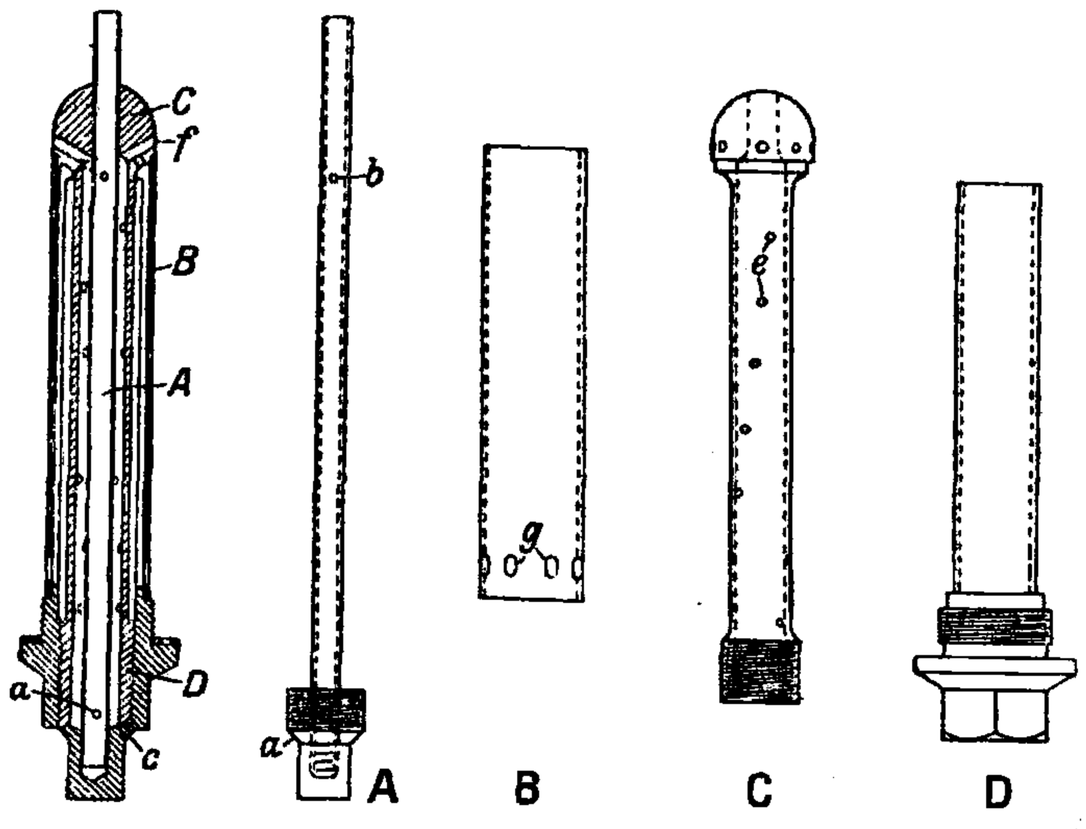
К. системы Клоделя. Этот чрезвычайно распространенный в авиационных моторах К. работает также по принципу торможения топлива воздухом, но осуществляет регулировку и распыление рабочей смеси более совершенно, чем это имеет место в К. системы Солекс. На фиг. 28 изображен один из типов карбюратора системы Клоделя, а на фиг. 29—его форсунка в собранном и разобранном видах. Форсунка состоит из четырех трубок: 1) внутренней *A* (жиклер холостого хода), имеющей внизу отверстие *a* для подачи топлива из поплавковой камеры и наверху—отверстие *b* для подсасывания воздуха; 2) трубки *C* (распылитель),



Фиг. 28.

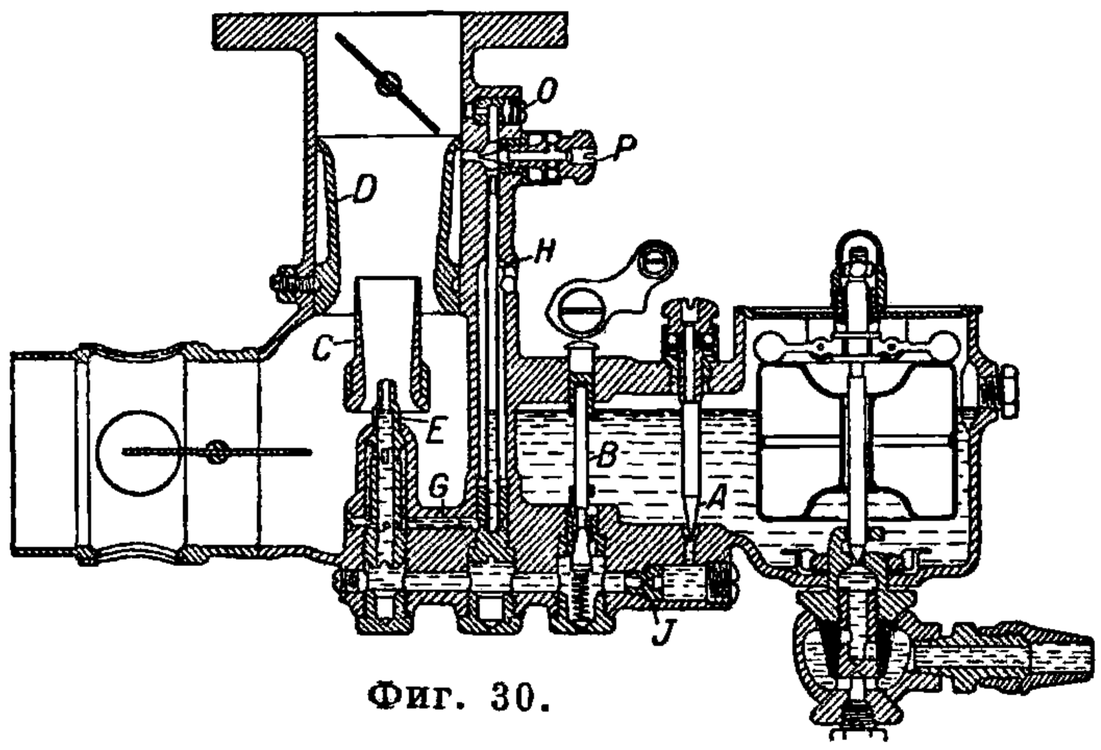
имеющей на боковых стенках ряд отверстий *e* для тормозящего воздуха и наверху — ряд косых отверстий *f* у шаровой части для подачи в корсет эмульсии из топлива и тормозящего воздуха; топливо в трубку *C* поступает снизу через калиброванное отверстие *c*; 3) трубки *D*, являю-

щейся перегородкой, и 4) наружной трубки *B*, имеющей внизу ряд отверстий *g* для тормозящего воздуха. Дроссель выполнен в виде золотника, имеющего узкий прорез в виде щели, в к-рую с нек-рым зазором входит верхняя часть пусковой форсунки *A* при работе на прикрытом дросселе. Это положение показано на фиг. 28. При этом режиме мотора наибольшее разрежение образуется у устья пусковой форсунки *A*, и это разрежение достаточно для подсасывания из нее топлива и для образования богатой смеси. Количество воздуха, а следовательно, и качество смеси, регулируется винтом *c*, входящим в щель дросселя и изменяющим его проходное сечение. При этом режиме, благодаря малому количеству просасываемого воздуха и соответственно малому разрежению в корсете, главная форсунка (фиг. 29, C) не работает, и в ней накапливается количество бензина, достаточное для перевода мотора на полный газ. При работе на полном



Фиг. 29.

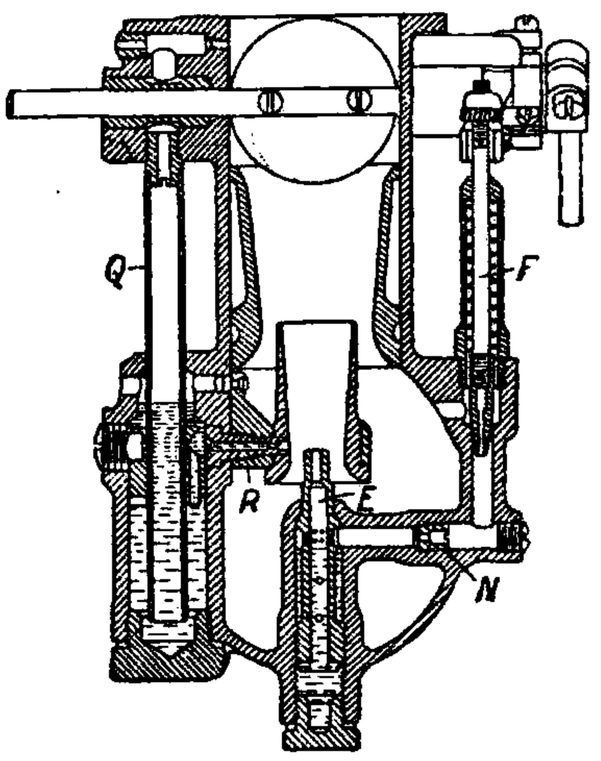
дросселе воздух со скоростью, зависящей от числа оборотов мотора, просасывается через корсет К., образуя у верхних отверстий форсунки C разрежение, большее, чем у нижних, т. к. первые помещаются в самом узком сечении корсета. Благодаря этому часть воздуха проникает в форсунку, через кольцевую щель проходит в упомянутые выше отверстия распылителя, подхватывает притекающий из нижнего калиброванного отверстия *c* бензин, перемешивается с ним и в виде очень богатой смеси выбрасывается в диффузор. С увеличением числа оборотов на полном дросселе нормальное обогащение рабочей смеси компенсируется тем, что, благодаря повышению разрежения, большее количество тормозящего воздуха попадает в форсунку и уровень топлива в распылителе *C* понижается, вследствие чего открывается большее количество отверстий для воздуха и уменьшается его разрежение. Все это вызывает обеднение рабочей смеси до нужных пределов. Т. о., низшее положение топлива, когда все отверстия для топлива открыты, должно соответствовать наибольшим числам оборотов мотора. Описанные мероприятия обеспечивают тонкую и надежную регулировку рабочей смеси, благодаря наличию и должному расположению отверстий для воздуха в распылителе. Высотная регулировка осуществляется в различных типах К. системы Клоделя по-разному. В приведенном типе (фиг. 28) для этой цели служит конус *K*, передвигаемый от руки в вертикальном направлении вдоль форсунки. При его



Фиг. 30.

поднимании, благодаря уменьшению прохода для воздуха, смесь обогащается, и наоборот. Поэтому при подъеме на высоту обогащения смеси избегают тем, что опускают конус *K*.

В К. системы Клодель-Гобсона C8 высотная регулировка осуществляется при помощи специального крана, соединяющего поплавковую камеру с корсетом К. и с атмосферой. В зависимости от положения этого крана поплавковая камера ставится под большее или меньшее разрежение, чем достигается соответственно обеднение или обогащение рабочей смеси. В К. типа DL60 высотная регулировка осуществляется при помощи гильзы, передвигаемой вдоль форсунки. При нижнем положении этой гильзы, когда она прикрывает отверстия для воздуха, уменьшается количество тормозящего воздуха, и рабочая смесь обогащается. При верхнем ее положении она начинает прикрывать верхние отверстия, и рабочая смесь обедняется. Наконец, в К., которые фирма Клодель ставит на моторы Рольс-Ройс «Кондор», для указанной цели служит специальный бензиновый дроссель, устанавливаемый на пути топлива из поплавковой камеры в форсунку. Изменяя от руки положение этого дросселя, летчик изменяет сечение для прохода топлива и тем регулирует состав рабочей смеси.

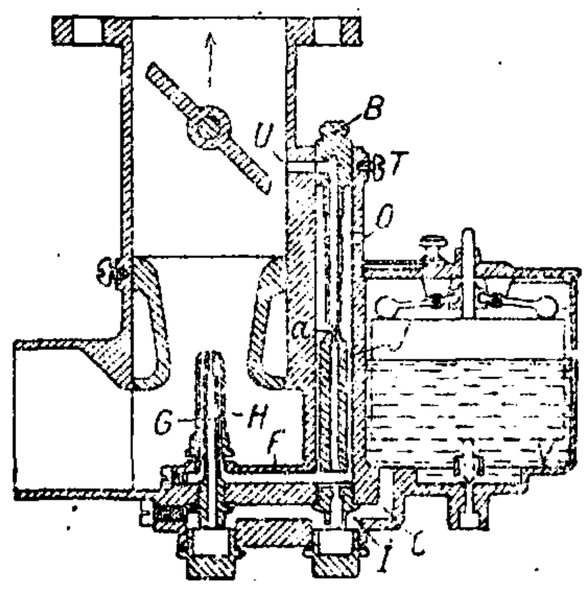


Фиг. 31.

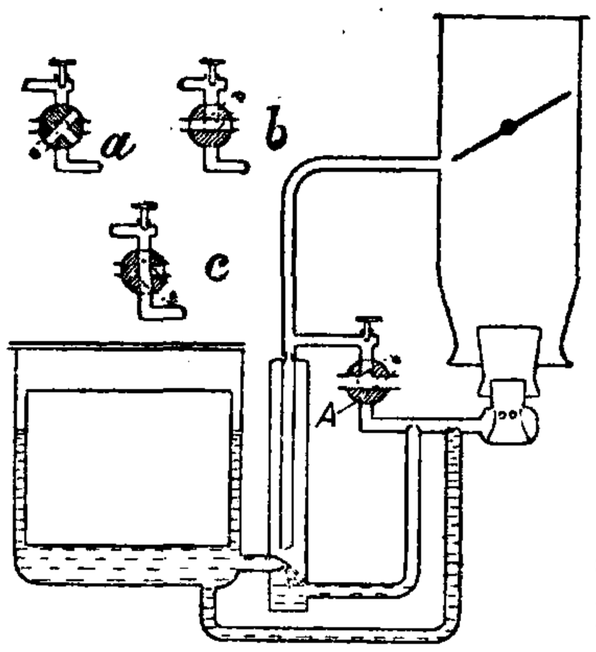
К. системы Стромберг изображен в разрезе на фиг. 30. Приток топлива к главному жиклеру может регулироваться иглой. За иглой находится калиброванное отверстие (жиклер) *J*, определяющее расход топлива. При помощи регулирующего клапана *B*, управляемого от руки, шофер может резко обогащать рабочую смесь, подводя топливо, помимо жиклера, при пуске мотора в ход. Карбюратор имеет два диффузора, сидящие один в другом так, что конец диффузора *C* находится в самом узком

сечении наружного диффузора *D*. Этим достигается большее разрежение у форсунки, чем улучшается распыливание и перемешивание топлива с воздухом без дополнительной потери напора. Форсунка *E* вставляется в стакан, образующий одно целое с телом К. Получающееся между ними кольцевое пространство соединено многими отверстиями с внутренним каналом форсунки. Как видно из фиг. 31, верхние два ряда отверстий служат для подвода тормозящего воздуха, к-рый ответвляется от главного воздушного потока при помощи клапана *F*, связанного в своем движении с дроссельной заслонкой; тормозящий воздух через воздушный жиклер *N* направляется в форсунку *E*, регулируя состав рабочей смеси и образуя с вытекающим из форсунки топливом эмульсию. Дроссель воздействует на клапан *F* т. о., что при полном открытии дросселя он прикрывается и рабочая смесь обогащается, чем достигается максимальная мощность. Для работы на холостом ходу при прикрытом дросселе служит трубка *H* (фиг. 30), соединенная с главным жиклером *E* каналом *G*. Вследствие сильного разрежения у прикрытого дросселя топливо высасывается из трубки *H*, перемешивается с тормозящим воздухом, подводимым через специальное отверстие, регулируемое винтом *P*, и полученная эмульсия выбрасывается в основной поток воздуха через отверстие *O*. Для дополнительной подачи топлива при ускорении машины служит трубка *Q* (фиг. 31), соединенная в нижней своей части с поплавковой камерой, а в верхней — с всасывающей трубкой и с наружным воздухом. Верхняя часть кольцевого пространства, к-рое окружает трубку *Q*, соединена с атмосферой, благодаря чему уровень бензина в трубке соответствует уровню в поплавковой камере. Выше этого уровня помещен жиклер *R*, подводящий топливо во внутренний диффузор. При дросселированном моторе топливо высоко поднимается в трубке *Q*, благодаря действующему в ней разрежению у дроссельной заслонки. При внезапном открытии дросселя разрежение падает; одновременно с этим уровень топлива в трубке *Q* понижается, топливо перетекает в кольцевое пространство, соединенное с жиклером *R*, и, проходя через жиклер, обогащает рабочую смесь в К. В авиационных К. этой фирмы предусмотрена особенная конструкция поплавка, обеспечивающая должную подачу топлива при разных наклонах самолета в полете. Высотная регулировка осуществляется изменением давления в поплавковой камере при помощи приспособления, которое действует автоматически.

К. системы Зенит. Главный жиклер *G* (фиг. 32) соединен непосредственно с поплавковой камерой *V* каналом *C*. В компенсационный жиклер *H*, окружающий главный, топливо попадает из поплавковой камеры через калиброванное отверстие *I* и канал *F*. Колодец *J* сообщается с атмосферой через отверстие *O*. При работе на полном дросселе колодец *J* не содержит топлива, и расход через форсунку *H* обусловливается только уровнем в поплавковой камере и величиной отверстия *I*. При неработающем К. топливо заполняет колодец до уровня в поплавковой камере. При работе на холостом ходу, при прикрытом дросселе, действует пусковой жиклер *a*, подающий топливо непосредственно к дросселю, т. е. к месту наибольшего разрежения. Поступающий при этом через отверстие *O* воздух производит тормозящее действие на топливо у *a*, и образованная эмульсия поступает в К. по каналу *U*. Отвертывая шуруп *T* и поворачивая деталь *B*, можно изменять состав рабочей смеси при пуске, увеличивая или уменьшая сечение для тормозящего воздуха у жиклера *a*. На фиг. 33 приведена схема многодиффузорного К. Как видно, он состоит из трех корсетов, при чем каждый внутренний корсет оканчивается в узком сечении наружного. Это дает возможность иметь бо́льшие разрежения у форсунки, чем достигается более совершенное распыливание и перемешивание топлива с воздухом. Благодаря этому даже при малых числах оборотов мотора получается разрежение, достаточное для правильного образования рабочей смеси, а при высоких числах оборотов можно достигнуть небольшой потери напора в главном корсете, вследствие того что через малый корсет должна пройти лишь незначительная доля всего воздуха. Оба жиклера, главный и компенсационный, оканчиваются в канале, соединенном с малым диффузором и подающем в него топливо через отверстия, расположен. по окружности. Трубка холостого хода, как это видно, забирает топливо из компенсационного колодца и имеет у верхнего конца колодца калиброванный жиклер. Для возможности регулировать состав рабочей смеси от руки предусмотрен трехходовой кран *A* между трубкой холостого хода и каналом, соединяющим устья жиклеров с диффузором. В левом углу фиг. 33 отдельно изображены все 3 положения трехходового крана *A* для регулировки карбюратора. В положении *a* все каналы перекрыты, так что тормозящий воздух выключен; это положение соответствует пуску в ход, когда полностью используется разрежение для получения богатой смеси. В положении *b* крана, когда тормозящий воздух из атмосферы будет свободно проходить к жиклеру холостого хода, а на два рабочие жиклера не будет действовать, обеспечивается обогащение рабочей смеси для получения максимальной мощности мотора. В положении *c* крана, при к-ром тормозящий воздух действует на все три форсунки, обеспечивается экономичная



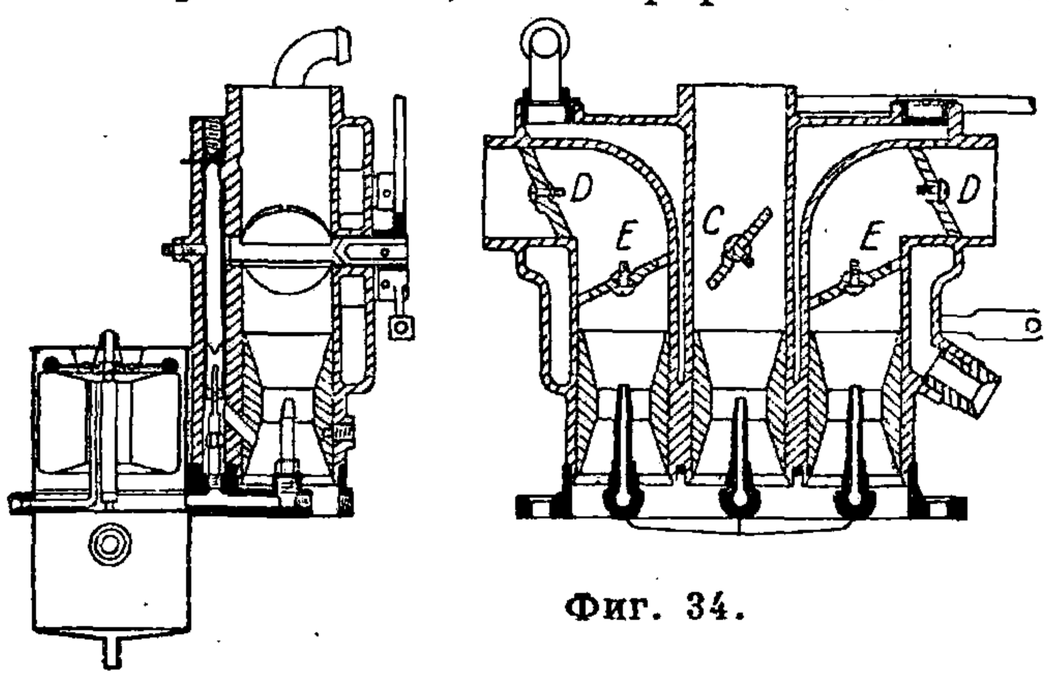
Фиг. 32.



Фиг. 33.

работа двигателя на его нормальном режиме. Высотная регулировка в авиационных К. этой фирмы осуществляется при помощи крана, соединяющего поплавковую камеру со всасывающей трубой, т. е. по схеме А фиг. 22.

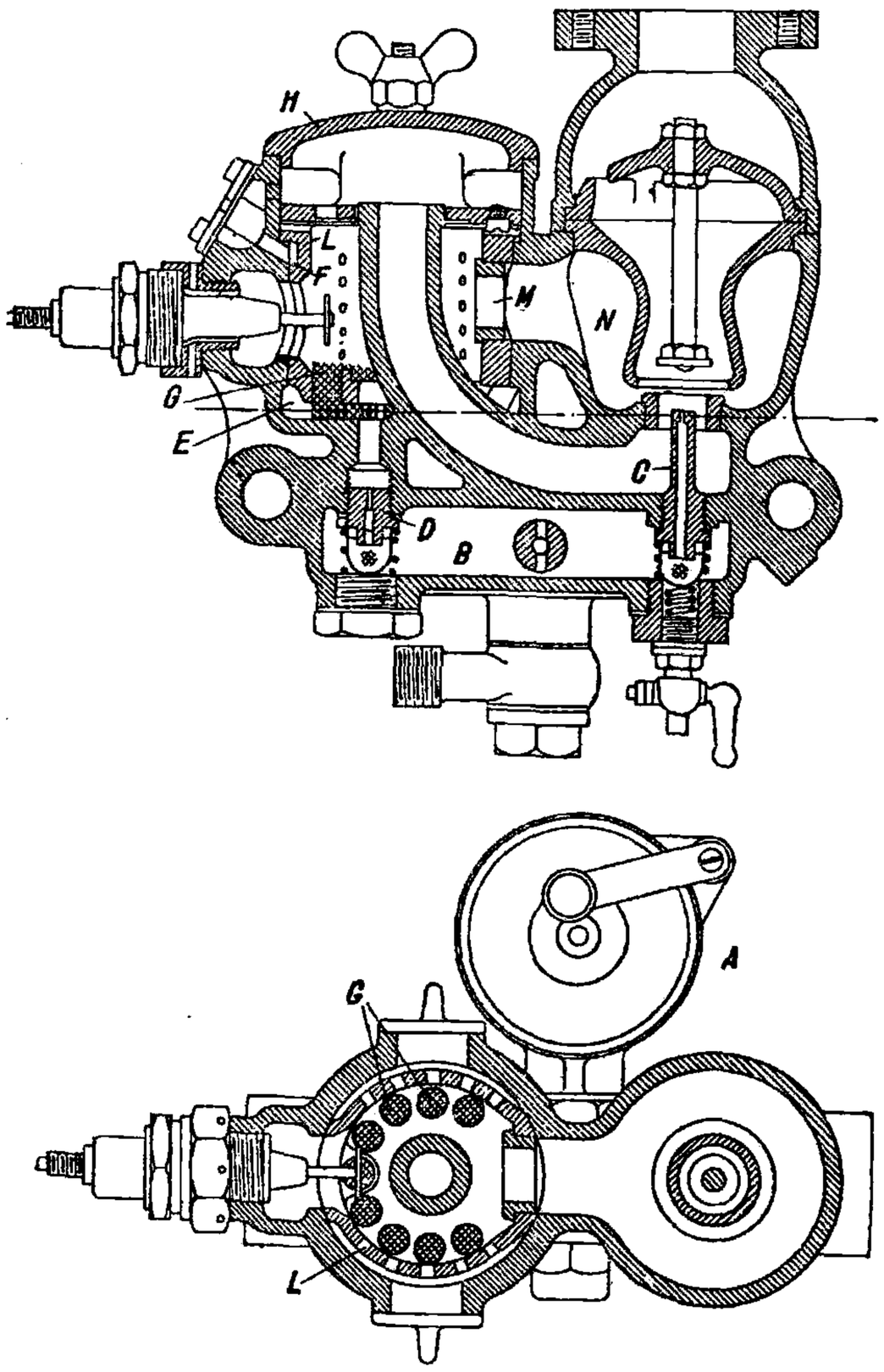
К. фирмы B. M. W. (Bayerische Motoren-Werke) изготовляются специально для авиационных моторов фирмы B. M. W. Как видно из фиг. 34, К. состоит из трех частей—центральной и двух боковых—с общей поплавковой камерой; рабочая смесь подается в общий коллектор. Средняя часть имеет два жиклера — главный и холостого хода, работающие нормально. Боковые части имеют только главные жиклеры, при чем сечения последних, для получения более бедной рабочей смеси, меньше, чем у жиклера средней части. Воздух до поступления в К. просасывается через картер мотора и т. о. подогревается. К. имеет пять дроссельных заслонок, представляющих собою две системы с независимым управлением. Главная система состоит из трех заслонок *D*, *C* и *D*. Вспомогательная система *E*—*E* служит для высотной регулировки. Когда заслонки *D* и *E* закрыты, как изображено на фиг 34, средняя заслонка *C* несколько приоткрыта; это соответствует работе пускового жиклера на холостом ходу. При дальнейшем открывании заслонки *C* начинает работать главный жиклер средней части К. При среднем положении дросселя *C* начинают открываться заслонки *D*, и в сборный коллектор из боковых частей К., благодаря цилиндрич. вырезам в дросселях *E*, поступает более бедная рабочая смесь, разбавляющая смесь, подаваемую центральной частью. Обогащение рабочей смеси с подъемом самолета на высоту компенсируется открытием высотных заслонок *E*, *E*, благодаря чему прибавляется большее количество бедной смеси относительно основной рабочей смеси, подаваемой центральной частью. Кроме этого, в К. фирмы B. M. W.



Фиг. 34.

имеется приспособление, позволяющее изменять сечение жиклеров. Окружающая верхнюю часть К. рубашка служит для подогрева рабочей смеси горячей водой, отходящей из мотора.

К. для тяжелых топлив. В К. сист. Коммеркар (фиг. 35) нагрев рабочей смеси производится путем предварительного сжигания части топлива. Керосин из поплавковой камеры *A* подводится по каналу *B* к основному жиклеру *C* и частично к вспомогательному жиклеру *D*. Из последнего он попадает в специальную камеру *E*, в которую вставлено цилиндрич. тело *F* с прорезами в стенке и круглыми отверстиями в днище, в к-рые вставлены асбестовые фитили *G*. Перед пуском двигателя в ход снимается крышка *H* и при помощи центральной свечи асбестовые фитили зажигаются, и цилиндр *F* прогревается. После этого крышка *H* закрывается и мотор запускается. Бо́льшая

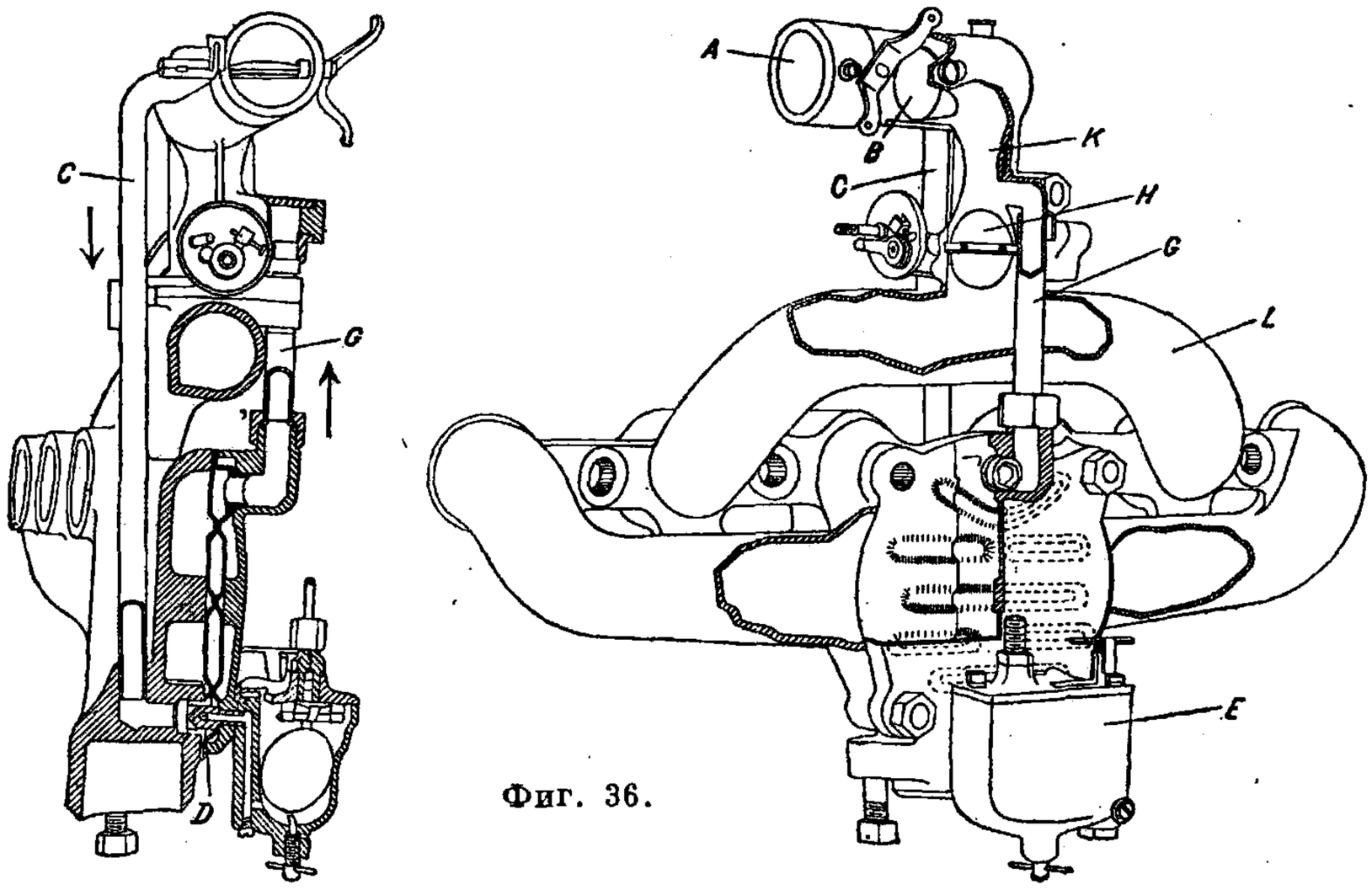


Фиг. 35.

часть воздуха через крышку *H* и литое колено подводится непосредственно к жиклеру *C*, меньшая часть его через кольцевое пространство *L* и отверстия проникает к фитилям и поддерживает их горение. Часть сгоревших газов поднимается вверх и примешивается к свежепоступающему воздуху, подогревая его. Бо́льшая часть этих газов через отверстие *M* поступает в кольцевую камеру *N*, нагревает стенки внутренней камеры, на к-рые распыливается топливо, и примешивается к основной массе рабочей смеси у жиклера *C*. Полученная таким путем переобогащенная рабочая смесь разбавляется воздухом до требуемого состава при помощи особого клапана, соединенного с дросселем. Таким образом, в данном К. осуществляется и подогрев поступающего воздуха и нагрев переобогащенной рабочей смеси. Кроме того, мотор быстро запускается без помощи бензина.

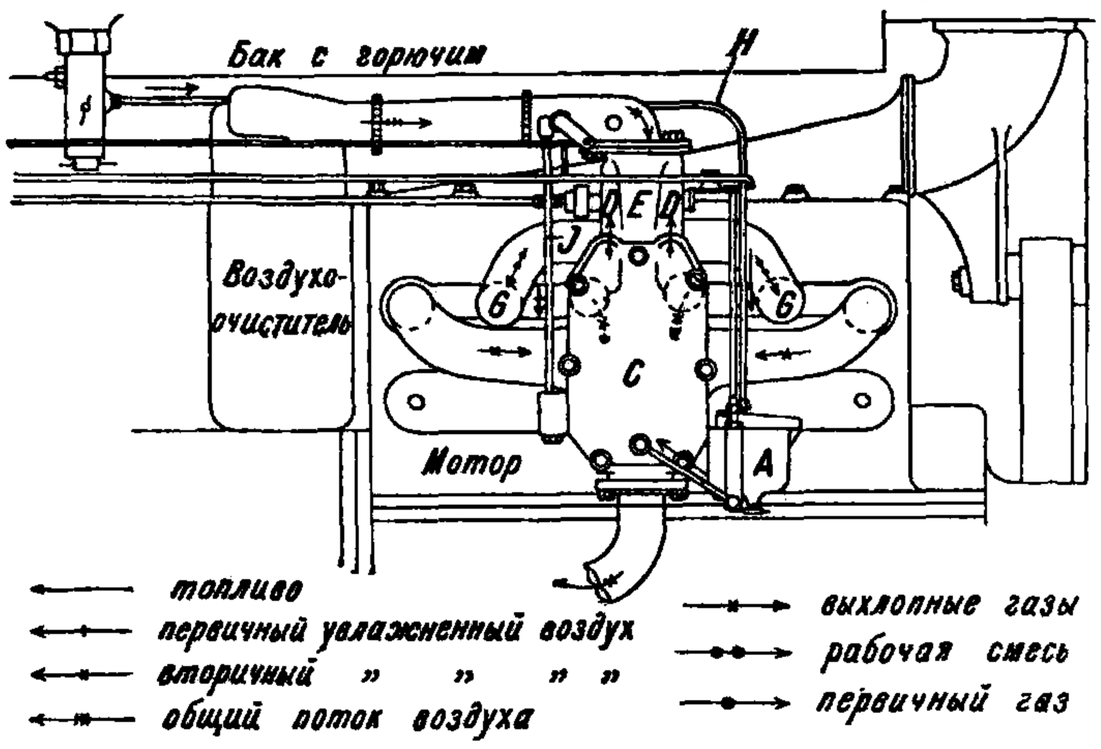
В К. системы Холлей, находящем широкое применение на тракторе Фордзон, осуществлен метод предварительного испарения топлива в небольшом количестве воздуха и дальнейшее перемешивание этой первичной смеси с остальным рабочим воздухом. С этой целью от основной массы воздуха, поступающей через всасывающее отверстие *A* (фиг. 36) с воздушной заслонкой *B*, ответвляется в перпендикулярном направлении

воздушный поток, направляемый по трубе *C* к жиклеру *D*, питаемому керосином из поплавковой камеры *E*. Полученная здесь смесь проходит далее через зигзагообразную камеру, образованную из тонких стальных пластин и омываемую выхлопными газами. Благодаря значительным вихреобразованиям, частицы керосина ударяются о стенки, испаряются и хорошо перемешиваются с воздухом. Полученная первичная смесь по каналу *G* направляется обратно к основной массе воздушного потока, соединяется с ней выше дроссельной заслонки *H* у устья диффузора *K*, к-рый действует засасывающе на смесь из канала *G*. Образованная здесь рабочая смесь направляется через трубу для смеси *L* в мотор. После остановки мотора керосин из поплавковой камеры спускается, и последняя заполняется бензином для последующего пуска в ход; этого количества оказывается достаточно для прогрева мотора богатой бензиновой смесью, после чего он переводится на керосин.



Фиг. 36.

К. системы Каталекс работает по принципу крекирования тяжел. топлива, т. е. включает в себя химич. процесс образования легче испаряемых и совершеннее сжигаемых углеводородов. Поэтому его основную часть представляет катализатор *C* (фиг. 37),



Фиг. 37.

в к-ром осуществляется указанный процесс. Весь воздух, необходимый для питания двигателя, предварительно проходит через воздушный очиститель и насыщается водой. Далее часть его, в количестве 2%, по трубе *J* направляется в смеситель, куда поступает и топливо из поплавковой камеры *A*, питаемой газойлем или керосином из бака посредством трубки *H*. Полученная смесь топлива с первичным воздухом направляется в катализатор *C*. В катализаторе же смесь попадает в вертикальные металлич. каналы *l* (фиг. 38), к-рые имеют с внешней стороны ребра, омываемые выхлопными газами, поступающими по трубам r_1, r_2, r_3 и r_4 из мотора и уходящими из катализатора через патрубок *t*. Выхлопные газы и первичная рабочая смесь движутся по принципу противотока. Перегородка внутри камеры выхлопных газов служит для разделения последних на два потока, благодаря чему, а также наличию заслонки, можно регулировать количество тепла, передаваемое смеси в катализаторе. Каналы *l* замыкает сменная крышка *O*, хорошо изолированная.

Фиг. 38.

При прохождении эмульсии через катализатор имеют место эндотермич. (испарение, разложение) и экзотермич. процессы. Следствием этих процессов являются изменение молекулярного строения составляющих топлива, частичная газификация, бóльшая склонность молекул к окислению вследствие их более простого строения и окисление небольших количеств водорода и углерода, освободившихся во время крекинг-процесса. Полученная таким путем тонко перемешанная первичная смесь состоит из небольшого количества стойких газов (CO_2, CO, O_2, H_2, CH_4), паров воды, паров крекированных углеводородов и небольшого количества альдегидов и алкоголей. Эта смесь обладает антидетонирующими свойствами и сгорает очень

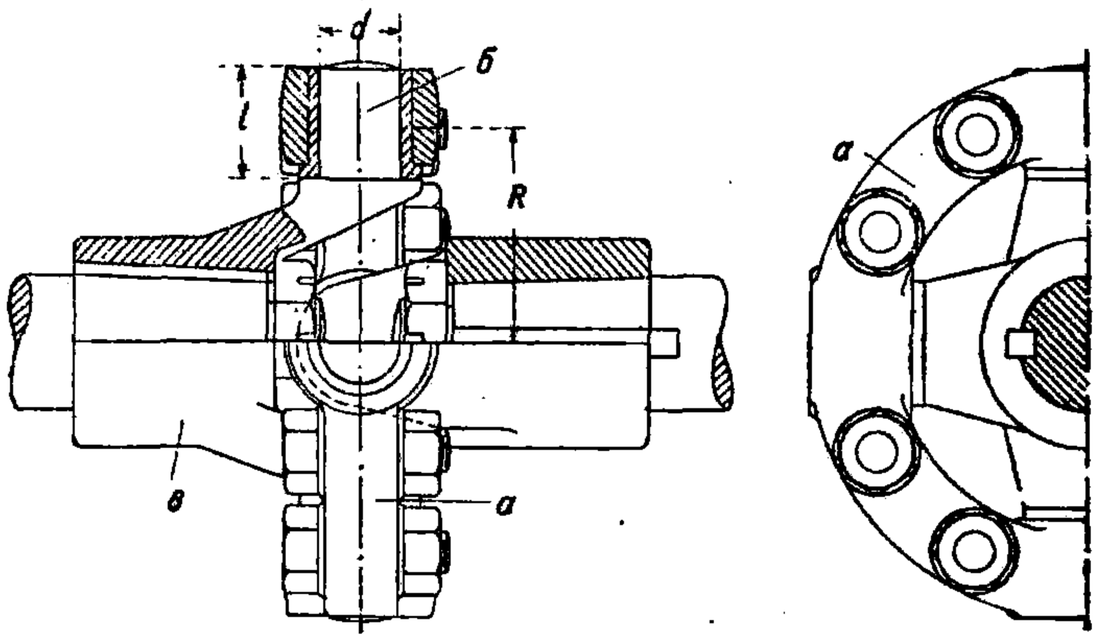
совершенно. Через отверстия s_1 она поступает в каналы D, в к-рых охлаждается и далее примешивается к основной массе воздуха в патрубке E (фиг. 37), откуда и направляется во всасывающую трубу G. Описанный К. обеспечивает, по данным испытания, ту же мощность и экономику мотора, что и при работе на бензине.

Лит.: Маркс Л., Авиационные двигатели, пер. с нем., М., 1925; Брилинг Н. Р., Применение спирта в двигателях внутр. сгорания, П., 1915; Heldt P. M., Automobilbau, B. 4—Vergaser u. Brennstoffe, Berlin, 1927; Heller A., Motorwagen und Fahrzeugmaschinen für flüssigen Brennstoff, 2 Auflage, Berlin, 1925; Dechamps H., Vergaser, 2 Auflage, Berlin, 1922. **Н. Брилинг и С. Алексеев.**

КАРБЮРЫ, богатые углеродом углеводороды, содержащиеся в нек-рых нефтян. погонах, напр. керосине. К. растворимы в избытке серной к-ты. Значительная примесь их в керосине сообщает пламени последнего мигание и красноватый цвет, небольшая же примесь К. может даже повысить силу света пламени. Возможно, что К. принадлежат к одному из ароматич. рядов, однако, природа их остается неисследованной. К. следует отличать от карбенов и карбоидов—веществ, родственных асфальтенам (см. *Асфальт нефтяной*).

КАРДАМОН, плоды растения Elettaria cardamonum из сем. имбирных. Плод содержит 9—18 семян, из к-рых получают путем перегонки кардамоновое масло, от 3 до 8%, уд. в. 0,923—0,944, идущее при изготовлении нек-рых сортов ликеров. Семена К. употребляют также и в пищевой промышленности. На рынке известны сорта: цейлонский, яванский, китайский круглый, камерунский и пр.

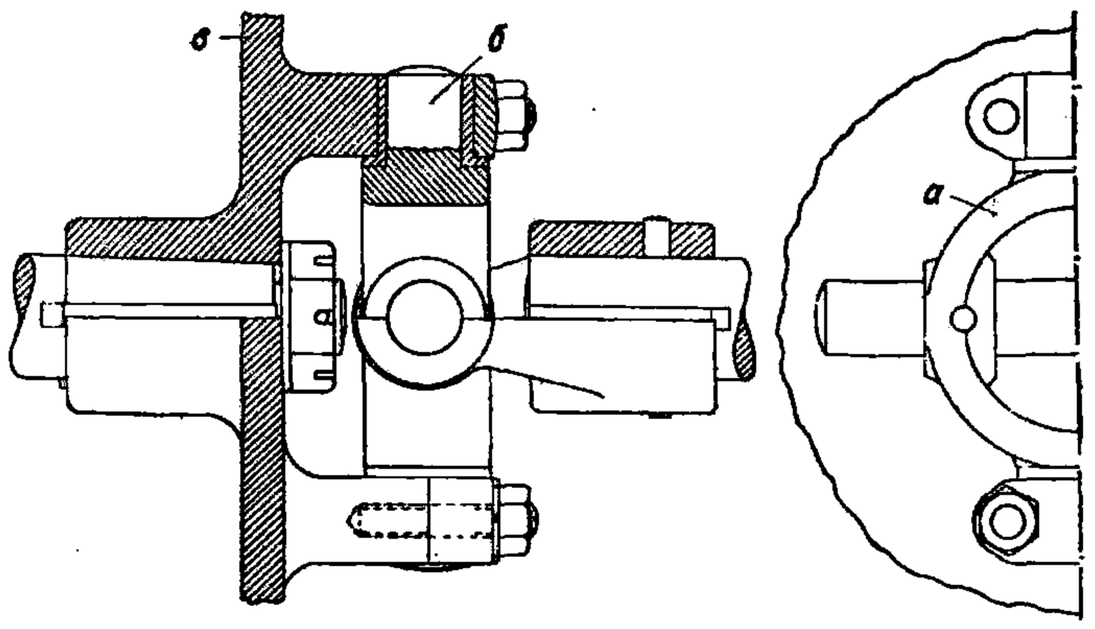
КАРДАННЫЕ ВАЛЫ. Отличительным признаком К. в. является наличие на одном или на обоих его концах специальных гибких соединений, благодаря к-рым вращательное движение одного вала м. б. передано другому при изменяющемся угле между пересекающимися осями валов. Гибкими соединениями или сочленениями для К. в. наиболее часто служат универсальные шарниры, называемые шарниром Гука и карданным сочленением (см. *Гука шарнир* и *Гибкие соединения*). К. в. широко применяются в автостроении для передачи работы от сцепления к коробке перемены передач, от последней к



Фиг. 1.

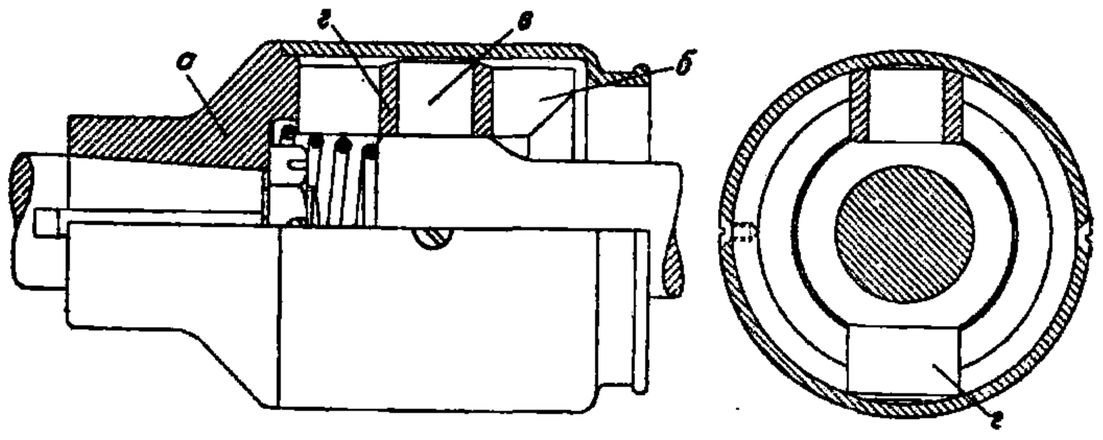
дифференциалу и в некоторых конструкциях автомобилей—для передачи вращения от дифференциала к задним или передним ведущим колесам.

Конструктивное выполнение карданных сочленений. На фиг. 1 изображена конструкция распространенного карданного сочленения: разъемное кольцо *а* шарнирно соединяется с цапфами *б* двух вилок *в*, укрепленных на концах двух К. в.



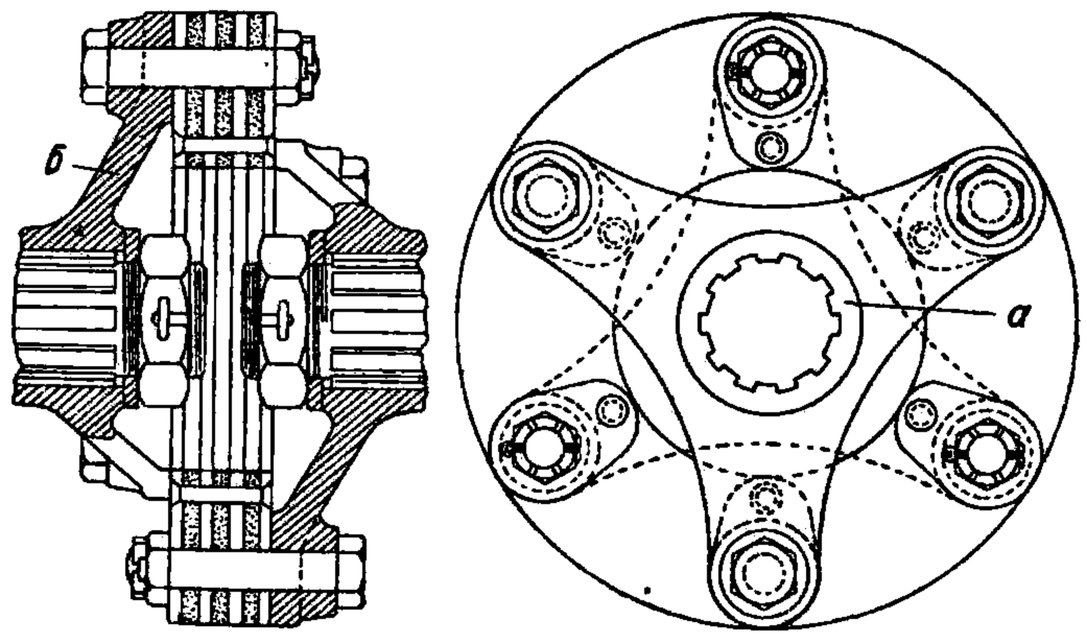
Фиг. 2.

Несколько видоизмененный тип карданного сочленения, изображенный на фиг. 2, состоит из кольца *а*, снабженного четырьмя цапфами *б*; одна из вилок заменена двумя подшипниками, отлитыми как одно целое с



Фиг. 3.

диском *в* тормозного барабана или механизма сцепления, что дает компактность всей конструкции. В том случае, когда К. в. во время работы испытывают линейное перемещение вдоль их оси, применяется карданное сочленение, состоящее из стального



Фиг. 4.

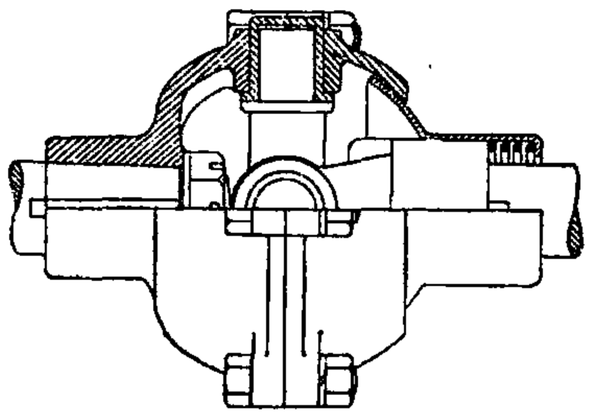
стакана *а* (фиг. 3), укрепленного на одном из валов, при чем стакан имеет два диаметрально расположенных прореза *б*; конец другого вала снабжается двумя цапфами *в*, на к-рые свободно посажены стальные термически обработанные сухарики *г*, которые точно пришлифовываются по размерам прорезов *б*. В том случае, когда угол отклонения К. в. незначителен, их соединяют при помощи упругих (из специальных тканей) дисков. При этой конструкции (фиг. 4) концы К. в. снабжаются скользящими по прорезам вала муфтами *а* с тремя лапками *б*. Между лапками муфты прокладывается несколько упругих дисков, соединенных с лапками болтами; для большей надежности

в работе дисков отверстия для болтов в дисках снабжают бронзовыми или стальными втулками.

Определение прочных размеров карданных сочленений. Диаметр d (в *см*) (фиг. 1) крестовины карданного сочленения определяется по ф-ле:

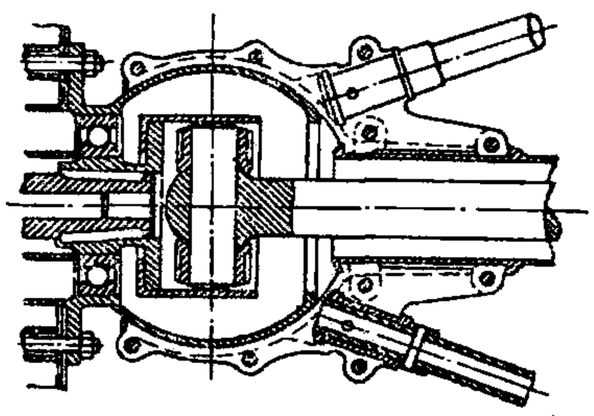
$$0{,}1\, d^3 \cdot k = \frac{1}{2} \cdot \frac{P}{\cos \alpha} \cdot \frac{l}{2},$$

где P—окружное усилие в *кг*, l—длина цапфы в *см*, α—максимальный угол отклонения осей валов, k—допускаемое напряжение в *кг/см*^{2}. Окружное усилие P определяется из уравнения: $P = \frac{M_d}{R}$, где R—радиус карданной крестовины в *см* и M_d—максимальный крутящий момент в *кгсм* на первой передаче (скорости). Отношение $l : d$ обычно выполняется равным 1,25. Расстояние $2R$ между цапфами выполняется равным трем диаметрам К. в.



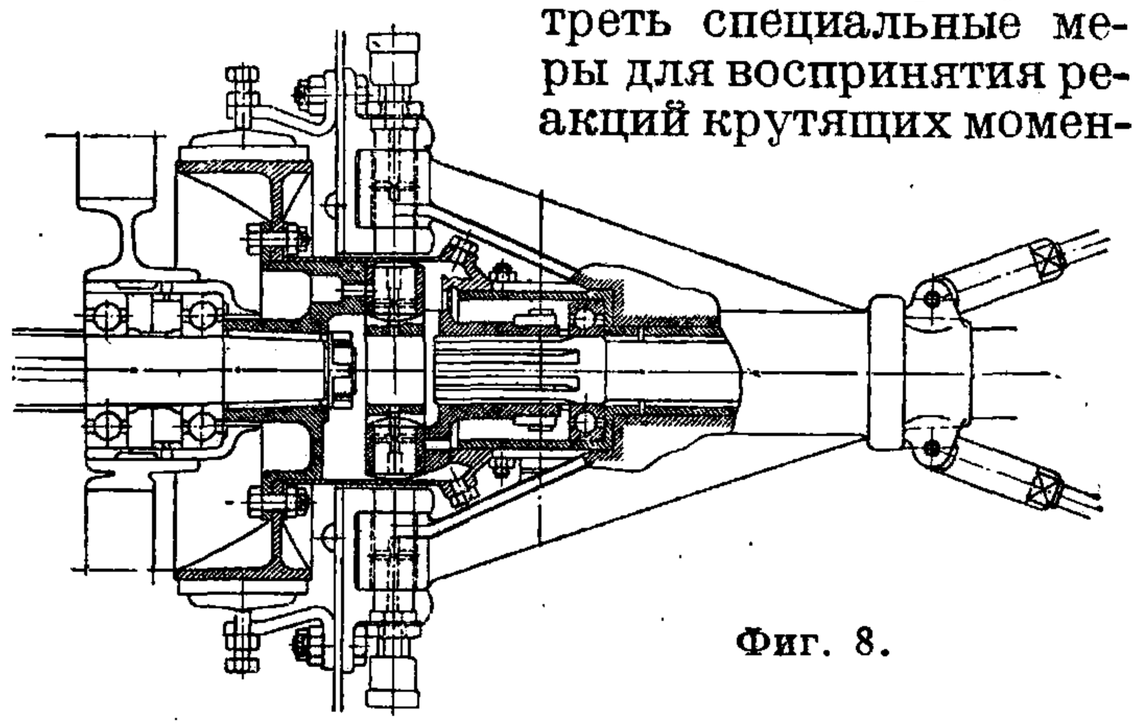
Фиг. 5.

Предохранение карданных сочленений от грязи достигается применением кожаных или металлических картеров (фиг. 5), которые заполняются смазкой, обеспечивающей также и смазку цапф крестовины. Конструкция картеров должна предусматривать возможность свободного изменения угла между осями валов; в этом отношении наиболее совершенными являются картеры, соединяющиеся по сферическим поверхностям.

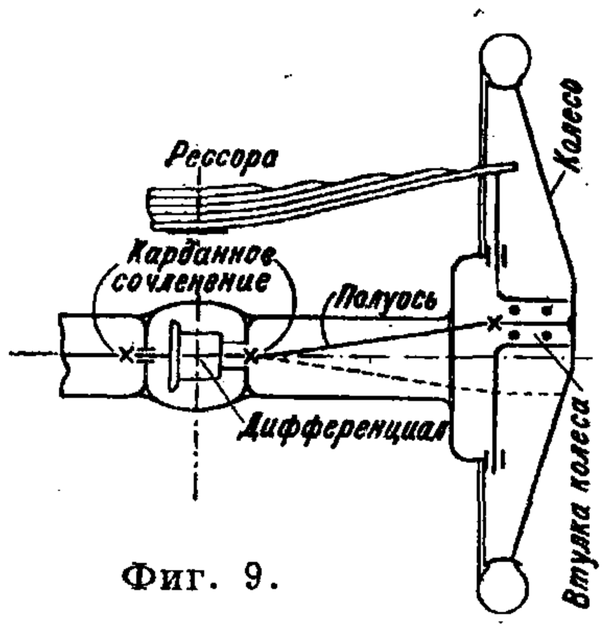


Фиг. 6.

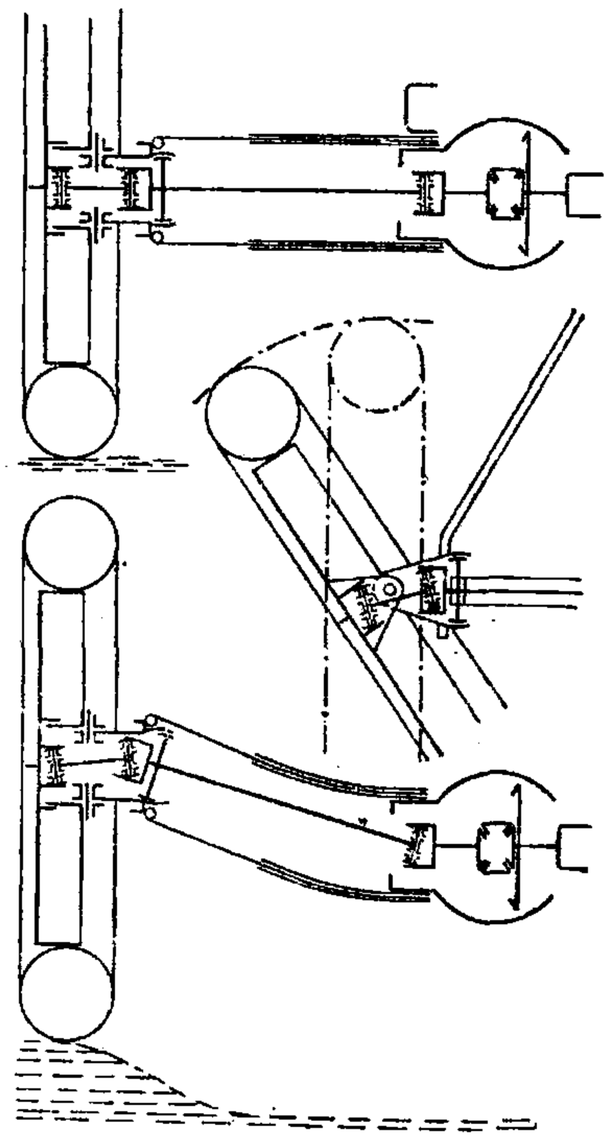
Конструктивное выполнение К. в., передающего вращение задним ведущим колесам автомобиля. Существуют 2 системы передачи вращения при помощи К. в.: с двумя карданами и с одним карданом. В первом случае осуществляется требование сохранения угловой скорости двух валов (вторичный вал коробки перемены передач и вал ведущей шестерни дифференциала) в каждый момент одинаковой. При двух карданах необходимо предусмотреть специальные меры для восприятия реакций крутящих моментов от зубчатой или червячной передачи заднего моста, от торможения и для передачи толкающих усилий ведущих колес. В том случае, если указанные усилия воспринимаются задними рессорами, последние должны иметь только одну заднюю сережку, передний же их конец шарнирно соединяется с рамой автомобиля при помощи рессорного пальца. В этой системе необходимо обеспечить свободное изменение длины К. в. при деформациях рессоры. При одном карданном сочленении, хотя и не достигают точного равенства угловых скоростей между ведущим и ведомым валами, но значительно упрощается передача сил реакции раме автомобиля при помощи карданной трубы. Что же касается неравномерности угловых скоростей, то при небольших углах отклонения практич. значения она не имеет. Карданная труба жестко соединяется с картером заднего моста и в передней своей части имеет шаровое сочленение, центр к-рого должен совпадать с центром крестовины К. в. Шаровое сочленение соединяется с коробкой перемены передач (фиг. 6), в автомобилях же большой мощности—со специальной траверсой рамы (фиг. 7). В отдельных конструкциях шаровые сочленения заменяют вилкой, шарнирно соединенной с траверсой (фиг. 8).



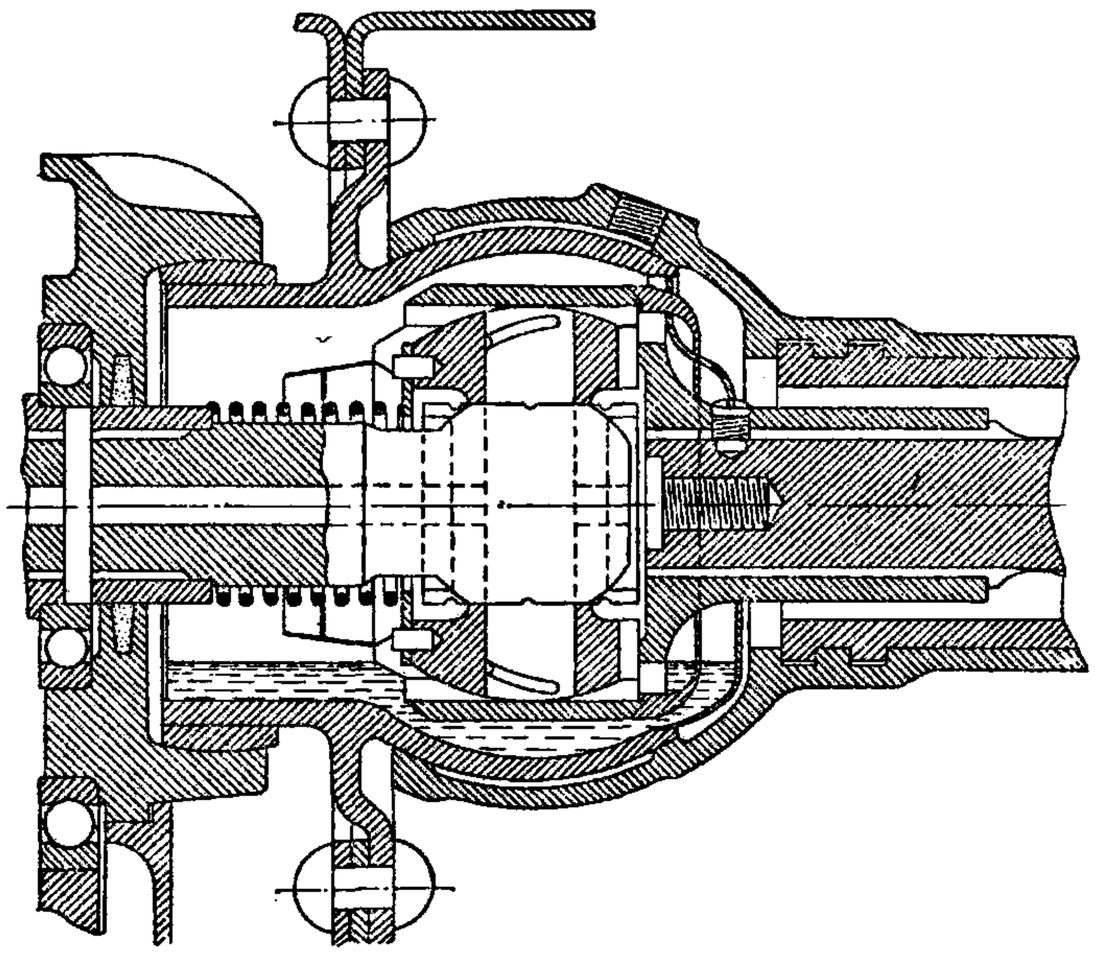
Фиг. 8.



Фиг. 9.



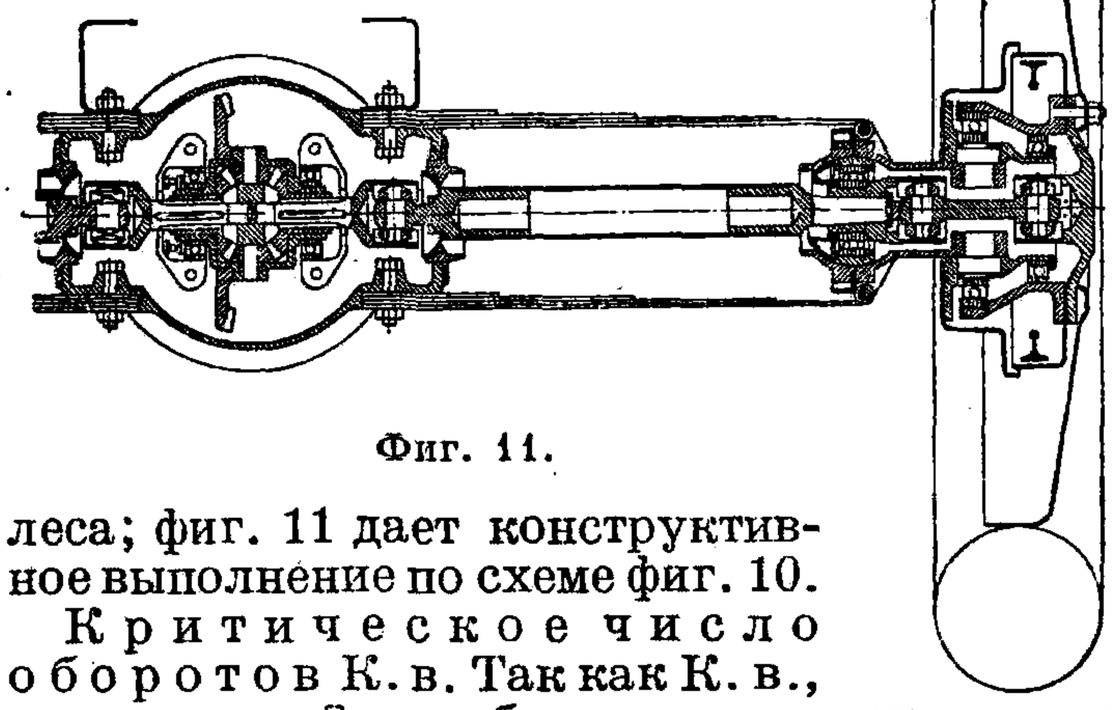
Фиг. 10.



Фиг. 7.

Передача на передние колеса. Примером конструктивного выполнения

передач при помощи К. в. к качающимся передним колесам, являющимся в то же время направляющими колесами (т. е. связанными с рулевым управлением), могут служить схемы на фиг. 9 и 10; на фиг. 10 показано также положение К. в. при повороте ко-



Фиг. 11.

леса; фиг. 11 дает конструктивное выполнение по схеме фиг. 10.

К р и т и ч е с к о е ч и с л о о б о р о т о в К. в. Так как К. в., соединяющий коробку перемены передач с задним мостом автомобиля, имеет относительно большую длину и работает с большим числом оборотов, то, помимо обычного расчета на прочность (см. *Валы*), К. в. необходимо проверять и на критическ. скорость. Критич. число оборотов определяют по ф-ле:

$$n_k = 5{,}55\sqrt{\frac{g \cdot E \cdot I}{G \cdot l^3}},$$

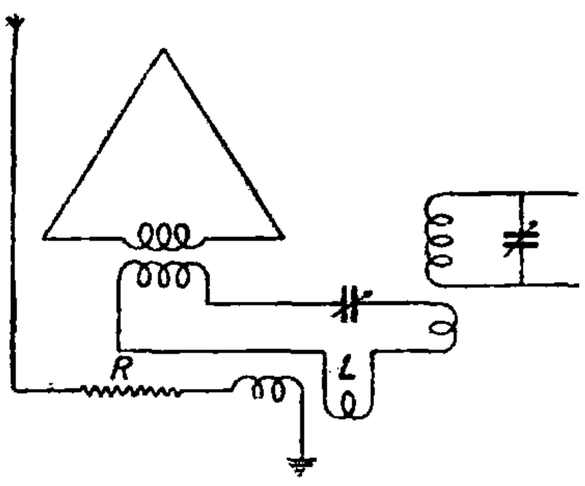
где l — длина вала между опорами в *см*, G—вес вала в *кг*, E—модуль упругости материала вала в *кг/см*^{2}, I—момент инерции сечения вала в *см*^{4}, или же по ф-ле:

$$n_k = 300\sqrt{\frac{1}{f}},$$

где f—стрела прогиба вала от собственного веса. Для увеличения момента инерции К. в. последние в настоящее время выполняются из стальных труб относительно большого диам. с тонкими стенками.

Лит.: Г р и б о в И., Автомобили, ч. 2—Шасси, 7 изд., М., 1928; B u s s i e n R., Automobiltechnisches Handbuch, 12 Aufl., Berlin, 1928; H e i d t P., Automobilbau, B. 2, Berlin, 1922; H e l l e r A., Motorwagen u. Fahrzeugmaschinen f. flüssigen Brennstoff, 2 Aufl., B. 1, B., 1925; D y k e's Automobile a. Gasoline Engine Encyclopedia, Chicago, 1926. **Б. Шпринк.**

КАРДИОИДНЫЕ СХЕМЫ радиоприема и радиопередачи, наиболее часто встречающийся на практике частный случай комбинации в целях получения однонаправленного приема или излучения открытой и *замкнутой антенны* (см.). Т. к. значительное применение К. с. имеют пока только при радиоприеме, то дальнейшие выводы приспособлены именно для случая К. с. при приеме. Связь открытой и замкнутой антенны, эффекты приема в которых далее комбинируются в промежуточном или основном контуре приемника, обычно выбирается индуктивной (фиг. 1). Если эдс, получающаяся в открытой антенне, выражается уравнением:



Фиг. 1.

$$e_{o.a.} = E_{o.a.} \sin \omega t\ ,$$

а электродвижущая сила в замкнутой антенне (активным падением напряжения в последней пренебрегают)

$$e_{з.а.} = E_{з.а.} \cos \varphi \cos \omega t\ ,$$

где φ — угол, составленный направлением волны с плоскостью замкнутой антенны, то, обозначая через M коэфф. взаимоиндукции между открытой и замкнутой антеннами, имеем для эдс, индуктирующейся в катушке L от открытой антенны,

$$e_s = \frac{\omega M E_{o.a.}}{R} \cos \omega t = E_s \cos \omega t\ ,$$

где R—активное сопротивление открытой антенны (к-рая устраивается апериодичной путем специально включенного сопротивления порядка десятка тысяч Ω). Полная эдс в контуре приемника:

$$e_{рез.} = E_{з.а.} (\sin \varphi + E_s) \cos \omega t\ .$$

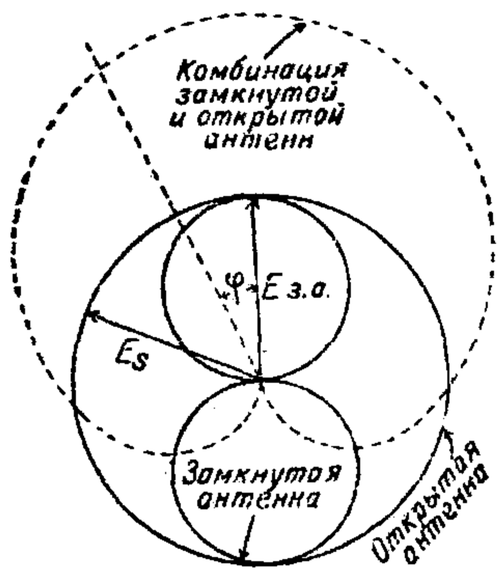
Это ур-ие—для общего случая комбинации открытой и замкнутой антенн; если выбрать в частности $E_{з.а.} = E_s$, то для амплитуд получается ур-ие:

$$e_{рез.} = E_{з.а.} (1 + \cos \varphi),$$

представляющее кривую, характеризующую силу приема в разных направлениях (фиг. 2) и называемую к а р д и о и д о й. Для получения К. с., как показывает дальнейший анализ, требуется соблюдение условия

$$\frac{M c h_д}{RSn} = 1,$$

где S и n—площадь одного витка и число их в замкнутой антенне, $h_д$ —действующая высота открытой антенны, c—скорость света. Форма полученной кривой показывает, что применение К. с. позволяет установить излучение или прием с одним максимальным и одним минимальным направлением (при чем эти азимуты прямо противоположны). В смысле остроты направленности кривая при К. с. менее благоприятна, чем характеристика, получающаяся при только замкнутой антенне (на фиг. 2 две малые окружности); например, при отклонении направления волны от плоскости замкнутой антенны: а) при К. с. смещение азимута на 10° вызывает уменьшение эдс на 1,5%, б) при «восьмерочной» схеме (две окружности) смещение азимута уже на 1° вызывает уменьшение эдс на 1,7%. Подробности о направленном действии К. с. см. *Направленное радио*. О фазовых соотношениях при приеме по К. с. и условиях получения правильной кардиоидной характеристики см. *Гониометр*.



Фиг. 2.

На практике б. ч. осуществляется подвеска открытой и замкнутой антенны к одной и той же точке опоры. В случае малых рамок применяют в качестве открытой антенны выдвижные стерженьки. Часто для получения К. с. используют вместо отдельных открытых антенн «эффект открытой антенны» (или вертикальный), в замкнут. же антенне—путем заземления средней точки последней (см. *Гониометр*, фиг. 14). На фиг. 15 статьи *Гониометр* показаны характеристики, по-

лученные на практике при К. с., примененной к двум гониометрам, включенным на один и тот же приемник.

К. с. широко используются: 1) при пеленговании (см. *Пеленгаторы*) для получения однозначного пеленга, 2) при *многократном радиоприеме* (см.) для резкого абсолютного минимума приема и получения диаграммы направленности вида, отличающегося от кардиоиды (если $E_{з.а.} \neq E_s$), 3) в *радиомаяках* (см.). К. с. нашли себе применение лишь с 1929 г.

Кардиоидная характеристика м.б. получена также комбинацией из трех ненаправленных (открытых) антенн, расположенных на одной прямой [1]. В этом случае диаграмма направленности для нормального случая приема (без учета нисходящих волн) подчиняется ур-ию:

$$E_{рез.} = B\ (1 + \sin \frac{\pi d'}{\lambda} \cdot \cos z),$$

в котором d'—расстояние между соседними антеннами.

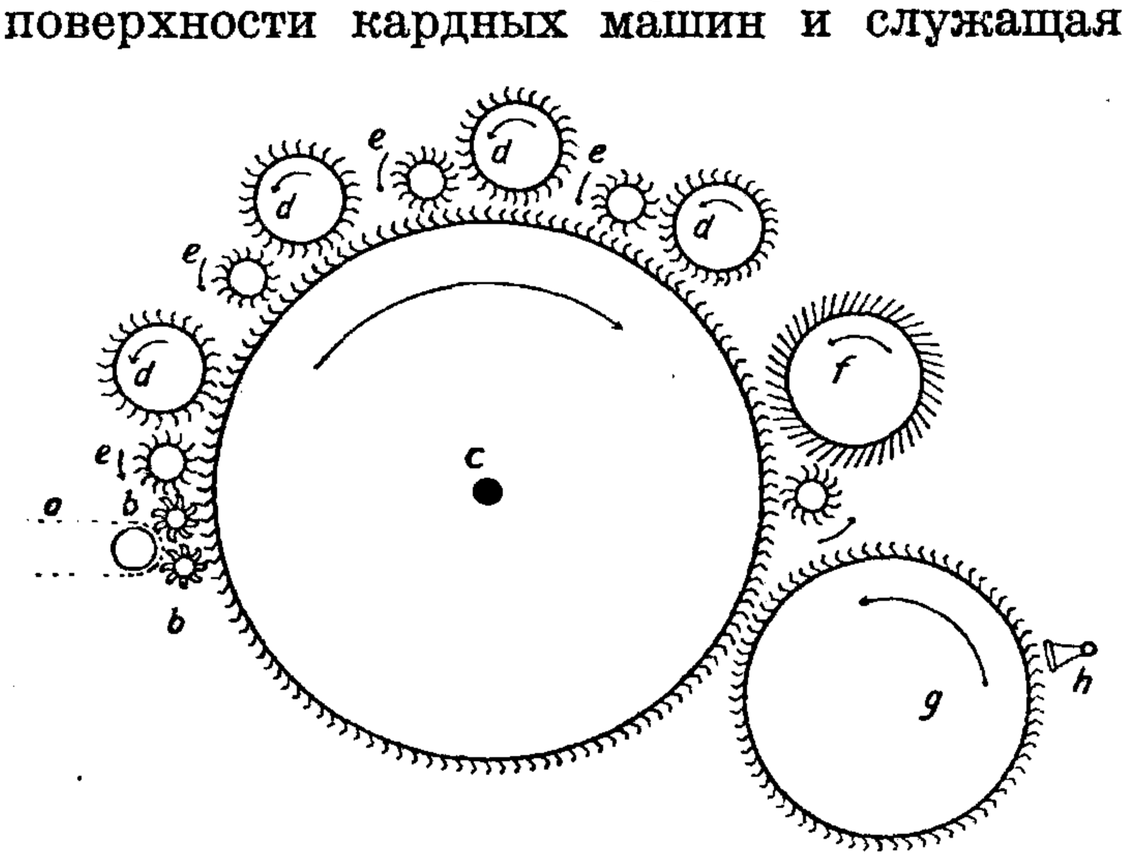
Лит.: 1) Esau A., Richtcharakteristiken u. Antennenkombinationen, «Jahrb. d. drahtl. Telegr. u. Teleph.», B., 1926, B. 28, *1*.

Баженов В. И., Направляемый радиоприем, «Радиотехник», Н.-Новгород, 1919—21, *8—15*; Mesny R., Usage des cadres et la radiogoniométrie, P., 1925; Wright G. M. and Smith S. B., «The Radio Review», L., 1921, v. 2, p. 394—403; Keen R., Direction a. Position Finding by Wireless, 2 edition, London, 1927.

В. Баженов.

КАРДНАЯ ЛЕНТА, карда, см. *Кардное производство*.

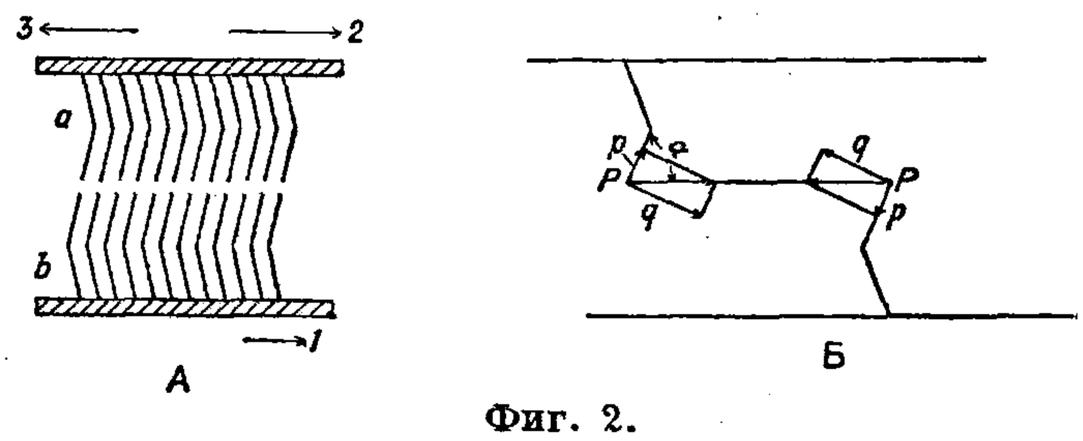
КАРДНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, производство кард для кардочесальн. машин. Кардой, или кардной лентой, называется щетка из стальных игол или скобок, покрывающая рабочие поверхности кардных машин и служащая



Фиг. 1.

для расчесывания волокон при приготовлении их к прядению. Цель кардочесания—разрыхление материала и удаление примесей, отделение волокон друг от друга, равномерное их распределение и, в конечном итоге, их параллелизация. Для указанных целей применяются различного рода карды, в соответствии с обрабатываемым материалом: 1) для шерсти—лента шириною 38—56 *мм*, состоящая из нескольких слоев хл.-бум. ткани, склеенных резиновым клеем, с наклеенным сверху войлоком; 2) для хлопка—лента шир. 19—51 *мм*, состоящая из нескольких слоев хл.-бум. ткани (для основных сортов—с прокладкой полульняной ткани), склеенных резиновым клеем, и покрытая сверху слоем натуральной резины; 3) для льна—лента из деревянных планок. Сквозь кардную ленту пропускаются скобочки из стальной проволоки, а через планки льняной карды—стальные иглы в строго определенном порядке и количестве.

Шерстяные и хл.-бум. карды. Схема работы карды показана на фиг. 1 (взята схема простейшей кардной машины, работающей на расчесывание шерсти). Питательный столик *a* подает шерсть, к-рая захватывается валиками *b*, *b* и передается ими на барабан *c*. Над барабаном расположен ряд валиков, назначение к-рых — прочесывать шерсть; самый прочес выполняется т. н. рабоч. валиками *d*, имеющими более медлен. вращательное движение, чем барабан, и направленное в ту же сторону. Курьерчики *e*, вращающиеся быстрее, чем рабочие валики, снимают оставшийся на рабочих валиках начес и возвращают его на барабан. Бегун *f* имеет значительно более быстрое движение, чем барабан; захватывая своими скобками кардную обтяжку барабана, он поднимает прочесанную шерсть на поверхность кардной

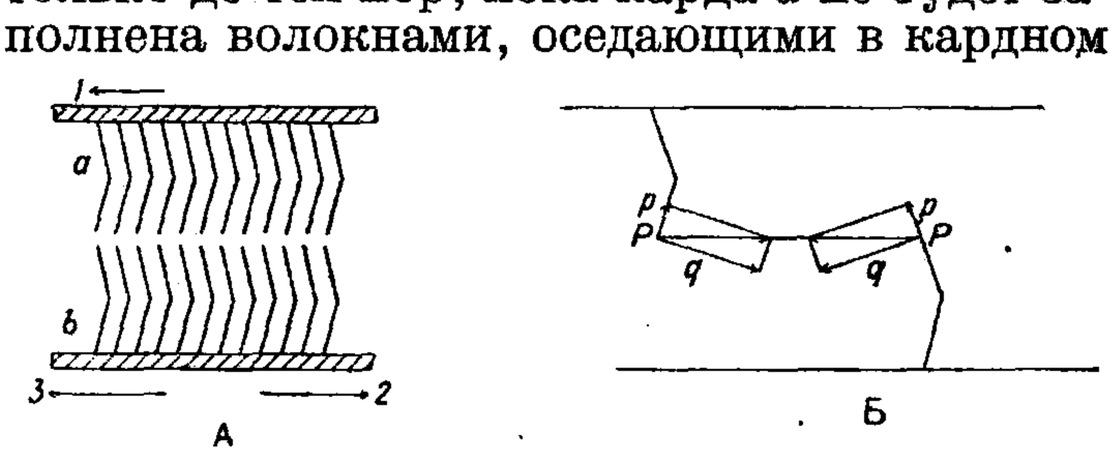


Фиг. 2.

ленты барабана и тем самым дает возможность последнему рабочему органу машины, пеньеру *g*, вращающемуся медленнее барабана, снимать шерсть с последнего. Гребень *h* окончательно снимает весь прочес с кардной машины.

Расположение игол кардной ленты может быть двояким: 1) иглы наклоном своим направлены в разные стороны, 2) иглы направлены в одну сторону.

Случай 1 (фиг. 2, А). Возможны три комбинации: 1) карда *a* находится в состоянии покоя; 2) карда *a* движется в ту же сторону, что и карда *b*, при чем движение должно обязательно происходить с разной скоростью; 3) карда *a* движется в противоположную сторону. Во всех трех случаях карда *b* движется в направлении стрелки *1* со скоростью v_b. На практике 1-я комбинация не встречается, потому что прочес будет итти только до тех пор, пока карда *a* не будет заполнена волокнами, оседающими в кардном



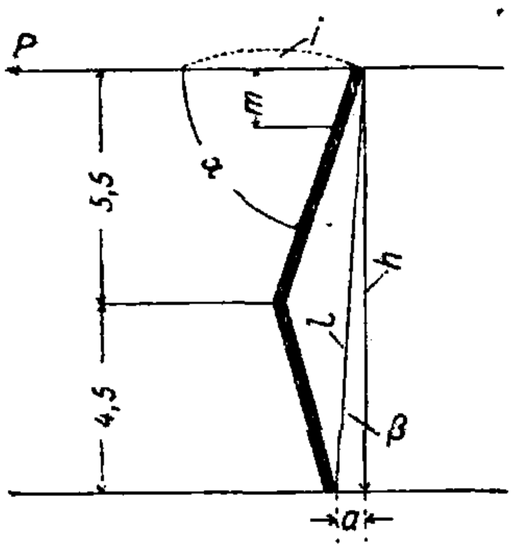
Фиг. 3.

покрове, а затем он прекратится. Рабочая скорость для 2-й комбинации $v = v_b - v_a$ (предполагая, что *b* движется быстрее, чем *a*); для 3-й комбинации $v = v_b + v_a$. На фиг. 2, Б, видны две совместно работающие скобочки, захва-

тившие волокно и натянувшие его с силой P. Разлагая силу P на силу p, идущую по направлению иглы, и силу q, направленную перпендикулярно к ней, получим:

$$p = P\cos\alpha \quad \text{и} \quad q = P\sin\alpha.$$

Сила p стремится втолкнуть волокно внутрь кардного покрова, сила же q будет стремиться сбросить волокно с иглы.



Фиг. 4.

Случай 2 (фиг. 3, А). Те же три возможные комбинации. Разложение силы P показывает (фиг. 3, Б), что сила p для скобочек карды a стремится втолкнуть волокно внутрь карды, для скобочек же карды b—стремится сбросить его с иглы. Соответственно этому действует сила q, стремясь для карды a сбросить волокно с иглы и втолкнуть его в кардный покров b.

Из вышеизложенного следует, что иглы, направленные своим наклоном в одну сторону, заставляют волокно переходить с одного рабочего органа на другой, а иглы, имеющие наклон в разные стороны, производят разрыхление волокна, распрямление его и прочес.

Конструкция скобочек основана на том, что два совместно работающих кардных покрова устанавливаются друг против друга на расстоянии 0,1524—0,2032 *мм*; следовательно, чрезвычайно важно, чтобы силы, стремящиеся выпрямить скобочку, не могли поднять ее настолько, чтобы повредить работе прочеса. Предполагая, что величина подъема скобочки (фиг. 4) равняется i, расстояние от основания скобочки до основания перпендикуляра h, проведенного через острие иголочки, равно a и расстояние от основания скобочки до острия ее равно l, получим:

$$a = h\,\mathrm{tg}\,\beta \text{ и } l = \frac{h}{\cos\beta}.$$

Если скобочка под действием силы P выпрямляется, то

$$i = l - h = h\left(\frac{1}{\cos\beta} - 1\right).$$

Принимая (для хлопчатобумажной ленты) угол $\alpha = 75°$, угол $\beta = 5°$ и $h = 10$ *мм*, получим: $a = 0{,}875$ *мм*, $l = 10{,}04$ *мм*, $i = 0{,}04$ *мм*. Если предположить, что (в самом худшем случае) оба кардных покрова поднимутся на указанную величину, то расстояние между кардами будет $0{,}1524 - 2 \cdot 0{,}04 = 0{,}0724$, т. е. приблизительно будет равно половине нормального расстояния, что приведет к более сильной разработке волокон, но не прекратит самого процесса прочеса.

В основном карда носит название тех рабочих органов, к-рые она обтягивает: 1) для шерсти — барабан, пеньер, рабочий валик, курьерчик и т. д.; 2) для хлопка — барабан, вальян, очистительная и т. д.; 3) для льна— барабанные, вальянные, съемные планки и т. д. Каждый из этих видов карды имеет свои определенные признаки, характеристика которых дана в табл. 1.

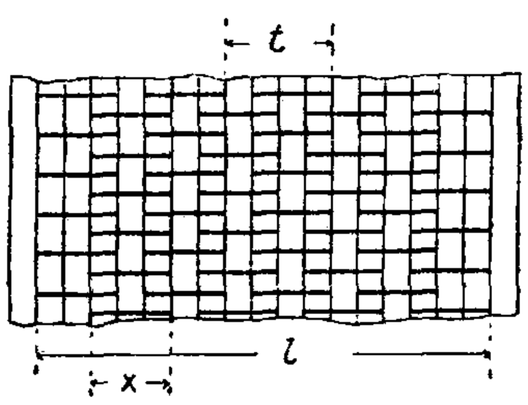
Табл. 1.—Характеристика кардных лент.

Сорт ленты	Основание	Ширина основания в *мм*	Высота скобки в *мм*	Угол наклона скобки в градусах	Нормальное натяжение в *кг*
Для шерсти:					
Барабан	7 сл. саржи + 1 сл. войлока толщ. 4,5 *мм*	56	12,5	60	170
Пеньер	Такое же	56	12,5	60	150
Рабочий валик	6 сл. саржи + 1 сл. войлока толщ. 4,5 *мм*	46	12,5	60	120
Курьерчик	Такое же	38	12,5	60	90
Бегун	5 сл. саржи + 1 сл. войлока толщ. 2,5 *мм*	46	26,0	60	90
Для хлопка:					
Барабан	3 сл. саржи + 2 сл. полульняной ткани + 1 сл. натуральной резины.	51	10,0	80	135
Вальян	Такое же*	38	10,0	80	102
Очистительная	2 сл. саржи + 1 сл. полульняной ткани + 1 сл. натуральной резины	38	21,0	55	65
Шлифовальная	Такое же	38	21,0	70	65

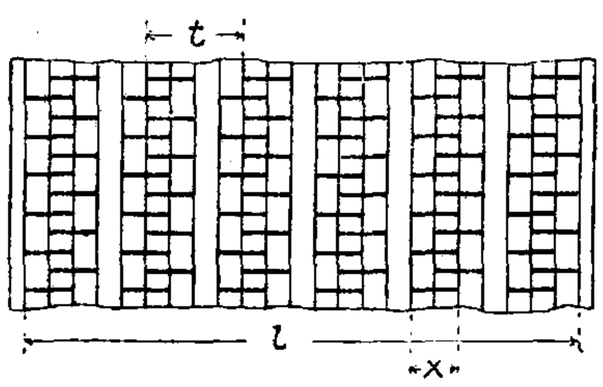
* Для указанных здесь вальянов (реже для барабанов) основание заменяется иногда, по желанию потребителей, основанием «вулен», представляющим собою два слоя саржи с шерстяной прокладкой между ними, при чем все это проклеено животным клеем.

Помимо этих признаков, сорта ленты отличаются между собой еще количеством скобочек и порядком их расположения. Порядок, или т. н. набор кардной ленты, в значительной степени определяет собою работу карды. Основных видов набора существует три: 1) открытый, или обыкновенный, барабанный (фиг. 5), 2) колонный (фиг. 6, 7, 8) и 3) косой (фиг. 9, 10). Колонный набор делится на двухскобочный (фиг. 6), трехскобочный (фиг. 7) и четырехскобочный (фиг. 8); определяющий момент—количество скобочек, повторяющихся в одной вертикальной колонке. Косой набор делится на набор в $^1/_2$ скобки (фиг. 9) и набор в $^1/_3$ скобки (фиг. 10); определяющий момент—величина смещения каждой последующей скобки в одной и той же косой колонке. На фиг. 5—10

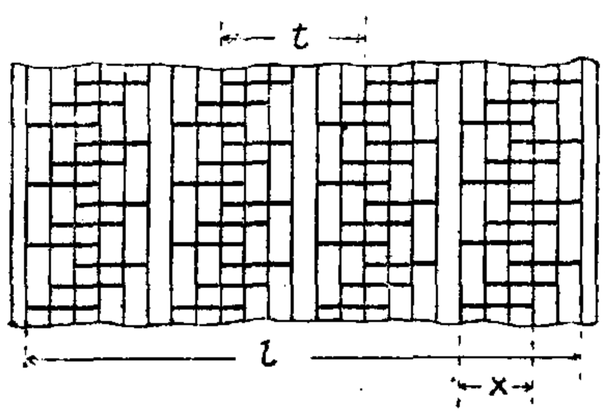
показано расположение поперечин скобок на изнанке ленты. Нужно иметь в виду, что открытый набор в настоящее время почти совершенно вышел из употребления вследствие одного существенного недостатка: фиг. 11 и 12, из к-рых первая изображает



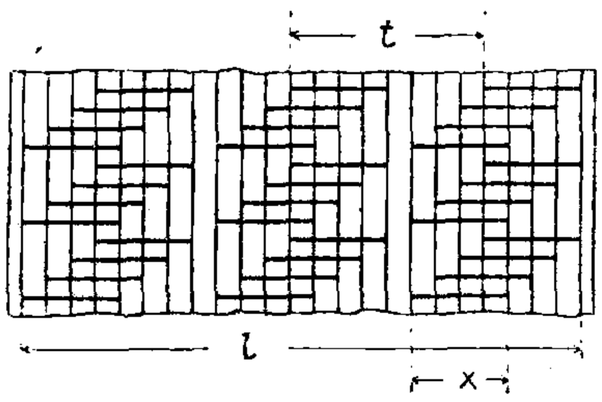
Фиг. 5.



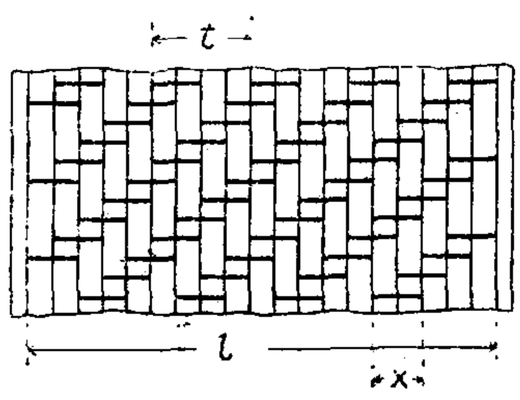
Фиг. 6.



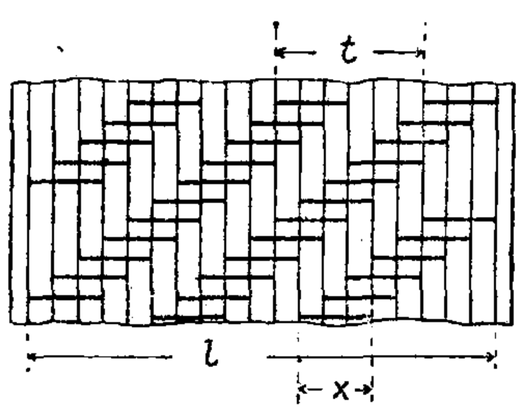
Фиг. 7.



Фиг. 8.

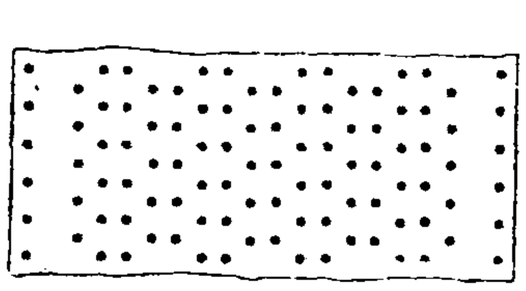


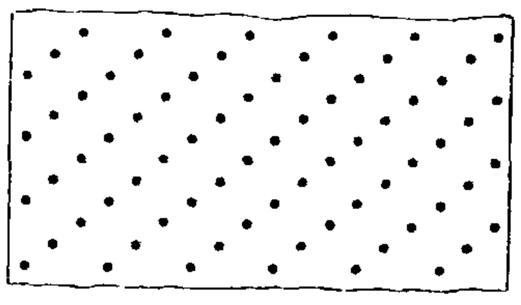
Фиг. 9.



Фиг. 10.

лицевую сторону открытого набора, а вторая — колонного набора, показывают, что открытый набор дает по бокам прогалины, в то время как колонный имеет совершенно


Фиг. 11.


Фиг. 12.

равномерное распределение игол, чем достигается гораздо лучший прочес. Двухскобочные и четырехскобочные наборы также почти изъяты из употребления, потому что трехскобочный набор гораздо равномернее.

Для определения ширины скобок служат следующие ф-лы. Обозначая через t шаг скобки (расстояние по ширине ленты от начала одной скобки до начала другой, выраженное в делениях), через l—ширину ленты по набору (в *мм*), через n—число колонок, через x—искомую ширину скобки, выраженную в *мм*, получим:

1) для открытого набора (фиг. 5): $t = 4$ делениям; $x = \frac{3t}{4}$; $l = nt + \frac{t}{4} = t\left(n + \frac{1}{4}\right)$, откуда

$$t = \frac{4l}{4n+1} \quad \text{и} \quad x = \frac{3l}{4n+1}.$$

Таким же образом получаем:

2) для колонного двухскобочного набора (фиг. 6): $x = \frac{2l}{4n-1}$;

3) для колонного трехскобочного набора (фиг. 7): $x = \frac{3l}{6n-1}$;

4) для колонного четырехскобочного набора (фиг. 8): $x = \frac{4l}{8n-1}$;

5) для косого набора в $^1/_2$ скобки (для косых наборов n—число скобок, помещающихся в одной косой колонке; фиг. 9): $x = \frac{2l}{n+1}$;

6) для косого набора в $^1/_3$ скобки (фиг. 10): $x = \frac{3l}{n+2}$.

Одним из важнейших признаков, характеризующих кардную ленту, является частота посадки скобок на единице площади ее. Табл. 2 (ст. 829) дает представление о частоте набора некоторых главнейших видов кардной ленты.

Из табл. 2 видно, что шерстяная и хл.-бум. ленты имеют различные нумерации: для шерстяной ленты применяются номера порядка 12 — 30, а для хлопчатобумажной — 60—140. В основе нумерации для шерстяной ленты лежит французско-немецкая система, для хлопчатобумажной — английская. Английская сист. основана на подсчете числа скобок, приходящихся на 1 дм.^{2} поверхности карды (правило для определения №: число скобок в 1 дм.^{2} разделить на 2,5); французско-немецкая система основана на подсчете числа игол, приходящихся по ширине ленты на два ряда скобок при открытом (обыкновенном) наборе. Естественно, конечно, что № ленты также тесно связан с диаметром употребленной проволоки: соотношения №№ видны из той же табл. 2.

Несколько отличным от перечислен. типов кардной ленты является колковая лента. Основание ее обычно составляют слой саржи + 6 слоев парусины; скобочки сделаны из железной секторальн. проволоки профилей (по Стубсу) № 12/23, 15/18, 16/19, 18/21 и 19/22. Колковая лента № 12/23 часто употребляется на фабриках для обтяжки приемных валиков чесальных машин, заменяя собою зубчатую проволоку (гарнет). Колковая кардная лента применяется главн. образом в кустарных и полукустарных производствах (валяльное, шерстобитное дело и т. п.).

Совершенно особняком стоит так наз. ч и с т и л ь н а я к а р д а, самостоятельного значения не имеющая и являющаяся лишь вспомогательной для работы основной карды. Она изготовляется в виде небольших листов (обычно 250 × 100 *мм*); основанием ее служат 5 слоев саржи и 1 слой натуральной резины; скобочки значительно выше скобочек обыкновенной кардной ленты; высота их равна 12 *мм*, угол наклона—40°. Чистильными кардами снимают вручную весь осев-

Табл. 2.—Набор главнейших видов кардной ленты.

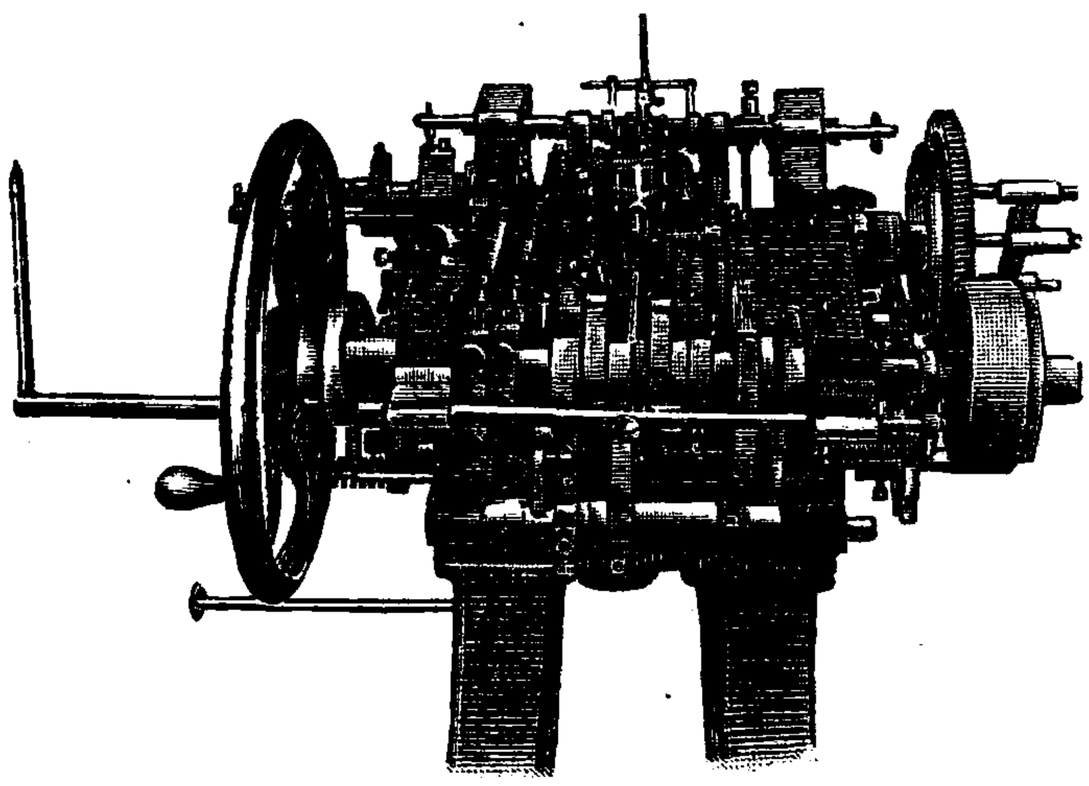
Сорт ленты	№ ленты	Диам. провол. в *мм*	№ провол. по кардн. калибру	Число скоб на 1 дм.²	Сорт ленты	№ ленты	Диам. провол. в *мм*	№ провол. по кардн. калибру	Число скоб на 1 дм.²
Для шерсти:					Для шерсти:				
Барабан . .	14	0,45	27	95	Пеньер . . .	14	0,45	27	115
» . .	16	0,40	28	115	» . . .	16	0,40	28	135
» . .	18	0,37	29	135	» . . .	18	0,37	29	160
» . .	20	0,34	30	160	» . . .	20	0,34	30	190
» . .	22	0,31	31	190	» . . .	22	0,31	31	225
» . .	24	0,28	32	225	» . . .	24	0,28	32	260
» . .	26	0,26	33	260	» . . .	26	0,26	33	290
» . .	28	0,24	34	290	» . . .	28	0,24	34	325
Для хлопка:					Для хлопка:				
Барабан . .	60	0,50	26	150	Вальян . . .	70	0,45	27	175
» . .	70	0,45	27	175	» . . .	80	0,40	28	200
» . .	80	0,40	28	200	» . . .	90	0,37	29	225
» . .	90	0,37	29	225	» . . .	100	0,34	30	250
» . .	100	0,34	30	250	» . . .	110	0,31	31	275
» . .	110	0,31	31	275	» . . .	120	0,28	32	300
» . .	120	0,28	32	300	» . . .	130	0,26	33	325
» . .	130	0,26	33	325					

ший на основной кардной ленте начес. Тем же целям (только для механич. очищения) служат т. н. штучные или листовые карды, набиваемые на валик чесального аппарата либо параллельно его оси либо винтообразно; размеры их и технич. условия чрезвычайно разнообразны и зависят в большинстве случаев от желания потребителей и конструкции их чесальных аппаратов.

Для хорошей и долговечной работы кардной ленты очень важна правильная ее обтяжка на соответствующих органах чесальной машины. Лучше всего обтяжку производить при помощи натяжного аппарата Дронсфильда; этот аппарат представляет собою скользящий по винту супорт, снабженный сильной пружиной, с приспособлением для зажима ленты, и может развить усилие до 200 *кг*. В случае отсутствия аппарата Дронсфильда допустима обтяжка при помощи комбинации блока с грузом, подвешиваемым на ленту. Нормальное напряжение при обтяжке ленты на органы чесальной машины показано в табл. 1.

В СССР в настоящее время разрабатывается обязательный стандарт кардной ленты. По этому стандарту предполагается внести ряд упрощений и обобщений, долженствующих значительно упростить изготовление кард. Набор для барабанов и вальянов хлопчатобумажн. кары и для барабанов, пеньеров, рабочих валиков и курьерчиков принимается исключительно трехскобочный колонный; для очистительных, шлифовальных и фанцевых лент—косой в 1/3 скобки; число скобок в одной косой колонке—30; для бегунов—косой набор в 1/2 скобки, число скобок в одной косой колонке—24. Ширина лент принимается: а) для шерстяных барабанов и пеньеров—56 *мм*, для рабочих валиков и курьерчиков—28 *мм*, для бегунов—46 *мм*; б) для хлопчатобумажных барабанов и вальянов—51 *мм*, при чем лента, идущая на обтяжку рабочих валиков и курьерчиков (хлопчатобумажных), разрезается по всей длине пополам и по ширине, следовательно, равна 25,5 *мм*, а для фанцевых, очистительных и шлифовальных лент — 38 *мм*. Число колонок в наборе принимается для шерстяных барабанов и пеньеров равным 8—до № 22 включительно и равным 10—от № 24 и выше. Соответственно этому для рабочих валиков принимается 4 и 5 колонок. Для хл.-бум. барабанов и вальянов—8 колонок для всех №№. Указанные здесь данные, естественно, в периоде обсуждения их всей текстильной промышленностью могут еще измениться.

Основными материалами в К. п. служат стальная проволока и различного вида основания. Проволока употребляется стальная, закаленная и отпущенная, диаметром 0,50—0,22 *мм*. Основание, поступающее на кардолентную ф-ку в виде больших рулонов (диаметром до 1 *м* и шириной до 1,38 *м*), направляется в кроильный цех фабрики, где на кроильных машинах оно разрезается на ленты

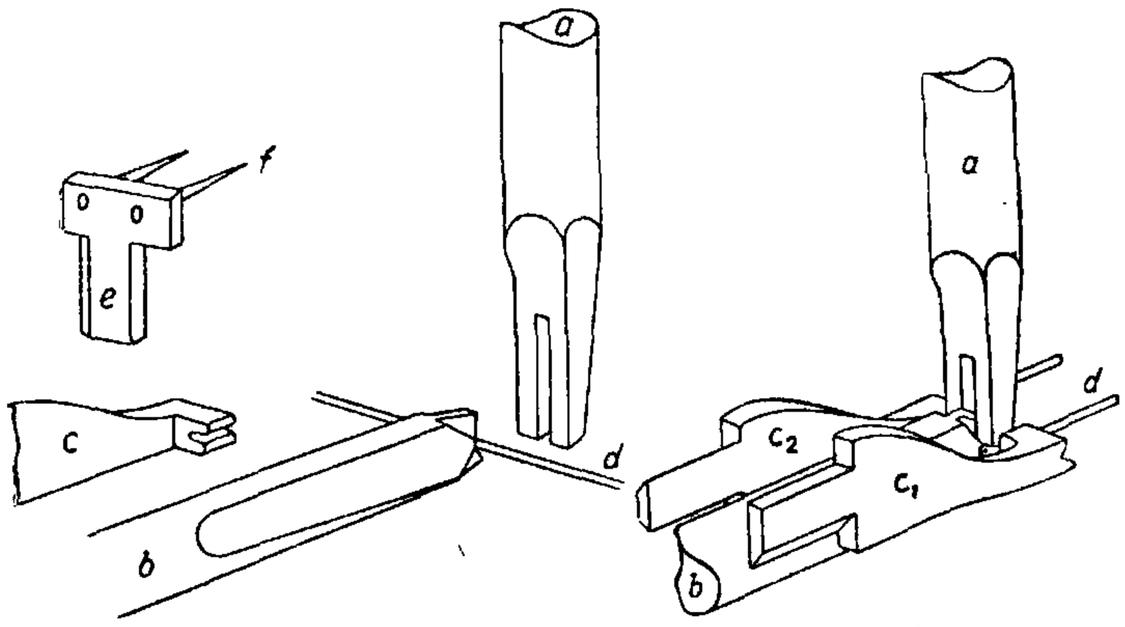


Фиг. 13.

необходимой ширины. Кроильная машина представляет собою пару тяжелых тянущих валов, имеющих впереди себя рамку с количеством ножей по числу раскраиваемых лент. Следующая операция—склейка ленты до необходимой длины (ленты приклеиваются одна к другой наподобие кожаного приводного ремня, путем сведения двух приклеиваемых концов на-нет). Затем лента отмеряется по длине и передается в следующий цех—кардонаборный, являющийся основным цехом фабрики.

В кардонаборном цехе раскроенное основание пропускается через специальные станки-автоматы, к-рые производят «набор» ленты, т. е. в известном закономерном порядке вставляют в основание скобочки из стальной проволоки. Общий вид станка дан на фиг. 13. Схема работы кардонаборного станка такова. Проволока с мотков на небольших барабанах, установленных сбоку станка и вращаю-

щихся по направлению хода проволоки, захватывается подавателем, зажимается между двумя стальными калеными губками и подается через стальную трубочку вперед на отрезок, равный длине скобочки в развернутом виде. Затем проволока зажимается прижимом, удерживающим ее все время, пока скобка не будет согнута и вставлена на место. С момента захвата проволоки прижимом подаватель начинает обратное движение и возвращается в свое первоначальное положение. В это время свободный конец проволоки, лежащей за стальной трубочкой, подхватывается носиком *a* и прибивальником *b* (фиг. 14), и, после того как проволока *d* будет крепко захвачена указанными приспособлениями, она отрезается стальными ножами. За это время ударник (петер), снабженный головкой *e* с двумя иглами *f*, накалывает в основании ленты два соответствующих отверстия. Щечки c_1 и c_2 (фиг. 15) загибают проволоку вокруг носика, и затем вся система каретки, на к-рой укреплены щечки, носик, прибивальник и т. д., движется вперед и подводит скобку к проколотым отверстиям, куда она и вдвигается, при чем находящееся с другой стороны основания приспособление (коленца) загибает проволоку под заданным углом. После этого носик поднимается квер-



Фиг. 14.

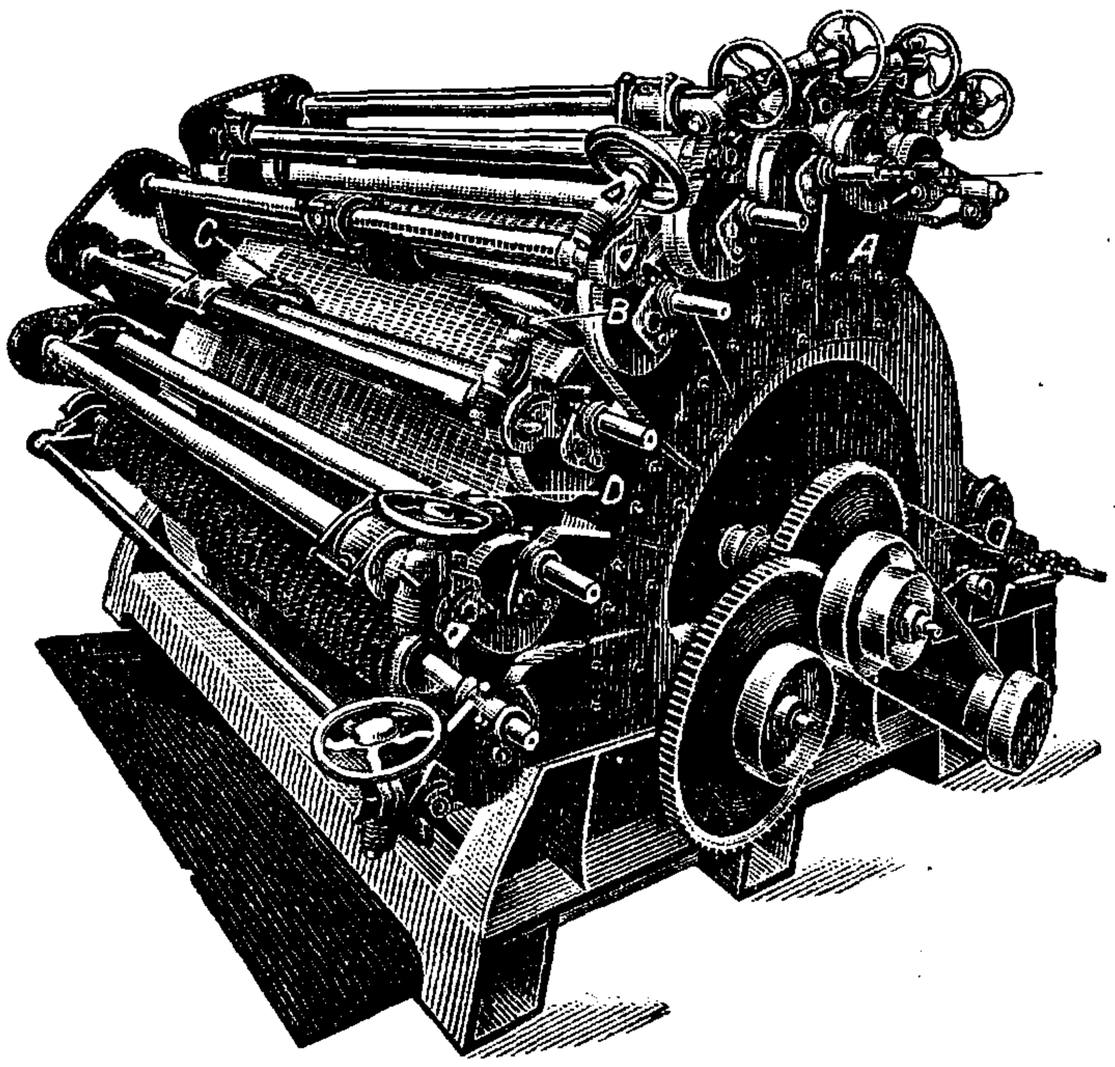
Фиг. 15.

ху, прибивальник окончательно устанавливает скобку, а вся система каретки возвращается в исходное положение.

Вертикальная подача основания в станок производится парой рифленых валиков, посредством зубчатых сменных передач, подбираемых в зависимости от номера ленты. Горизонтальная подача основания от одного ряда к другому производится ступенчатым колесом (обичайкой), а на нек-рых специальных машинах и кое-где в устарелых обыкновенного типа кардонаборных машинах — посредством червячного винта. Число оборотов на современных станках равно 310—330 в мин.; производительность таких станков—ок. 9 *м* среднего № ленты в одну 8-час. смену. Один рабочий (регулер) с подручным обслуживает от 12 до 16 станков, в зависимости от быстроходности их.

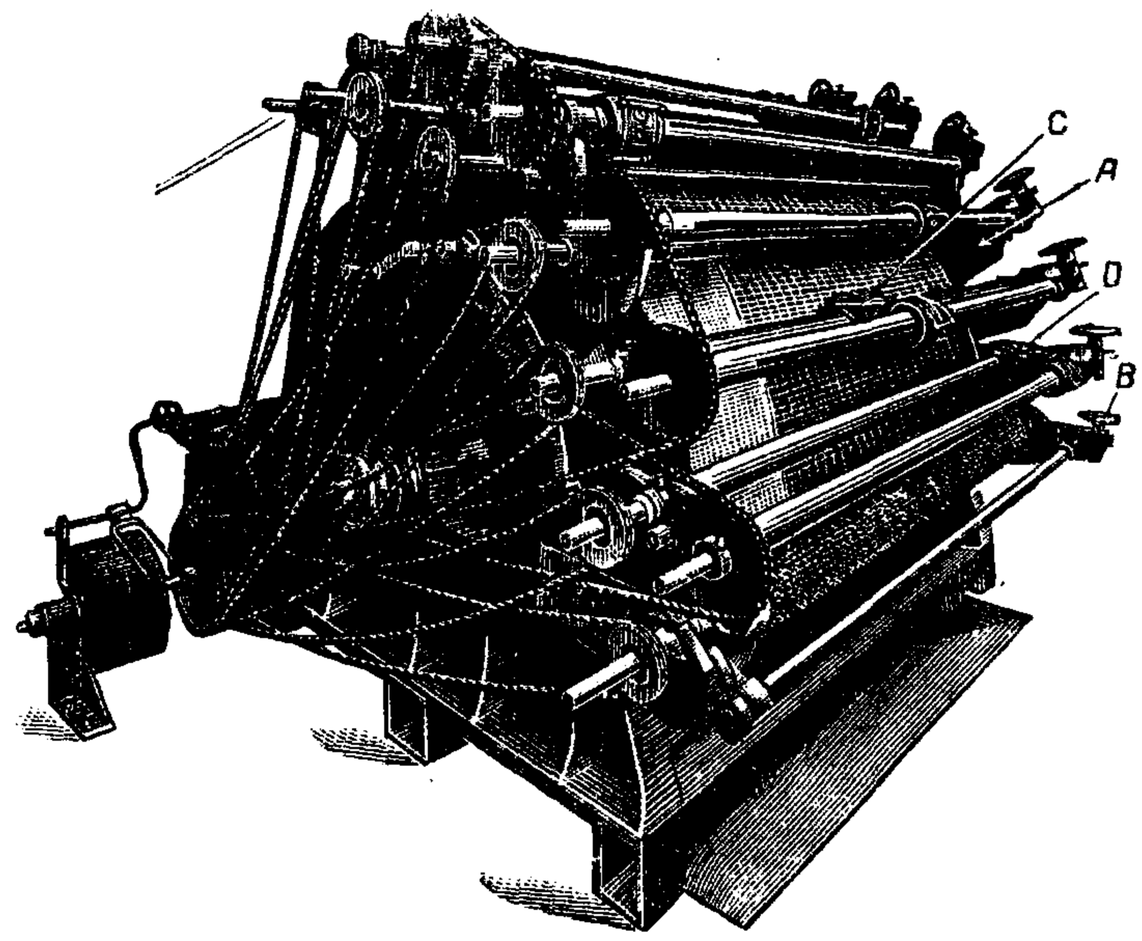
Следующей операцией является заборка ленты: после выхода со станка лента просматривается, при чем от руки исправляются все пропуски и недостатки, получившиеся при работе на кардонаборных станках. В настоящее время эта операция объединена с набором ленты и производится непосредственно вслед за ним.

Пройдя заборку, лента попадает в точильный цех, где иглы ленты обтачиваются и заостряются. Эта операция производится на т. н. точильных барабанах, общий вид к-рых дан на фиг. 16 (система Дронсфильд). Лента



Фиг. 16.

навивается на барабан диам. ок. 2 *м*. Рамы *A* поддерживают червяки, вдоль к-рых имеют вращательное (очень быстрое) и поступательное (медленное) движение в ту и другую сторону карборундовые валики *C*, обтачивающие иглы по торцевой поверхности, и валики *D*, состоящие из 14 карборундовых дисков, толщиной в $1^1/_2$ *мм*, обтачивающие иглы с боков, между рядами их. Боковой точке подвергаются хл.-бум. ленты, начиная от № 90 и выше. При боковой точке необходимо, чтобы острие иглы было на два № тоньше употребленной проволоки. Таких валиков на точильном барабане имеется несколько. Кроме того, во всю ширину точильного барабана имеется металлич., оклеенный наждаком валик, имеющий, помимо вращательного, еще и небольшое поступательное движение и предназначенный также

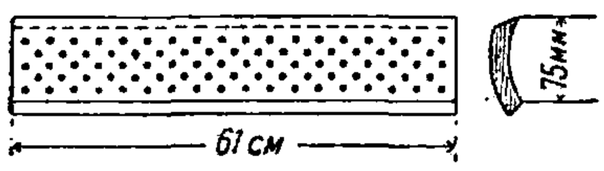


Фиг. 17.

для поверхностной обточки. Ручные маховички *B* служат для установки обтачивающих валиков и регулировки нажима на кардную ленту. Система передач видна из фиг. 17.

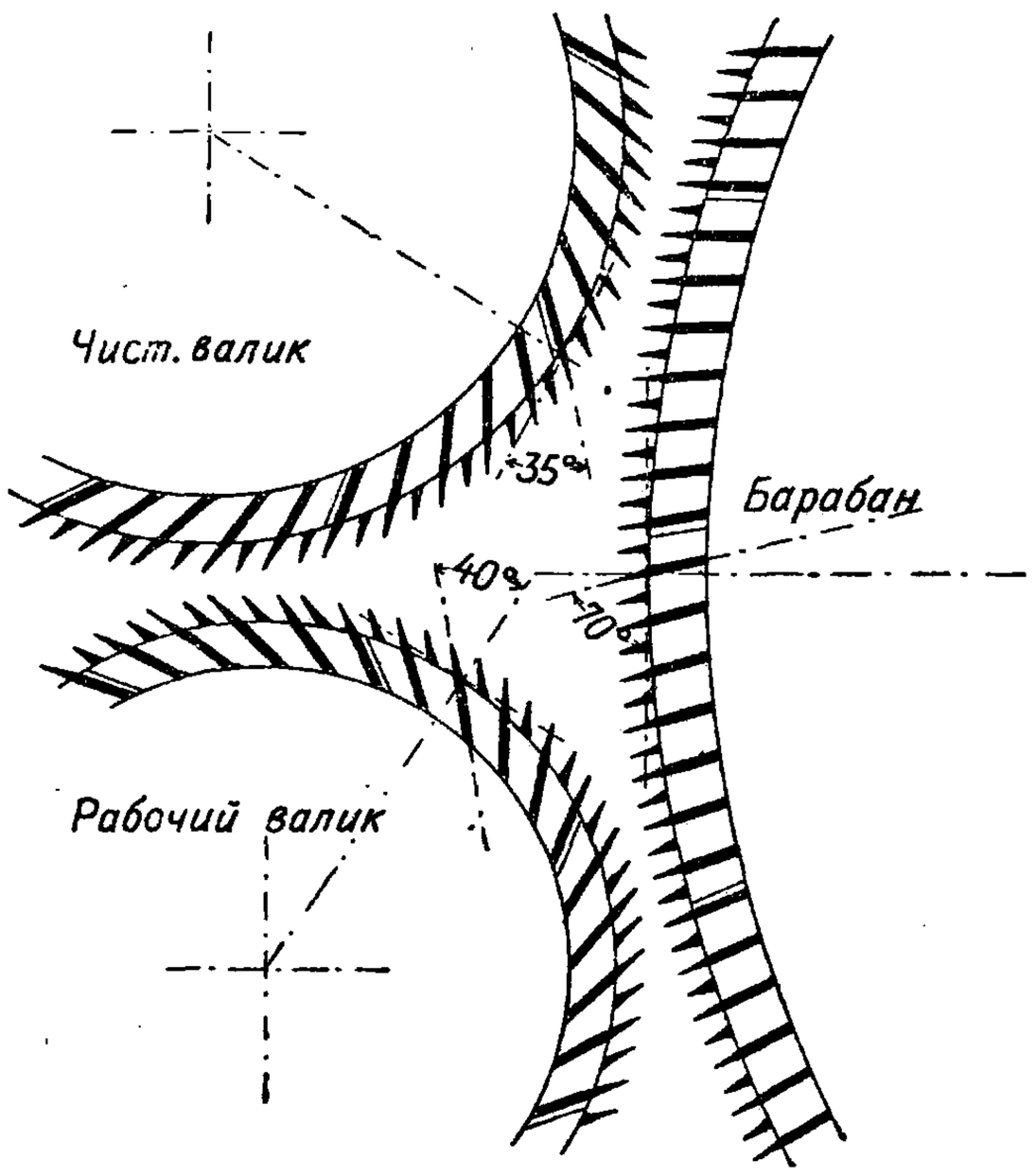
После обточки лента вторично просматривается (исправляются кромки, повреждения скобок и т. д.), при чем небольшая часть ленты подвергается аппретуре, т. е. исправлению рядов скобочек. Отсюда лента идет в обрезальный цех, где непокрытые скобками кромки ленты срезаются (ширина кромки ленты после обрезки должна равняться половине расстояния между рядами игол данной ленты). Упаковка ленты, в виду крайней чувствительности ее к ржавлению, производится в пергамент, хлопчатую бумагу и в деревянный хорошо пригнанный и высушенный ящик. Готовая кардолента хранится обязательно в сухом отапливаемом помещении с $t°$ 11—15° и относительной влажностью в 55%. **Э. Рид.**

Льняная карда. Основанием льняной карды служат буковые планки (красного бука), а вместо проволочных скобочек применяются стальные иглы. Наборы и №№ игол (в льняной карде под набором подразумевается произведение количества игол в ряду на число рядов) зависят от ровности подвергающейся обработке пряжи. Так, в стандартной гарнитуре завода «Мекки» различаются 3 класса: 1-й класс для пряжи №№ 6—10, 2-й класс для №№ 12—16 и 3-й класс для №№ 18—22. 1-е и 2-е Льноправления за последнее время ввели на своих фабриках стандарт гарнитуры, разбитый на 4 класса: 1-й класс для пряжи №№ 6—10, 2-й класс для №№ 12—16, 3-й класс для №№ 18—22, 4-й класс для №№ 24—28. Способы расположения игол в планке разнообразны, но подчиняются одному основному правилу, чтобы на одной прямой, проведенной поперек планки, находилось не более одной иглы (фиг. 18). Применение кардных планок в льняной промышленности—явление последнего времени. Ранее употреблялась кардная лента на кожаном основании, часто еще обшитом тонкой жестью, а проволочные скобочки изготовлялись из более грубых №№ проволоки. В СССР, а отчасти и за границей, процесс перехода на планочную гарнитуру до настоящего времени еще не закончен.



Фиг. 18.

Буковая заготовка для планок д. б. без всяких древесных пороков, выдержана и содержать влаги не более 12%; в Англии обычно употребляется бук, выдержанный не менее 5 лет. Большое значение имеет также расположение слоев (годичных колец) в планке. Так, в буковой заготовке, предназначенной для изготовления барабанных планок, слои д. б. расположены параллельно нижнему основанию планки, а в вальянных планках—под углом к нему, для того, чтобы вставленная игла была направлена перпендикулярно к слоям бука (фиг. 19). Это необходимо, во-первых, для того, чтобы сверление не ослабляло чрезмерно крепости планки (в планке бывает до 2 000 игол), а во-вторых, для того, чтобы при сверлении сверло не уводило. Буковой заготовке придается особый профиль, который легко получить, описав из одного центра две окружности и разделив полученный так. обр. обод на равные части секущими, проведенными под известным углом к меньшей окружности. Тогда внутренняя окружность будет органом чесальной машины, подлежащим обтяжке планками, а внешняя — поясом планок. Для получения отверстий для вставления игол планки поступают на сверлильные автоматы, на к-рых одновременно работают 4 сверла, при чем



Фиг. 19.

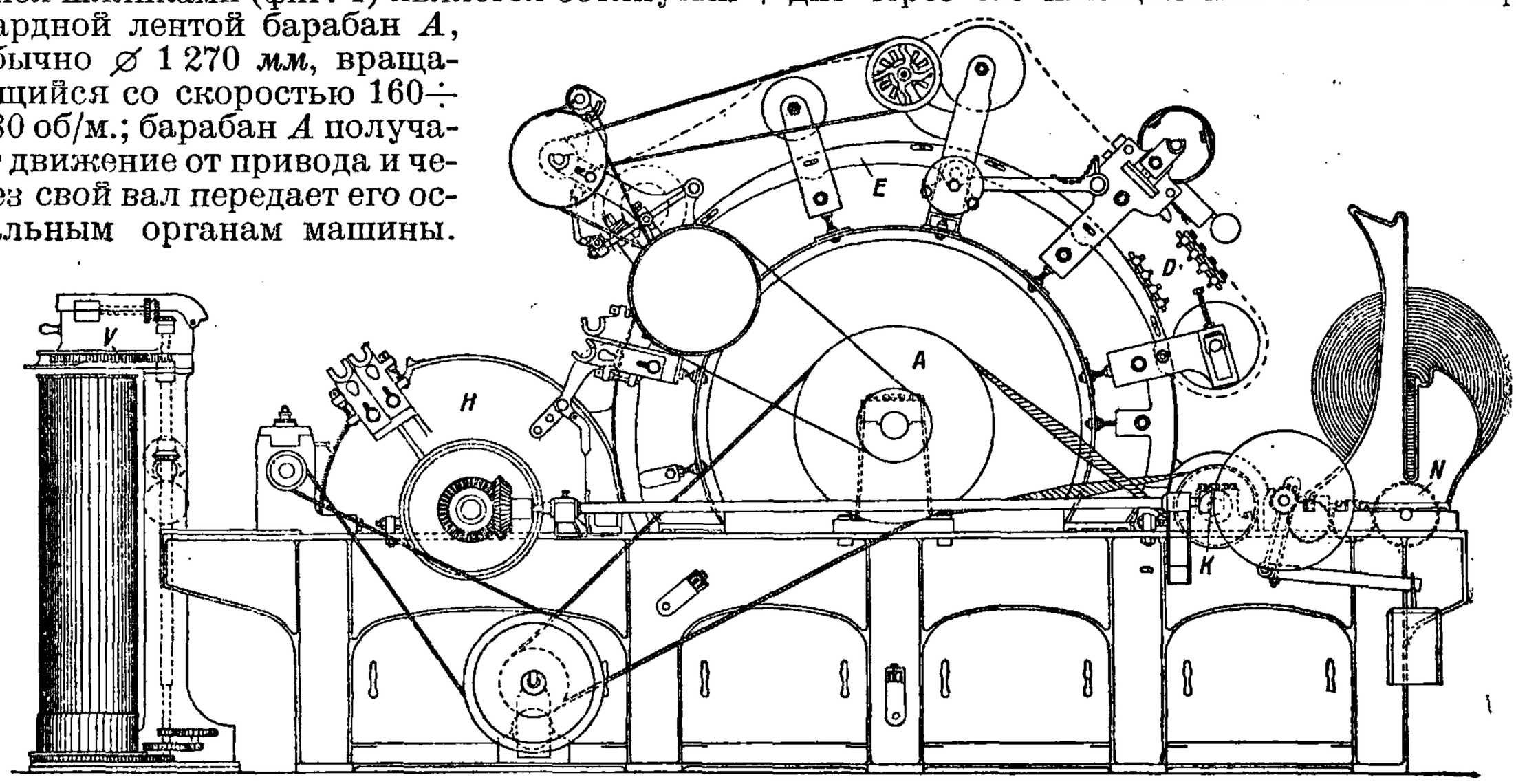
сверло, пройдя примерно половину планки, автоматически поднимается наверх, а затем уже, опускаясь снова, просверливает планку до конца. Это делается с целью удаления накопившейся стружки, которая затрудняет сверление и способствует отклонению сверла от первоначального направления. Супорт автоматически передвигает планку вдоль, а по окончании ряда отверстий—поперек (наискось) для получения второго ряда, в к-ром отверстия расположены диагонально по отношению к первому ряду. Эти 4-шпиндельные автоматы являются русским изобретением, и за границей их нет. Производительность сверлильных автоматов достигает 100 000 дыр за 8-час. рабочий день. Просверленные планки зачищаются, и их верхняя поверхность лакируется, после чего они поступают в забивку, где от руки в просверленные дыры забиваются стальные иглы. Следующей операцией является ручная правка игол: иглы выравнивают по особым шаблонам как по высоте, так, и по их расположению. Затем концы планок обрезаются с концов по заданной длине, после чего планки поступают в контроль, а затем в упаковку. Производство планок в фабричном масштабе налажено в СССР лишь в 1924 году. До этого времени они ввозились главным образом из Англии.

Производство льняных кард во всех стадиях, за исключением правки игол, не представляет профессиональных вредностей, но правка игол заметно отражается на зрении рабочих, производящих правку.

Лит.: Монахов А. Д., Общий курс технологии волокнистых веществ, Л., 1924; Чиликин Н. М., Лен и льнопрядильное производство, М.—Л., 1926; Канарский Н. Я., Шерсть и ее обработка, М., 1924; Брукс К., Кард-машины и кардование хлопка, Л., 1925; Казанский В. Ф., Чесальные машины, Ив.-Вознесенск, 1928; Taggart W. S., Die Baumwollspinnerei, B. 1, München—Berlin, 1914; Zipser J. u. Marschik C., Die Technologie d. Spinnerei, W.—Lpz., 1925; Zipser J. u. Marschik C., Die textilen Rohmaterialien u. ihre Verarbeitung, T. 2, W.—Lpz., 1925; Lüdicke A., Die Spinnerei, Technologie d. Textilfasern, hrsg. von R. Herzog. B. 2, B., 1927; Meyer O. u. Zehetner J., Technik u. Praxis d. Kammgarnspinnerei, B., 1923; Preu R., Die Kammgarnspinnerei, 7 Aufl., B., 1928; Bradley J., Wool Carding, Manchester, 1921; Barker A. and Priestley E., Wool Carding and Combing, L., 1919. **Ф. Карикаш и Э. Рид.**

КАРДОЧЕСАЛЬНАЯ МАШИНА служит для расчесывания волокон при помощи кард при приготовлении волокон к прядению (см. *Кардное производство*). В настоящее время применяются три типа К. м.: 1) валичные машины, у которых чесание производится цилиндрическими поверхностями, обтянутыми кардой; 2) машины с движущимися шляпками, у к-рых одна рабочая поверхность цилиндрическая, а другая плоская, и 3) смешанные машины, у которых кардочесание осуществляется последовательно, сначала по первому, а затем по второму типу.

В хлопкопрядении применяются преимущественно К. м. с движущимися шляпками, реже—смешанные, и лишь на очень редких фабриках сохранились валичные К. м., и то преимущественно для низких сортов хлопка. Главным органом К. м. с движущимися шляпками (фиг. 1) является обтянутый кардной лентой барабан *A*, обычно ⌀ 1 270 *мм*, вращающийся со скоростью 160÷180 об/м.; барабан *A* получает движение от привода и через свой вал передает его остальным органам машины.



Фиг. 1.

Приемный вальян *K*, обычно—чугунный полый цилиндр диаметром 229 *мм*, вращающийся со скоростью 350÷400 об/м., который обтянут пильчатой лентой Гарнета. Шляпки *D* представляют собою чугунные планки таврового сечения, шириной 35 *мм*, покрытые с рабочей стороны кардолентой. Они в количестве 100÷110 шт. набраны на две шарнирные цепи и образуют бесконечное полотно, приводимое в движение звездочками. Шляпки покрывают верхнюю полуокружность барабана, установлены весьма близко к его поверхности (0,2 *мм*) и движутся с очень небольшой скоростью (0,1 *м/мин*), образуя, т. о., почти неподвижную относительно барабана поверхность. Одновременно принимают участие в прочесывании 42÷44 шляпки, к-рые скользят своими концами по 2 гибким направляющим дугам *E*, расположенным концентрично с окружностью барабана *A*. Передний вальян *H*, обычно ⌀ 630÷680 *мм*, вращающийся со скоростью 8÷15 об/м., обтянут кардолентой. Наконец, койлер *V* является приспособлением для приема и укладки готового продукта с К. м. в тазы. Хлопок поступает на К. м. в виде холста с трепальной машины и кладется на холстовый валик *N*. Под действием собственного веса холст раскатывается при движении холстового валика, проходит по гладкому столику под питательный цилиндр (рифленый) и подается им к приемному вальяну. Последний зубьями своего пильчатого покрова захватывает волокно и передает его барабану, который несет на себе тонкий слой массы волокон до встречи со шляпками. Затем хлопок прочесывается этими двумя кардными поверхностями (барабана и шляпок) и передается барабаном на передний вальян. С последнего хлопок, в виде тонкого слоя, называемого ваткой или прочесом, снимается качающейся стальной гребенкой (обычно 1 100 ударов в минуту) и проходит между двумя каландрами. Из каландров хлопок выходит в виде рыхлого жгута (ленты), поступает в койлер, проходит через его плющильные валики и через вращающуюся воронку укладывается кольцами в таз. Таз представляет собою фибровый или железный цилиндр ⌀ 230÷250 *мм* и высотой 915 *мм*; он устанавливается своим дном на диск внизу койлера. По мере наработки полные тазы с лентой снимаются и передаются на ленточные машины для дальнейшей обработки. В прилагаемой таблице приведены нек-рые технич. данные относительно заграничных машин. Что же касается советских машин (ленинградского з-да им. Карла Маркса), то для их характеристики

Характеристика заграничных кардочесальных машин.

Заводы	Число об/м. барабана	Число индикаторн. ⅌, потребляемых машиной	Производительность за 8 ч. в *кг*	Место, занимаемое машиной в *м*	Приблизительный вес в *кг*
Бр. Платт	160—180	1,00	До 65	3,18×1,71	2 650
Говард и Булло		1,00		3,15×1,70	
Добсон и Барло		0,75		3,10×1,78	
Гетерингтон		0,66		3,05×1,83	
Твидель и Смоллей		1,00		3,15×1,70	
Брукс и Доксей		1,00		2,98×1,78	

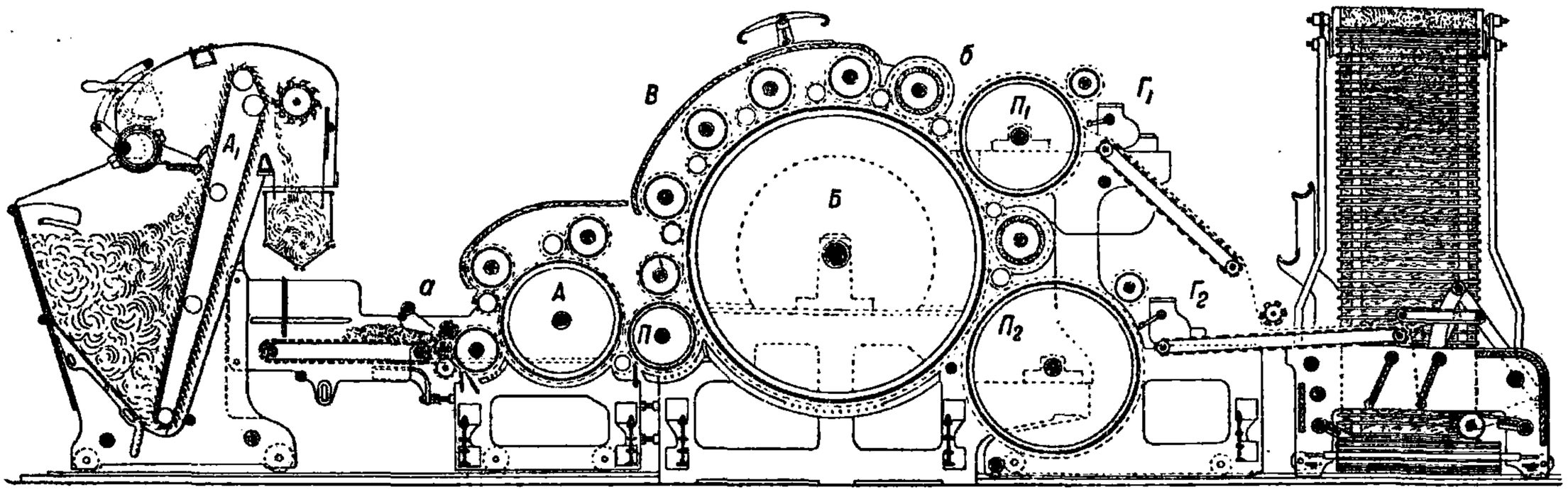
могут служить следующие цифры: длина—3 120 *мм*; ширина — 1 692,5 *мм*; высота — 1 675 *мм*; общий вес—3 000 *кг*, ширина по проволоке — 940 *мм* (37″); длина холста — 965 *мм*; длина барабана—1 289 *мм*; скорость барабана—170 об/м.; константа вытяжки—2 288,64; общая вытяжка — от 79 до 120; расход энергии на холостом ходу—0,8 ⅌, при заправке—1,05 ⅌; производительность, в зависимости от числа зубьев ходовых шестерен, 32 ÷ 50 *кг* за 8 часов, практически—на 10% меньше.

Новейшие тенденции намечают более компактный тип К. м. с барабаном ⌀ не более 1 *м* и с количеством шляпок до 40 (из к-рых в работе находятся 11—12), с увеличением диаметра таза для ленты до 300 *мм*.

В К. м. смешанного типа хлопок сперва подвергается предварительному прочесу несколькими парами валиков и потом, в значительно разрыхленном виде, попадает под действие шляпок; в связи с этим количество шляпок уменьшается до 74. Кроме того, в этом типе К. м. шляпки движутся в сторону, противоположную движению барабана. В остальном К. м. смешанного типа мало отличается от обыкновенной К. м. с движущимися шляпками.

Валичная К. м. для прочеса шерсти применяется как в суконном (аппаратном), так и в камвольном прядении. В суконном прядении процесс кардочесания играет главную роль, т. к. им заканчивается подготовка волокна к прядению; в камвольном же прядении кардочесание является одной из подготовительных операций для последующих вытягивания, параллелизации и гребнечесания. Отсюда вытекает основное отличие К. м., применяемых для того и другого способа прядения. В аппаратном прядении, в зависимости от сорта шерсти, подлежащей переработке, устанавливается комплект машин или «аппарат», состоящий либо из 2 (двухпрочесный) либо из 3 (трехпрочесный) машин. Первая К. м. в комплекте называется подческом, или загонкой; последняя—ровничной, секретом, или континю; промежуточная К. м. называется средней, перегонной, или ваточной.

Схема расположения рабочих органов подческа дана на фиг. 2. Протрепанная и расщипанная шерсть настилается на питательную решетку К. м. Эта работа производится ручным или механич. способом, в последнем случае — путем применения специального аппарата-самовеса A_1, автоматически через установленные промежутки времени подающего определенные весовые порции смески. Шерсть подводится питающей решеткой к



Фиг. 2.

заборным валикам *а*, которые передают ее на следующий валик, а последний передает шерсть на авантрен *А* — барабан, выполняющий предварительное разрыхление волокна. Размер авантрена, количество рабочих валиков и курьерчиков (вспомогательных валиков) и их расположение различны, в зависимости от сорта перерабатываемой шерсти. От авантрена перегонный валик *П* передает шерсть на барабан *Б*, имеющий несколько пар рабочих валиков *В* и курьерчиков, к-рыми и производится процесс чесания. Опустившаяся в глубь карды барабана шерсть поднимается бегуном *б* и подбегунником на поверхность барабана и снимается с него пеньерами $П_1$ и $П_2$. С последних прочесанная ватка снимается качающимися гребнями $Г_1$ и $Г_2$ и передается на соответствующую каждому пеньеру решетку. Сходящие по решеткам ватки складываются и поступают на следующую К. м., проходя сначала через плющильные валики. Передача на следующую машину производится ручным способом, в виде холстов, к-рые образуются на специальном холстовом аппарате, устраиваемом возле выхода продукта с машины, или специальным транспортером, который укладывает шерсть широкой полосой на приемный столик следующей машины.

На перегонной и ровничной машинах повторяется то же, что и на подческе. Устройство всех этих К. м. почти одинаково. Только последняя, ровничная К. м. отличается наличием ремешкового делителя (прибора для образования ровницы), установленного вза-

мен холстового барабана или ленточного транспортера. На ровничной машине ватка с пеньеров поступает в делительные цилиндры, где она целой системой кожаных ремешков разделяется на узкие полоски, к-рые поступают в сучильные рукава для сучения в форму ровничной нити. Последняя наматывается на бобины и передается на прядильные машины.

В камвольном прядении ограничиваются одной кардочесальной машиной с добавочным количеством рабочих органов, обеспечивающим достаточный прочес.

К. м. в льняном и пеньковом прядении также нужно отнести к типу валичных. Они применяются для обработки короткого спутанного волокна льна — очеса и спуска (см. *Льнопрядение*). Питание машины производится посредством бесконечного полотна, на которое очес раскладывается ровным слоем. Пара питательных валиков забирает очес и передает его на главный барабан. Вокруг последнего расположено несколько пар рабочих вальянов и чистителей. Волокно передается главным барабаном первому рабочему вальяну, чиститель снимает очес с вальяна и передает его опять на главный барабан, к-рый совершает такую же операцию со следующей парой валиков; от совместного их действия и получается процесс кардочесания. С каждой последующей пары снимается волокно, прочесанное лучше, чем на предыдущей паре. Волокно, прошедшее через все имеющиеся пары валиков, поступает на съемные вальяны, с к-рых качающейся гребенкой снимается ватка, направляемая на плющильные валики. Ватка разделяется на три части и через нажимные валики передается вытяжной головке машины, называемой роликом. Здесь полученные три ленты складываются, выравниваются и направляются в виде одной ленты в таз, к-рый, по мере наработки определенной длины, устанавливаемой сигнальным звонком, передается на следующую машину.

В пенькопрядении различают три К. м.: подготовительную, грубую и тонкую. К. м. для лубяных волокон отличается от предыдущих более массивной конструкцией, соответствующей характеру волокна, и более грубой кардой; последняя в указанном случае делается на деревянных и даже металлич. основаниях. В шелкопрядении К. м. применяется для обработки очеса, отбросво прядения и коротких цугов (сортов по длине) шелка—до 60 *мм*. Машины сходны частью с машинами хлопчатобумажного, частью камвольного производства. На К. м. шелковый очес поступает с трепальной машины в виде холста и проходит через приемные валики, приемный вальян с пильчатой гарнитурой, вспомогательный барабан и главный (⌀ 1 200 *мм*, скорость 100÷110 об/м.) с рабочими валиками. Отсюда он снимается качающейся гребенкой, проходит через воронки и плющильные валики, собирается в виде ленты во вращающийся таз и передается на ленточные машины. В вигоневом прядении смеска подвергается обработке на двух К. м. Как и в аппаратном прядении шерстяного производства, первая называется загонкой, а вторая—ровничной; по своей конструкции, работе и способам передачи готового продукта обе эти машины отличаются от указанных выше отсутствием авантренов и пеньеров. В ватном производстве с К. м. выпускается готовый продукт в виде п е л ь ц а—слоев ватки, навитых на холстовый барабан. Подробно см. *Ватное производство* и *Вигоневое прядение*.

Лит.: Т а г г а р т В. С., Прядение хлопка, т. 1, пер. с англ., М., 1923; е г о ж е, Управление бумагопряд. фабриками, пер. с англ., М., 1927; Ф е д о р о в С. А., Механич. технология волокнистых веществ. Бумагопрядение, М., 1909; Б е й н Ч. Я., Чесальные машины, М., 1904; К о р о б а н о в А. и Н а с е к и н Н., Справоч. книга по бумагопрядению, Ив.-Вознесенск, 1926; Б а к у н и н Н. К., Спутник текстильщика, Москва, 1926; К а н а р с к и й Н. Я., Шерсть и ее обработка, т. 1, ч. 2, М., 1924; е г о ж е, Краткий курс суконного производства, М., 1926; С т а в р о в с к и й С., Франц. и англ. камвольное прядение, М., 1929; Ч и л и к и н Н. М., Лен и льнопряд. производство. Основы технологии льна, культура льна, первичная обработка и льнопрядение, М.—Л., 1926; К р а ш е н и н н и к о в Ф. Е., Прядение пеньки и производство крученых изделий, М., 1929; Г а л к и н Н. Я., Шелкопрядение, Москва, 1927; Б у х о н о в И., Угарное и вигоневое прядение. Производство одежды и гигроскопической ваты, М., 1923; К о р о б а н о в А., Угарное прядение, Иваново-Вознесенск, 1927.

А. Великовский.

КАРДОЧЕСАНИЕ, см. *Прядение*.

КАРЕТКА ДОББИ, см. *Добби каретка* и *Ткацкий станок*.

КАРМИН, пунцовая краска животного происхождения (см. *Красящие вещества* е с т е с т в е н н ы е), приготовляемая из насекомого—к о ш е н и л и (Coccus Cacti L.), семейства червецов (Coccidae), обитающей на листьях различных пород кактуса—Opuntia coccinelifera, Nopalea coccinelifera. Лучшей кошенилью считается гондурасская и алжирская, русская дает краску значительно им уступающую по красоте тона. Для выработки К. идут только самки, которых снимают при помощи щеток на железные листы (лучше жестяные) и умерщвляют посредством высокой $t°$. Тельце кошенили после умерщвления принимает вид большого просяного зерна с морщинистой поверхностью, покрытой серебристо-серой пылью. Серебристые сорта кошенили считаются самыми ценными. В продаже встречается еще т. н. черная кошениль, имеющая коричневато-черную окраску. Получается она в том случае, если кошениль для умерщвления погружают в горячую воду; серая пыль при этом сходит, и зерна кошенили приобретают темный цвет. Этот сорт кошенили более дешев. В 1 *г* хорошей кошенили содержится 120—140 зернышек. Продажную кошениль фальсифицируют примесью зернышек из глины и клея, подкрашенных розовым пигментом; иногда к хорошей кошенили примешивают зерна кошенили, уже подвергшиеся экстрагированию и сверху обсыпанные собранной с кошенили пылью. Красящего вещества, к а р м и н о в о й к и с л о т ы, $C_{22}H_{22}O_{13}$, в хорошей кошенили содержится до 50% от собранного веса.

Способов выработки К. много; одним из самых простых считается постепенное выделение красящего вещества кипячением мелко истертой кошенили с водой. При этом способе значительный % К. остается неиспользованным, т. к. при кипячении образуется клейкая тестообразная масса, затрудняющая выделение красящего вещества.

Лучший кармин получается по способу Варан де ла Рю (Warren de la Rue). Порошок кошенили варят в течение 20 мин. в воде (на 1 ч. кошенили 40 ч. воды), после чего оставляют жидкость в покое; нерастворившийся осадок отделяют; к раствору кошенили приливают смесь из 6 ч. свинцового сахара и 2 ч. уксусной к-ты; образовавшийся осадок карминовосвинцовой соли отделяют, промывают и распускают в горячей воде; через раствор пропускают сероводород для осаждения сернистого свинца, при чем для чистоты тона проделывают это несколько раз. Раствор выпаривают, осадок растворяют в винном спирте и оставшуюся часть подвергают нагреванию с раствором фосфорной к-ты. После этого жидкость выпаривают и получают красивого тона краску. В СССР приготовляют кармин по способу Лидова: 500 *г* мелко истертой кошенили кипятят в течение 30 минут в 15 *л* дистиллированной воды; к раствору прибавляют 30 *г* кремортартара и кипятят еще в течение 10 мин., после чего прибавляют 15 *г* квасцов и кипятят в продолжение 2 мин.; жидкость процеживают и, дав краске осесть, отделяют ее от жидкости, промывают холодной водой и сушат. За границей существует еще способ Женет (Genette): жидкость с растворенной кошенилью и глиноземом оставляют на воздухе в течение трех недель; раствор подвергается брожению; при этом вещества, удерживающие красящее вещество, разрушаются, и последнее переходит в раствор. По методу Хесса кошениль перед растворением в воде предварительно обрабатывают эфиром, отчего К. выпадает чище.

Из растворов кошенили вырабатывают также **карминовые лаки**, которые получаются осаждением отваров кошенили солями тяжелых металлов. С алюминиевыми квасцами получается пунцовый лак, с солями свинца—малиновый, с солями цинка и меди—фиолетово-красный лак. Квасцовый лак, осажденный, просушенный на фильтре, растертый с примесью растительного клея и отпрессованный в виде плиток, представляет собою ценную акварельную краску. Кошенильные лаки, смешанные с маковым маслом или олифой, идут как масляные краски, а в смеси с глицерином применяются для подкрашивания кондитерских изделий. Спиртовый раствор квасцового лака употребляется в парфюмерии и для подкраски ликеров и наливок.

По отношению к свету К. непрочен и быстро выцветает. К., как краска, должен удовлетворять следующим требованиям: 1) он должен без остатка растворяться в нашатырном спирте; 2) не должен содержать примеси крахмала, что узнается кипячением краски в дистиллированной воде; фильтрат с каплей иода не должен давать синего окрашивания; 3) при прокаливании проба краски должна сгорать, оставляя не более 7% золы, состоящей из глинозема, извести и двуокиси олова.

Совместно с К. на красильных ф-ках вырабатывают т. н. **кошенильные баканы**, состоящие из окиси алюминия, тяжелого шпата и т. д., окрашенных остатками кошенили после извлечения из них К. Баканы отличаются от К. тем, что при сгорании дают больше золы.

В торговле под названием К. встречаются также нек-рые минеральные краски, по составу и происхождению ничего общего не имеющие с настоящим К., например К. синий и К. коричневый. К. **синий** приготовляется из щелочного раствора молибденовой соли осаждением хлористым оловом или хлористым цинком. Тон краски получается особенно глубоким, если соединения молибдена заменить вольфрамовыми солями; К. синий идет как масляная и акварельная краска в живописи. К. **коричневый** вырабатывается из щелочного раствора кёльнской умбры и концентрированного раствора свинцового сахара. Осадок промывают, сушат и, для придания краске красноватого оттенка, прокаливают. Кармин коричневый применяется в живописи и в малярном деле как клеевая краска.

С. Михайлов.

Лит.: см. *Краски минеральные.*

КАРТЕР, см. *Авиационные двигатели*, ст. 67, *Автомобиль*, ст. 193—194, *Автомобильный двигатель*, ст. 223.

КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ, условные построения для изображения сферич. поверхности земли на плоскости. Т. к. сферич. поверхность земли не принадлежит к числу поверхностей, развертывающихся на плоскости, как, напр., поверхности конические или цилиндрические, то такие изображения возможны только при допущении известных искажений истинных очертаний или площадей. Чтобы ослабить, насколько возможно, эти погрешности и подчинить их каким-либо законам, прибегают к построениям т. н. картографич. проекций, т. е. сначала вычисляют, а затем наносят на бумагу особую сетку меридианов и параллелей, к-рую и заполняют картографич. материалом. При этом масштаб, говоря вообще, в различных местах изображения оказывается неизбежно разным, но эти перемены масштаба происходят постепенно, по известным законам, и в более совершенных проекциях они незначительны. При составлении карт можно избегнуть того или иного искажения, для чего следует лишь выбрать соответствующую проекцию, т. к. в каждой проекции преследуется одно какое-нибудь условие в ущерб остальным. Масштаб на проекции различен не только в разных точках, но он меняется и по разным направлениям из одной и той же точки и, в зависимости от свойств проекции, меняется различно. Обыкновенно вдоль одной или нескольких линий (преимущественно меридианов или параллелей) сохраняется наперед заданный масштаб, к-рый называется **главным**; по всем же прочим направлениям масштабы будут крупнее или мельче главного; их называют **частными**; т. о., масштаб карты—величина переменная, и эти переменные масштабы обладают свойством: сумма квадратов масштабов по двум взаимно перпендикулярн. направлениям—величина постоянная. При всякой проекции в каждой точке сферы существуют два взаимно перпендикулярных направления, по к-рым частный масштаб будет иметь наибольшее и наименьшее значения (**главные направления**); на карте они изобра-

зятся также взаимно перпендикулярными линиями. Главные направления вообще не совпадают с направлениями меридианов и параллелей, за исключением тех проекций, на к-рых меридианы и параллели пересекаются под прямыми углами.

Все существующие проекции по свойству изображения и по способу построения подразделяются на различные виды. По свойству изображений проекции бывают: 1) конформные, или равноугольные (автогонические), 2) эквивалентные, или равновеликие, и 3) произвольные. На конформных проекциях сохраняется подобие очертаний контуров, но в разных местах проекций масштаб будет различный. Равные между собою кружки, взятые в разных точках земной поверхности, на проекции изобразятся также кружками, но радиусы их в разных местах проекции будут различные. В эквивалентных проекциях частные масштабы по разным направлениям различны, но средняя величина масштаба во всех местах проекции постоянна, т. е. эти проекции сохраняют равенство площадей. Каждый кружок, находящийся на поверхности земли, изобразится на проекции равновеликим ему эллипсом (подобие фигур здесь не сохраняется). Произвольные проекции не сохраняют ни подобия контуров ни равенства площадей, но удобны для решения практических вопросов (простота построения). По способу построения проекции делятся на: 1) перспективные, 2) зенитальные, 3) цилиндрические, 4) конические, 5) поликонические, 6) многогранные, 7) условные. Те из перечисленных проекций, при которых контуры непосредственно проектируются на картинную плоскость, называются азимутальными, так как в них каждая точка карты имеет тот же азимут относительно среднего меридиана, что и на земном сфероиде.

1. Перспективные проекции. В этих проекциях контуры земной поверхности изображаются так, как они представлялись бы в перспективе на картинной плоскости. Картинная плоскость располагается перпендикулярно к оптич. оси проекции, т. е. к линии, соединяющей точку зрения с центром земли. В перспективных проекциях изображаются очень большие части земной поверхности (целое полушарие), поэтому масштаб для них берут мелкий и землю принимают за правильный шар с радиусом $R=a\left(1-\frac{e^2}{6}\right)$, где a—большая полуось, e—эксцентриситет земли. Перспективные проекции делятся на: 1) ортографические, когда точка зрения удалена от поверхности земли на бесконечное расстояние, 2) стереографические—точка зрения лежит на поверхности земли, 3) центральные—точка зрения в центре земли, 4) внешние—точка зрения вне земли, но на конечном расстоянии. Смотря по тому, пересекает ли оптич. ось проекции земную поверхность в полюсе, на экваторе или под промежуточной широтой, эти проекции бывают: полярные, экваториальные и горизонтные.

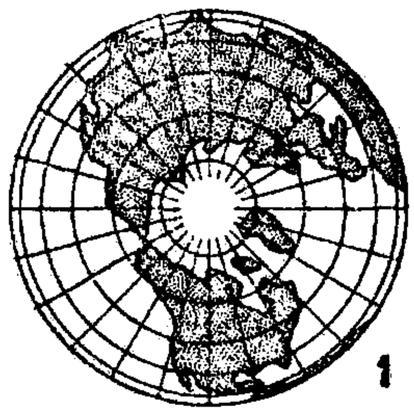
Ортографические проекции не сохраняют ни подобия фигур ни равенства площадей; частные масштабы меняются от 1 (в центре карты) до 0 (у краев). В полярной ортографическ. проекции (фиг. 1) картинная плоскость совпадает с плоскостью экватора, меридианы на ней изображаются прямыми линиями, пересекающимися в центре карты под углами, равными разностям их долгот, а параллели—концентрич. кругами. В экваториальной проекции (фиг. 2) картинная плоскость совпадает с плоскостью какого-нибудь меридиана; меридианы представляются эллипсами, имеющими общую ось, равную диаметру земли, а малые оси их равны $2R\sin\lambda$, где λ—долгота данного меридиана; параллели же изображаются параллельными прямыми, отстоящими от центра проекции на величины $R\sin\varphi$, где φ—широта данной параллели. В горизонтной проекции (фиг. 3) картинная плоскость проходит через центр земли параллельно горизонту любой данной точки; меридианы и параллели изображаются эллипсами, кроме меридиана центральной точки, к-рый будет прямою линиею. Ортографич. проекции пригодны для изображения небольших частей земной поверхности; для целого же полушария они применяются в картах луны.

Стереографические проекции сохраняют подобие очертаний контуров. Частные масштабы в них меняются от $^1/_2$ (в центре) карты до 1 (у краев). В полярной проекции (фиг. 4) картинная плоскость лежит в плоскости экватора; меридианы в ней изображаются прямыми, пересекающимися в центре под углами, равными разностям их долгот, а параллели—концентрич. кругами. В экваториальной проекции (фиг. 5) картинная плоскость совпадает с плоскостью какого-либо меридиана; меридианы и параллели получаются в виде дуг неконцентрич. кругов, за исключением среднего меридиана и экватора, к-рые представлены двумя взаимно перпендикулярными диаметрами. В горизонтной проекции (фиг. 6) картинная плоскость проходит через центр земли, параллельно горизонту данной точки; меридианы и параллели выражаются кругами. Стереографич. проекции применяются для изображения целых полушарий: восточного и западного или северного и южного; отдельные страны изображаются в них весьма редко. Они также применяются для графич. решения многих астрономич. задач.

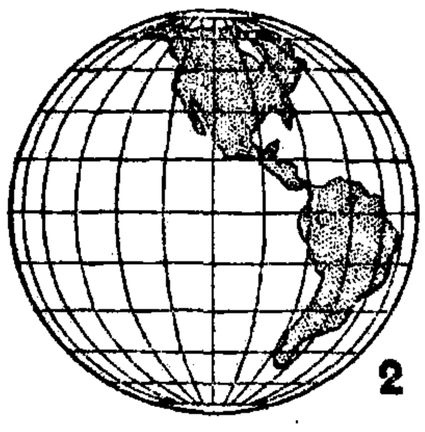
Центральные проекции. Точка зрения помещается в центре земного шара, а картинная плоскость проводится касательною к поверхности земли. Они не сохраняют ни подобия очертаний ни равенства площадей. Частные масштабы меняются от 1 (в центре проекции) до бесконечности (на краях), поэтому целого полушария изобразить в них нельзя. В полярной проекции (фиг. 7) картинная плоскость касательна к одному из полюсов; меридианы получаются в виде прямых, расходящихся из центра под углами, равными разностям их долгот; параллели же—в виде концентрич. кругов. В экваториальной проекции (фиг. 8) картинная плоскость касается какой-нибудь точки на экваторе; средний меридиан и экватор изобразятся двумя взаимно перпендикулярными прямыми линиями; все прочие меридиа-

КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ

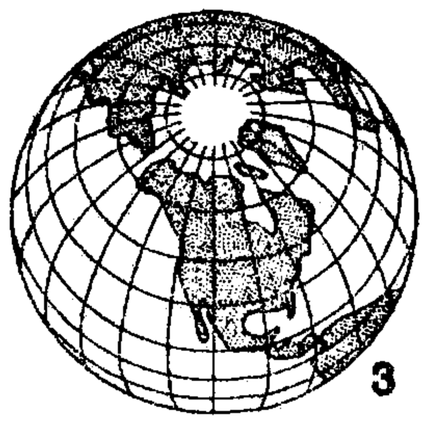
1



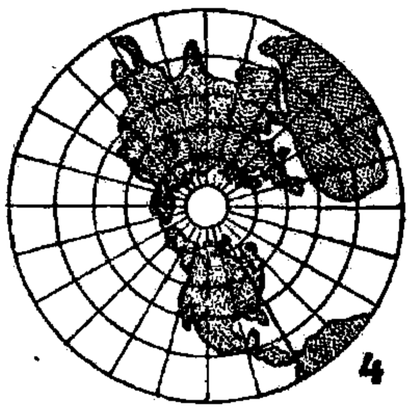
2



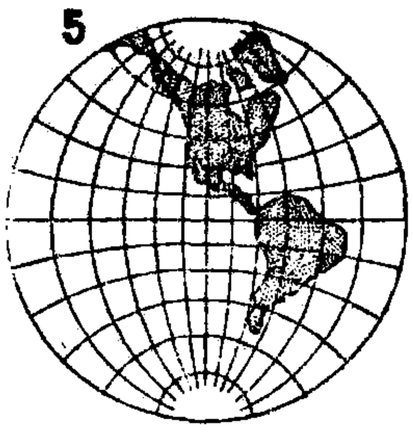
3



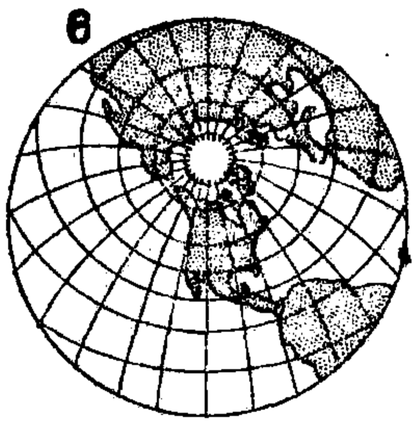
4



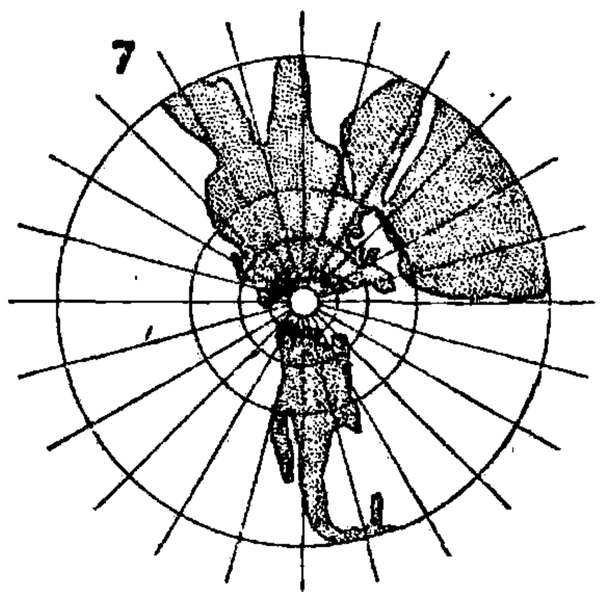
5



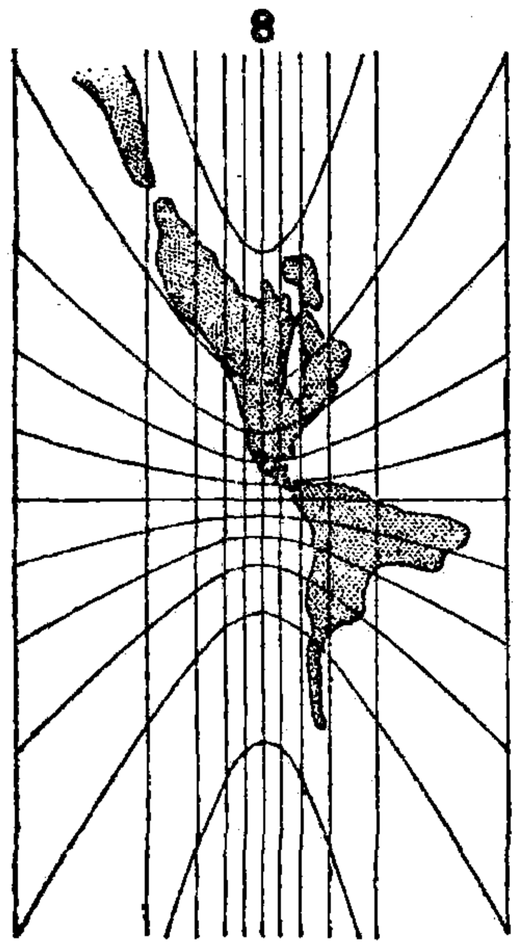
6



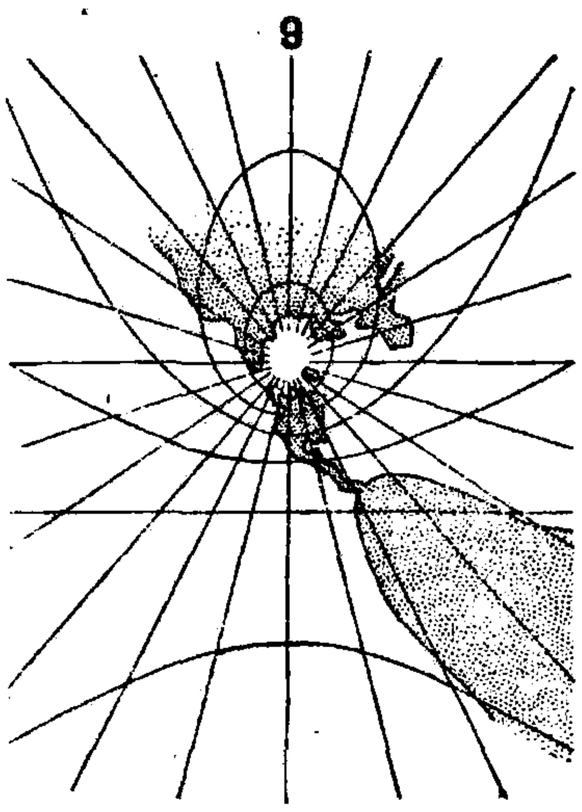
7



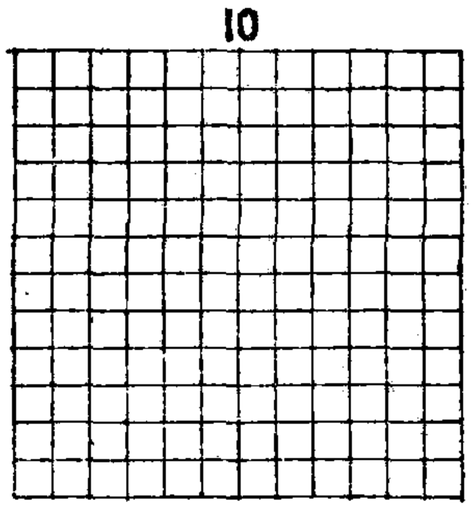
8



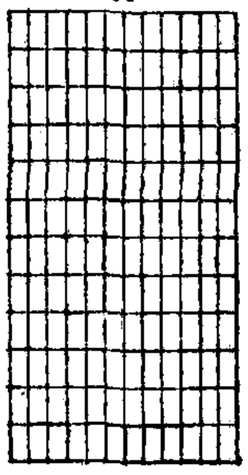
9



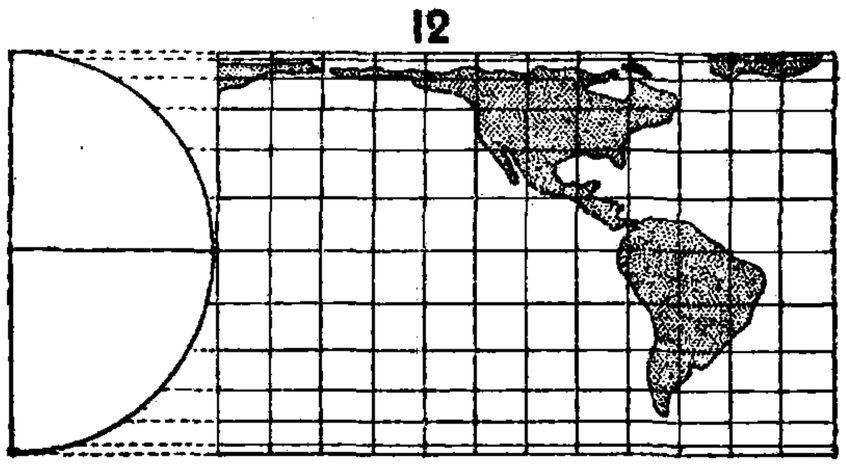
10



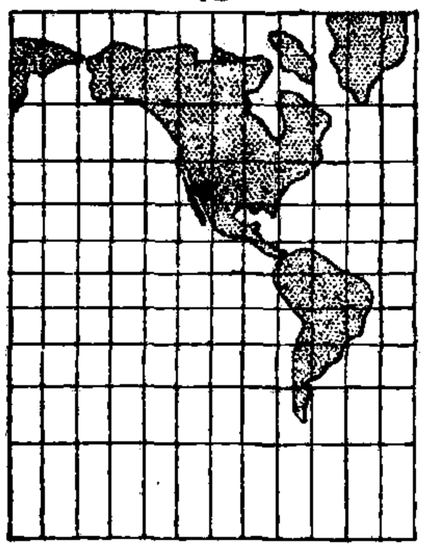
11



12

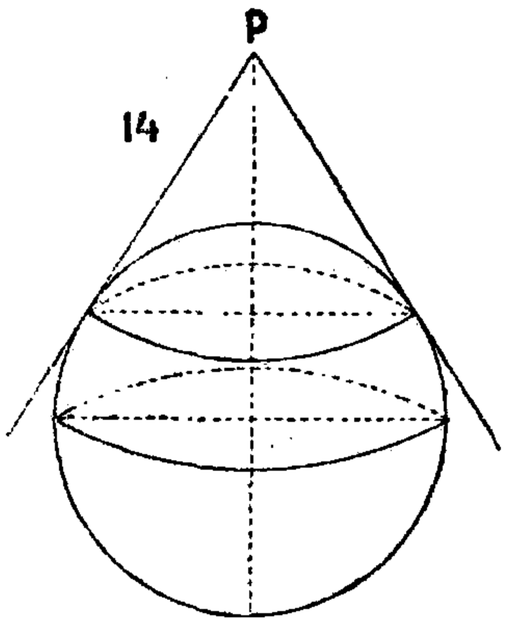


13



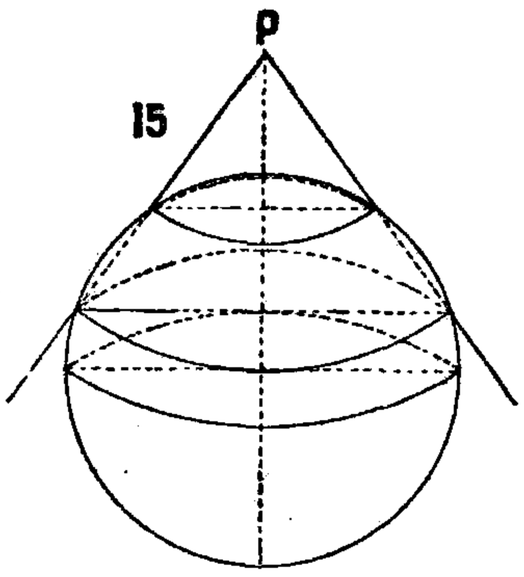
P

14



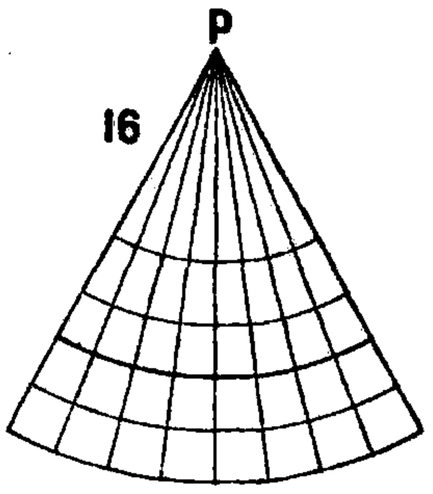
P

15

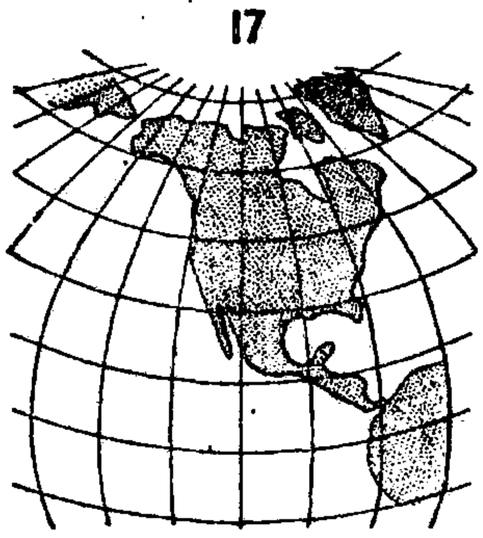


P

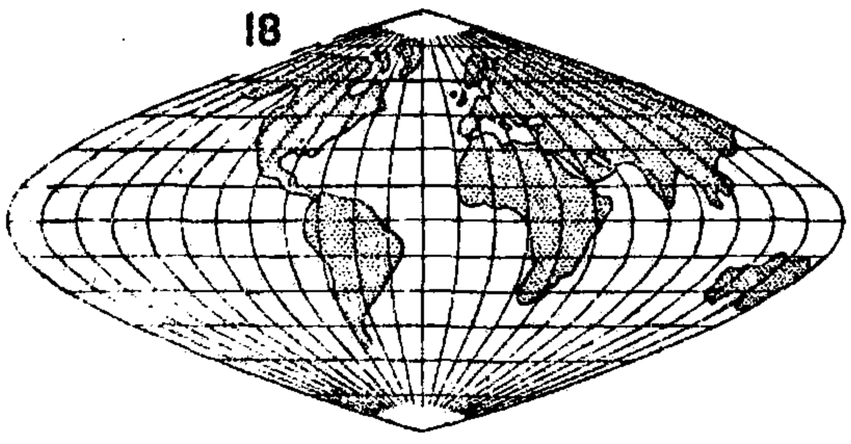
16



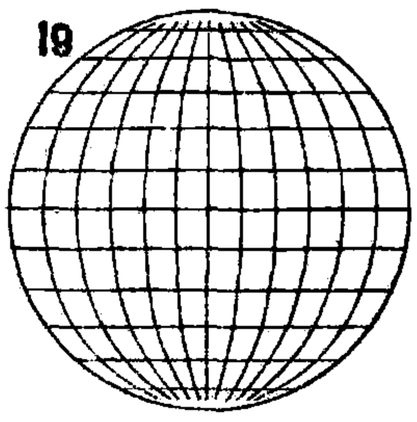
17



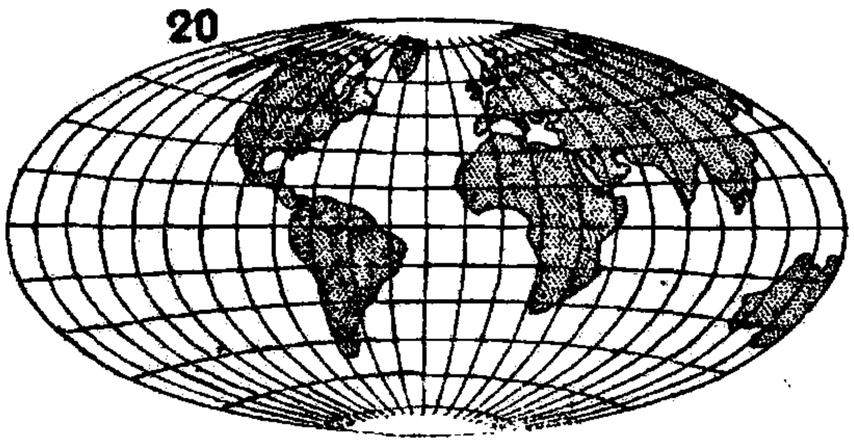
18



19



20



ны—также прямыми, параллельными среднему и отстоящими от него на непрерывно возрастающих расстояниях; параллели будут иметь вид гипербол. В горизонтной проекции (фиг. 9) картин. плоскость касается данной точки под промежуточной широтой; меридианы получаются в виде прямых, расходящихся из полюса, но под разными углами; параллели с широтою >, чем $90°-\varphi_0$ (где φ_0—широта точки касания), изображаются эллипсами; параллели с широтою $90°-\varphi_0$—параболою, все же прочие — гиперболами, а экватор—прямою линиею. Центральные проекции применяются с успехом для изображения части небесной сферы, т. е. для звездных карт. Для изображения же всего неба его проектируют на 6 граней куба, описанного около шара и касающегося его в полюсах и четырех точках экватора.

Внешние проекции. Точка зрения в этих проекциях находится вне земного шара, но на определенном расстоянии. На внешних проекциях можно изобразить пространство большее, чем полушарие. Меридианы и параллели на них вообще представляются кривыми второго порядка, в частности же на полярной проекции меридианы будут прямыми, расходящимися из полюса под равными углами, а параллели—в виде концентрическ. кругов. В проекции Лагира точка зрения удалена от поверхности земли на расстояние $l=R\sin 45°=0{,}7071R$, где l—искомое расстояние, а R—радиус земли. В проекции Парана $l=0{,}5944R$, у Джемса $l=0{,}50000R$, у Кларка $l=0{,}3676R$. Внешние проекции не сохраняют ни подобия очертаний ни равенства площадей, но они дают меньшие искажения, чем остальные перспективные. Эти проекции применяются всего чаще в виде полярных.

2. Зенитальные проекции. В этих проекциях сферич. поверхность земли переносится на картинную плоскость, касательную к земле в данной точке, с таким расчетом, чтобы все точки, лежащие на шаре в равных расстояниях от точки касания, расположились на проекции по кругу с центром в точке касания. Наиболее употребительные из них—полярные, где меридианы изображаются прямыми, расходящимися из центра под равными углами, а параллели—концентрич. кругами. В полярной проекции Постеля радиус любой параллели $\varrho=R\left(\frac{\pi}{2}-\varphi\right)$, где R—радиус земли, а φ—широта данной параллели. В полярной проекции Ламберта радиус параллели с широтою φ будет

$$\varrho=2R\sin\left(45°-\frac{\varphi}{2}\right).$$

3. Цилиндрические проекции. Для построения цилиндрич. проекций воображают цилиндр, касательный к земному сфероиду или секущий его. На поверхность этого цилиндра переносят по известным правилам меридианы и параллели, затем цилиндр разрезают по одной из образующих и развертывают на плоскость. Если ось цилиндра совпадает с осью вращения земли, то проекция называется прямою, если же ось цилиндра составляет с осью земли прямой угол, то проекция называется поперечною; наконец, если ось цилиндра наклонена к оси вращения земли под произвольным углом, но не в 90°, то проекция называется косою. Наиболее употребительны прямые цилиндрические проекции.

В квадратной, или плоской, цилиндрической проекции (фиг. 10) цилиндр берется касательным к экватору. Все параллели и меридианы изображаются прямыми параллельными линиями, взаимно перпендикулярными, проведенными друг от друга на равных расстояниях, так что получаются квадраты. Стороны этих квадратов равны выпрямленным дугам экватора заданного числа градусов в заданном масштабе. Дуга 1° экватора, по Бесселю, равна 111 308,42 *м*. Масштаб m по всем меридианам и по экватору равен главному, т. е. $m=1$. Частные масштабы n по разным параллелям различны, т. е. $n=\sec\varphi$ (где n—масштаб по параллели, а φ—широта ее).

Прямоугольная цилиндрическая проекция (фиг. 11) строится на цилиндре, секущем землю по двум параллелям, равно отстоящим от экватора. Меридианы и параллели взаимно пересекаются под прямыми углами. При развертывании цилиндра получаются прямоугольники, бо́льшие стороны к-рых равны выпрямленным дугам меридиана в заданное число градусов, а малые стороны равны выпрямленным дугам параллелей сечения также в заданное число градусов. Называя частные масштабы по меридианам через m, а по параллелям—через n, будем иметь: $m=1, n=\frac{\cos\varphi_0}{\cos\varphi}$, где φ_0—широта параллели сечения, а φ—широта данной параллели.

Изоцилиндрическая проекция (фиг. 12) строится на касательном к экватору цилиндре. Меридианы параллельны между собою и отстоят друг от друга на величины выпрямленных дуг экватора в заданное число градусов. Параллели перпендикулярны к меридианам, параллельны между собою, находятся друг от друга на разных расстояниях и отстоят от экватора на величины D, получаемые из формулы $D=R\sin\varphi$, где R—радиус земли, а φ—широта данной параллели. Называя масштаб по меридианам через m, по параллелям—через n и масштаб площадей—через M, будем иметь: $m=\cos\varphi$, $n=\sec\varphi$, $M=\cos\varphi\cdot\sec\varphi=1$, т. е. эта проекция равновеликая.

Проекция Меркатора (фиг. 13) сохраняет подобие очертаний фигур и строится на касательном к экватору цилиндре. Меридианы на ней изображаются в виде прямых, параллельных между собою и отстоящих друг от друга на величины выпрямленных дуг экватора в заданное число градусов; параллели же проводятся в виде прямых, перпендикулярных к меридианам и пересекающих их т. о., чтобы отношение дуг долгот каждой из параллелей на карте к прилегающим им дугам широт было одинаково с отношением соответствующих им величин на земле. Меридианные части, т. е. расстояния параллелей от экватора, удобно получать из таблиц возрастающих широт. Проекция Меркатора обладает весьма важным свойством для мореплавания: на ней локсодромия, т. е. кривая, прове-

денная на земном сфероиде так, что она пересекает все меридианы под одним и тем же углом, изображается прямою линиею.

Квадратная цилиндрич. проекция применяется только для изображения экваториальных стран; прямоугольная—для изображения небольшой по широте страны, при чем за параллель сечения берется средняя параллель страны; изоцилиндрическая—для статистических карт; проекция Меркатора—для изображения всего земного шара, кроме полярных стран, на одном листе бумаги и для морских карт.

4. Конические проекции. Они применяются для изображения отдельных вытянутых по долготе стран и основаны на развертывании конуса, для чего воображают конус, касательный к параллели, проходящей через середину страны (фиг. 14), или конус, секущий сферу по двум данным параллелям (фиг. 15). Ось конуса в большинстве случаев совпадает с осью земли. Меридианы в конич. проекциях изображают в виде системы прямых, расходящихся из общей точки P (полюса проекции) под равными углами δ, которые называются углами сближения меридианов и, если землю принимают за правильный шар, вычисляются по формуле $\delta = \lambda \sin \varphi_0$, где λ—разность долгот, а φ_0—широта средней параллели, если же принимают в расчет сфероидальный вид земли, то $\delta = \lambda \cdot \alpha$, где α—коэффициент, определяемый условиями проекции в каждом отдельном случае. Параллели изображаются дугами концентрич. кругов с общим центром в полюсе P проекции. Эти проекции м. б. равнопромежуточными, когда расстояния между параллелями одинаковы, равноугольными и равновеликими. Частные масштабы в них изменяются различно, в зависимости от свойств проекции.

Простая коническая проекция (фиг. 16) строится на касательном конусе. Из полюса проекции P проводят меридианы в виде прямых, расходящихся под углами сближения меридианов; затем у того же полюса проводят параллель касания радиусом $\varrho_0 = R \operatorname{ctg} \varphi_0$, где φ_0—широта параллели касания, а R—радиус земли. Для получения остальных параллелей проводят из полюса дуги радиусами $\varrho = R[\operatorname{ctg} \varphi_0 - (\varphi - \varphi_0)]$, где φ—широта данной параллели, φ_0—широта параллели касания и разность $\varphi - \varphi_0$ д. б. выражена в частях радиуса. Масштаб сохраняется по всем меридианам и параллели касания.

Проекция на секущем конусе. Здесь вместо касательного конуса берется конус, пересекающий земной шар по двум данным параллелям, по к-рым и сохраняется главный масштаб. Называя радиус южной параллели сечения с широтою φ_1 через ϱ_1 и радиус северной параллели сечения с широтою φ_2 через ϱ_2, будем иметь:

$$\varrho_1 = \frac{R \cos \varphi_1}{\sin \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}} \quad \text{и} \quad \varrho_2 = \varrho_1 - 2R \sin \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}.$$

Промежуточные параллели проводятся на равных расстояниях между параллелями сечения. Угол сближения меридианов $\delta = \lambda \sin \varphi_0$, где $\varphi_0 = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}$. Из конических. проекций заслуживают внимания следующие: Делиля, Эйлера, Альберса, Мердока, Гаусса.

Проекция Гаусса является наиболее совершенной из всех конических и относится к конформным. Эта проекция имеет 5 частных случаев в зависимости от того, где желают сохранить главный масштаб, и в связи с этим м. б. построена либо на касательном либо на секущем конусе. Сетка в ней похожа на сетку всякой другой конич. проекции, только расстояния между параллелями, начиная от наименьшего у средней параллели, непрерывно увеличиваются к северу и югу. При составлении карт в крупном масштабе прибегают к построению проекции по точкам, для чего вычисляют прямоугольные координаты всех точек пересечений меридианов с параллелями, при чем эти координаты вычисляют последовательно для каждой широты и за начала координат принимают точки пересечений среднего меридиана с соответствующими параллелями. Осями X-ов будут служить перпендикуляры, восставленные к среднему меридиану в точках пересечений его с параллелями, а общею осью Y-ов—средний меридиан карты. В этом случае $x = \varrho \sin n\delta$, $y = 2\varrho \sin^2 \frac{n\delta}{2}$, где ϱ—радиус параллели на проекции и $n\delta$—угол между средним и данным меридианами.

Проекция Бонна, хотя и относится к коническим, но представляет условное построение, т. к. меридианы в ней не прямые линии, а кривые—выпуклые наружу. Для построения параллелей чертят систему дуг концентрич. кругов, как и в простой конической (фиг. 17); затем на каждой из этих дуг, начиная от среднего меридиана, изображающегося прямой линией, откладывают истинные длины дуг параллелей в главном масштабе. Меридианы получаются проведением ломаных или непрерывных кривых линий через точки отложений на параллелях. Эта проекция равновелика, и главный масштаб сохраняется по всем параллелям и по среднему меридиану.

5. Поликонические проекции. Сущность их заключается в том, что около земного шара предполагается не один, а несколько конусов, касательных ко всем изображаемым параллелям. На прямой линии, изображающей средний меридиан, откладывают выпрямленные дуги меридиана между последовательными параллелями и через каждую полученную т. о. точку проводят дугу круга, радиус к-рого равен длине касательной, проведенной к меридиану у соответствующей параллели, от точки касания до встречи с продолженною осью земли. Т. о., параллели будут дугами эксцентрич. кругов, и расстояния между ними по мере удаления от среднего меридиана увеличиваются. Радиус ϱ любой параллели с широтою φ выражается формулой: $\varrho = R \operatorname{ctg} \varphi$, где R—радиус земли. Меридианы строятся так же, как и в проекции Бонна. Искажения в этих проекциях возрастают по мере удаления от среднего меридиана. Они не сохраняют ни подобия контуров ни равенства площадей и употребляются для стран, растянутых по широте. При известных условиях эти про-

екции можно сделать также равноугольными или равновеликими.

6. Многогранные проекции. Для построения этих проекций предполагают весь земной сфероид разбитым меридианами и параллелями на ряд сферическ. трапеций и, принимая каждую из них за плоскость, изображают на отдельном листе бумаги. Если такие трапеции складывать вместе по параллелям, то получатся просветы по меридианам; при соединении же их боками получаются просветы по параллелям. При сложении десяти листов вместе эти просветы еще незначительны. Многогранные проекции можно применять двумя способами: 1) проектировать каждую сферич. трапецию на секущую площадь, проходящую через вершины углов этой трапеции, или 2) переносить каждую сферич. трапецию на поверхность касательного конуса, а затем развернуть конус на плоскость. Первым способом строят рамки съемочных планшетов. Многогранные проекции, представляя собою отдельные листы, применяются при составлении карт крупных масштабов до 1:1 000 000 вкл. Они лучше всех др. проекций сохраняют подобие очертаний контуров и равенство площадей.

7. Условные (произвольные) проекции. К этому типу относятся все те проекции, построение которых делается иными, чем перечисленные, приемами.

Синусоидальную проекцию Сансона можно отнести к цилиндрическим. Для ее построения на прямой, изображающей средний меридиан страны, откладывают выпрямленные дуги меридианов между последовательными параллелями и через полученные точки проводят прямые, перпендикулярные к среднему меридиану; они представят параллели, на каждой из которых откладывают в обе стороны, от 0 до 180° в каждую, части, равные дугам соответствующих параллелей. Ломаные или непрерывные кривые, получаемые соединением соответствующих точек на параллелях, дадут изображения меридианов. Если в этой проекции построить всю земную поверхность, то получится фигура, на которой меридианы изобразятся изогнутыми кривыми—синусоидами (фиг. 18). Эта проекция относится к эквивалентным.

Гомолографическая проекция Мольвейде (фиг. 19) принадлежит к равновеликим и строится так: чертят окружность произвольного радиуса и проводят два взаимно перпендикулярных диаметра; горизонтальный диаметр, изображающий экватор, делят на несколько равных частей и затем строят эллипсы, проходящие через точки деления и концы вертикального диаметра (среднего меридиана),— эти эллипсы будут меридианами. Для получения параллелей проводят прямые, параллельные экватору, с таким расчетом, чтобы площадь каждого отдельного четыреугольника равнялась соответствующему четыреугольнику на земле. Если на линии, изображающей экватор, отложить вдвое более этих частей, а средний меридиан оставить без перемен и через полученные точки провести новые эллипсы, то в этой проекции изобразится на одном эллипсе весь земной шар.

Проекция Аитова служит для изображения всей земной поверхности на одном эллипсе (фиг. 20). Экватор и меридианы в этой проекции строятся подобно тому, как и в гомолографической. Для получения изображений параллелей делят все уже проведенные эллиптические меридианы на равные части и через полученные точки деления проводят непрерывные кривые, при чем экватор выразится прямою линиею.

Лит.: Витковский В. В., Картография, СПБ, 1907; его же, Топография, М., 1928; Шокальский Ю. М., О международной карте в масштабе 1:1 000 000, П., 1923; Пенк А., О составлении и издании карты всей земной поверхности в масштабе 1:1 000 000, пер. с нем., «Изв. Русского географич. общества», СПБ, 1892, т. 24, стр. 435; Тиссо А., Изображение одной поверхности на другой и составление географич. карт, пер. с франц., М., 1899; Моррисон, Как построить географ. карту и как ею пользоваться, М., 1907; Красовский Ф. Н., Новые картографические проекции, Москва, 1922; Deetz C. H. a. Adams O. S., Elements of Map Projection, Wsh., 1921. **В. Никифоров.**

КАРТОН, бумажные фабрикаты, более толстые и плотные, чем собственно бумага. Обычно К. называют бумаги толщиной свыше 0,5 *мм* (см. *Бумажное производство*); нередко также определяют К. как бумагу весом свыше 250 *г/м²*, что, напр., для обычных сортов древесного К. отвечает толщине в 0,3—0,35 *мм*. Некоторые авторы (Клемм) устанавливают границу между К. и бумагой еще ниже—при плотности (весе) последней 181—200 *г/м²*. Более толстые сорта К. (весом свыше 500 *г/м²*) называют также папкой. Грубым признаком, отличающим бумагу от К., может служить гибкость: вследствие большей толщины К. вообще менее гибок, чем бумага, и обычные сорта К. нельзя согнуть без образования трещины.

Главное применение К. находит как материал для изолирования различных предметов от влияния той или иной среды (для изготовления коробок, упаковки электрич. лампочек и пр.), для переплетов (книг, бумаг), для строительно-изоляционных целей, для выработки жаккардовых карт для узорного ткачества (картон-просечка), для аппретуры тканей. Кроме того, К. применяют как суррогат кожи в обувном деле, как изоляционный материал в электротехнике, как материал для уплотнения фланцевых труб. В значительно меньших количествах К. применяют для печатания, рисования, черчения, наклеивания фотографий, как прокладочный материал и для других надобностей.

Сорта К. Торговая классификация К., базируясь на разнородных признаках, не отличается определенностью. Так, нек-рые сорта К. обозначаются в зависимости от материала, из к-рого К. выработан (соломенный, тряпичный, древесный, асбестовый), другие—по своему назначению (карточный, переплетный, кровельный), третьи—по способу изготовления или способу отделки (клееный, волнистый, лакированный), иные же—по цвету (белый, серый, желтый). Имеются, кроме того, наименования, к-рые носят чисто случайный характер и не указывают ни назначения, ни материала, ни способа обработки картона (бристольский, шведский, финляндский и др.).

К. с производственной точки зрения можно подразделить на следующие основ-

ные группы в зависимости от применяемого для выработки К. материала: 1) К., получаемый из соломенной (желтой) массы,—соломенный К.; 2) К., получаемый из древесной массы белой и бурой (из пропаренного дерева),—белый древесный К. и желтый древесный К.; 3) К., изготовляемый из бумажного брака (макулатуры),—макулатурный К.; к этой же группе можно отнести и К., изготовляемый из волокна, улавливаемого из сточных вод (так называемого скопа) на бумажных ф-ках; 4) К., изготовляемый из низших сортов тряпья—хлопчатобумажного, холщевого и шерстяного—с добавлением низших сортов бумажного брака; к этой группе относятся кровельный К. (идущий на выработку толя и рубероида) и серый тряпичный К., т. н. «шведский», или обойный, служащий для обивки стен; 5) высшие сорта К., изготовляемые из тряпичной полумассы, целлюлозы и высших сортов бумажного брака; такими сортами являются: глянцевый картон (прессовой), карточный (для игральных карт), рисовальный (напр. т. н. бристольский К., вырабатываемый обычно из тряпичной полумассы и целлюлозы и изготовляемый или в один слой или из нескольких слоев), К. для печатания (карточек, обложек, реклам), для специальных технич. целей (напр. матричный—для ротационных печатных машин), непроницаемый для воды К. для дорожных укладок (применяемый как суррогат фибры); 6) К., изготовляемый из минеральных материалов (асбестовый К.); 7) К. специальной химич. обработки, напр. вулканизованный К., или, иначе, *вулканизованная фибра* (см.).

Испытание К. Испытание механич. свойств (сопротивления разрыву и изгибу) для низших сортов картона производят обычно от руки (на-глаз), разрывая полоски картона и надламывая углы; чем больше двойных перегибов выдерживает картон, тем выше он ценится. Определение разрывной длины и растяжимости более высоких сортов производят на разрывных аппаратах Шоппера (см. *Бумаги испытание*), но более массивной конструкции. Большинство сортов испытывают лишь в отношении плотности (веса), толщины, ее равномерности, однообразия и ровности поверхности (отсутствия отверстий, складок, полос, крупных неразмолотых частиц исходного материала и пр.). Определение состава по волокну, проклейке и зольности производится лишь для немногих сортов К., при чем эти испытания производятся методами, применяемыми и для бумаги. Специальные технич. сорта подвергаются дополнительным испытаниям в зависимости от их назначения. Так, например, электротехнический прессовой К. испытывается в отношении изоляционных свойств (см. *Волокнистые изоляционные материалы*), кровельный К. (толевый), подвергающийся пропитке смолами, испытывается на впитываемость.

Форматы. К. вырабатывается большею частью в листах и реже—в рулонах. Наиболее распространенные форматы в СССР: 720×1 080 *мм*, 710×1 070 *мм*, 800×1 000 *мм*, 720×950 *мм*, 860×1 080 *мм*, 800×1 050 *мм* и многие другие. По Общесоюзному стандарту (ОСТ 366), установлены следующие главнейшие производственные форматы:

1) К. древесный желтый	621×878 *мм*,	738×1 044 *мм*
2) » соломенный »	621×878 »	738×1 044 »
3) Папка (картон) белая и цветная	614×868 »	
4) К. серый	648×917 »	621× 878 » 738×1 044 »
5) К. глянцевый	434×614 »	

Кровельный (толевый) К. вырабатывается в рулонах с шириной кратной 1 000 *мм*, соответственно установленной ширине толя и рубероида.

Удельный вес К., в зависимости от сорта, по данным Кирхнера:

	Кажущийся уд. вес
Глянцевый К. (прессовой)	1,2 —1,25
Переплетный К.	1,10—1,15
Желтый древесный К.	0,8 —0,85
Белый » »	0,7 —0,75

Вес К. обозначается в торговле №, соответственно числу листов в определенном весовом количестве. Так, в СССР до перехода на метрич. меры № картона обозначал число листов в 1 пуде К. В герман. практике номер К. обозначается числом листов формата 70×100 *см* в 50 *кг*. В табл. 1 (по Е. Кирхнеру) приведены данные о весе серого и древесного К. и толщине листов соответственно герм. нумерации.

Табл. 1.—Вес и толщина серого и древесного картона по германской нумерации.

№ картона, или число листов в 50 *кг*	Вес в граммах		Приблизит. толщина листа в *мм*	
	листа форматом 1000×700 *мм*	в 1 *м*²	серого картона	древесн. картона
20	2 500	3 570	4,5	6,5
30	1 670	2 390	2,5	3,5
40	1 250	1 790	1,8	2,6
50	1 000	1 430	1,5	2,0
60	830	1 190	1.3	1,6
70	710	1 020	1.0	1,4
80	625	890	0,95	1,2
90	555	790	0 9	1,0
100	500	715	0,85	0,9
120	420	600	0,75	0,8
140	360	515	0,65	0,7
160	310	440	0,55	0,6
180	280	400	0,5	0,58
200	250	360	0,45	0,55
220	230	330	0,4	0,5

Мировое производство К., по Кравани; составляло в 1922 г.:

По европейск. государствам	1 039,2 тыс. *т*
» внеевроп. »	2 358,9 » »
Всего	3 398,1 тыс. *т*

В СССР потребление К. в 1913 г. равнялось 47 000 *т*, из к-рых 30 000 *т* приходилось на внутреннее производство и 17 000 *т* на импорт. Производство в 1927/28 г. (фактическое) и в 1928/29 г. (по программе) видно из табл. 2.

К концу пятилетия 1928—33 гг. производство К. намечено довести до 100 000 *т*. Следует отметить, что, по сравнению с производством бумаги, производство (и потребление) картона у нас составляет менее 10%, в то время как мировое производство

Табл. 2.—Производство картона в СССР в 1927/28 и в 1928/29 гг. (в *m* и %).

Сорт картона	1927/28 г.	%	1928/29 г.	%
Древесный белый	6400	15,3	11500	19,8
» желтый	17100	40,8	27100	46,5
Соломенный	10400	24,9	9600	16,5
Серый	2200	5,4	—	—
Пресшпан	5700	13,6	1650	2,8
Толевый			5700	9,8
Прочие			2660	4,6
Итого	41800	100	58210	100

К. в среднем составляет свыше 20% от выработки бумаги. **И. Ковалевский.**

Лит.: см. *Картонное производство.*

КАРТОНАЖНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, массовое изготовление различных предметов из картона, папки и плотной бумаги, гл. обр. коробок, футляров и т. п. видов упаковки. Сильному развитию К. п. за последние 20 — 25 лет способствовало чрезвычайно широкое применение автоматических машин, которые режут, прикраивают и фальцуют картонный материал, скрепляют коробки клеем или проволокой, снабжают их печатным текстом, рисунками, рельефным тиснением, отсчитывают и маркируют. Т. к. каждый товар требует специальных упаковочных коробок в смысле фасона, размера, материала и отделки, то на практике для каждого вида товара весьма часто строятся специальные автоматы. Иногда такие автоматы устанавливают непосредственно на предприятиях для своей продукции: так, например, на табачных ф-ках устанавливаются специальные автоматы, которые изготовляют мелкие коробки непосредственно из ролевой бумаги, при чем не только высекают, оформляют и склеивают коробку, но и снабжают ее печатью в несколько красок, тиснением и бронзированием, вкладывают в нее папиросы и задвигают клапан. Соединение ряда автоматов транспортерной лентой создает возможность непрерывнопоточного производства.

Основным материалом для выделки картонажей служат п а п к а и к а р т о н, реже — п л о т н а я б у м а г а (см. *Картон*). В дальнейшем изложении все виды этого материала будут называться картоном.

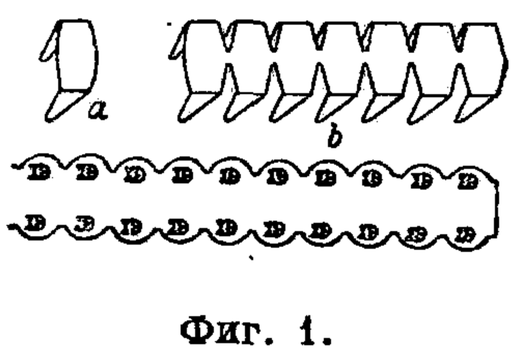
В зависимости от назначения картонажных изделий у нас применяются гл. обр. три сорта картона: серый, белый и желтый. Серый картон имеет в К. п. весьма ограниченное применение, так как вследствие ломкости он непригоден для сгибания. Б е л ы й картон также не отличается особой прочностью и применяется лишь в тонких сортах и преимущественно для упаковки пищевых продуктов, в виду отсутствия примесей, которые могут вредно влиять на заключенный в коробках товар. Наиболее широко применяется в картонажном производстве желтый картон, так как он отличается прочностью и вязкостью и легко поддается тиснению и сгибанию.

Для изготовления волнистого, или гофрированного, картона употребляется более дешевый, хотя и очень хрупкий картон из соломы. В последнее время появились т. н. твердые папки, состав и способ изготовления к-рых весьма различны и часто составляют секрет фирмы. Эти виды картона служат главн. обр. суррогатами кожи, дерева и т. п. материалов для различных технич. целей. Сюда относится также вулканизованная фибра, представляющая собою вид картонного пергамента и изготовляемая из чистой хлопчатобумажной целлюлозы путем обработки хлористым цинком.

Картон применяется в К. п. либо в том же виде, в каком получается с ф-ки, либо предварительно подвергается особой отделке, в зависимости от качества картона и его назначения. При изготовлении клееных коробок необходимо, чтобы картон имел способность склеиваться, т. е. не был чрезмерно гигроскопичен. Из всех видов картона серый лучше всего склеивается. Прочие виды картона часто приходится предварительно оклеивать тонкими листами бумаги. Этот процесс называется к а ш и р о в а н и е м. Иногда, в интересах экономии материала, когда требуется толстый картон, основной слой дешевого картона оклеивается картоном лучшего качества (облагораживается). Если картонная упаковка должна совершенно не пропускать влаги, жиров, кислот и пр., то картон подвергается соответственной обработке. Предварительное облагораживание картона часто делается для снабжения его изящной отделкой и украшениями, т. к. этот способ гораздо экономичнее, чем соответствующая обработка готовых картонажей. С этою целью картон кашируется цветной или узорчатой бумагой, с рисунками и изображениями, с шероховатой и бархатистой поверхностью, и пр.

Отдельные части коробок скрепляются между собою посредством клея или металлич. скрепок. Для склеивания употребляют различные сорта животного и растительного клея, рисовый и пшеничный крахмал, декстрин и казеин. Гуммиарабик, хотя и является одним из лучших клеевых составов, употребляется редко вследствие его высокой цены. Животный, или столярный, клей отличается высокой схватывающей способностью, но должен применяться в нагретом виде и часто содержит в себе примесь кислот, к-рые вредно влияют на окраску картонажей. К растительному клейстеру, к-рый приготовляется из крахмала, завариваемого крутым кипятком, прибавляется обыкновенно немного квасцов, карболовой, салициловой к-ты и т. п. средств, во избежание брожения клейстера при долгом стоянии. Весьма хорошим и опрятным склеивающим веществом является раствор декстрина, к-рый входит также в состав многочисленных патентованных видов т. н. холодного клея. Последний имеет то преимущество, что его можно разводить до необходимой консистенции холодной водой; он очень удобен для машинной работы. В последнее время входит в употребление клей, изготовляемый из казеина. Клей этот с успехом применяется для каширования картона, так как совершенно прозрачен, не влияет на цвет крашеных бумаг и по высыхании образует гибкий, не трескающийся слой.

Металлич. скрепления, применяемые вместо клея для соединения частей картонажей, имеют форму кнопок, проволочных скобок или зубчатых полосок. Кнопки, круглые или многоугольные, с длинными или короткими зубцами, бывают разных цветов, оцинкованные, никелированные и проч. Для скобок применяется проволока или лента разной толщины (до 20 сортов), смотря по толщине картона и требуемой крепости соединения. Проволока д. б. достаточно крепка, чтобы пробивать толстые слои картона, но в то же время и достаточно гибка, чтобы не ломаться при загибе. В последнее время очень распространено сшивание зубчатыми полосками (фиг. 1), отрезаемыми в процессе изготовления коробок от цельной ленты. Такие полоски не только дают очень прочное скрепление, но и придают картонажному изделию изящный вид.

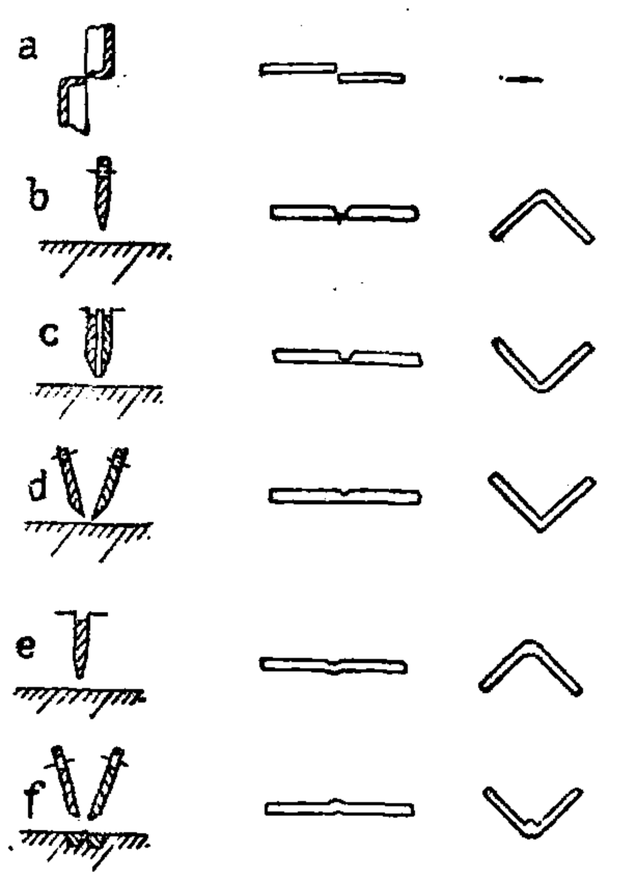


Фиг. 1.

Эти скобки вдавливаются в картон машиной, состоящей из штемпеля, в выемке которого помещается скоба, и наковальни, на к-рую надевается скрепляемый угол коробки. При нажиме штемпеля скоба выталкивается, ее зубцы прокалывают картон и загибаются внутри коробки наковальней.

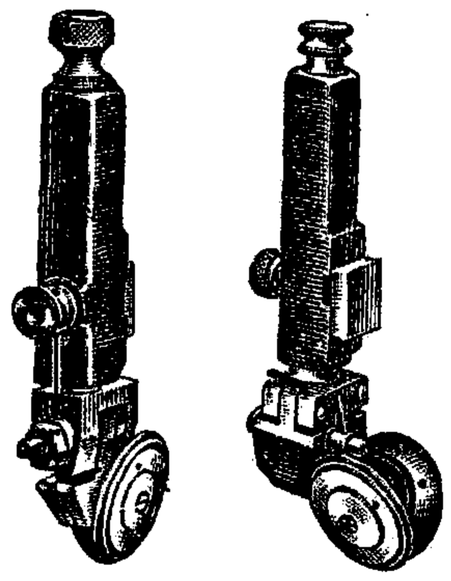
По способу изготовления картонажи можно разделить на три главные группы: 1) коробки, состоящие из отдельных кусков, соединяемых между собою тем или другим способом, 2) складные коробки и вообще картонажи, изготовляемые из одного куска картона, и 3) давленые или тянутые коробки, изготовляемые в прессах при помощи нагретых инструментов.

Основной и общей производственной операцией при изготовлении всех видов коробок является резка и прикройка картона соответственно размеру и форме изделия. Для резки и прикройки существуют два главных типа машин: папшеры и дисковые резальные машины (см. *Картонорезальные машины*). Первые, дающие лишь один разрез, применяются в крупном К. п. только для первоначальной обрезки картона с одного края; дальнейшая резка картона производится на дисковых машинах, к-рые режут весьма чисто (фиг. 2a) картон толщиною до 4 *мм*. Дисковые ножи могут устанавливаться на любом расстоянии друг от друга и режут картон на продольные полосы. После соответственной перестановки дисковых ножей продольно нарезанные куски картона разрезаются тою же машиной поперек. Применяются и двойные машины, в к-рых продольно закроенный картон передается на поперечную машину.



Фиг. 2.

Те же резальные машины комбинируются с различными аппаратами для сгибания картона с целью получения боковых стенок и углов (фиг. 3). Для наиболее простых картонажей, где не требуются ни особенная чистота работы ни прочность, употребляют круглые подрезальные ножи, которыми надрезывают картон по линии сгиба (фиг. 2b). Эти ножи могут устанавливаться на любом расстоянии друг от друга и, прижимая картон к вращающемуся валу, надрезают его на известную глубину, что и дает возможность согнуть его в данном месте. Более совершенным способом является надрез при помощи двух дисковых ножей, которые устанавливаются или параллельно (фиг. 2c) или под углом друг к другу (фиг. 2d) и прорезают в месте сгиба чистую канавку. Место сгиба ослабляется, и в большинстве случаев его приходится укреплять посредством оклеивания бумагой или другим материалом. Этот способ применяется для толстых сортов картона и для таких картонажей, в которых требуется особенно правильная линия сгиба как снаружи, так и изнутри. Если качество или назначение изделия не позволяет ослаблять линию сгиба, то производится т. н. биговка (rillen), к-рая заключается в том, что картон вдавливается тупым вращающимся диском в соответственную канавку нижнего вращающегося валика (фиг. 2e). Так. обр., хотя сцепление волокон с наружной стороны сгиба ослабляется, но прочность картона уменьшается незначительно, т. к. с внутренней стороны образуется уплотненный валик. Вместо одного колеса применяются иногда 2 наклоненных друг к другу диска (фиг. 2f)

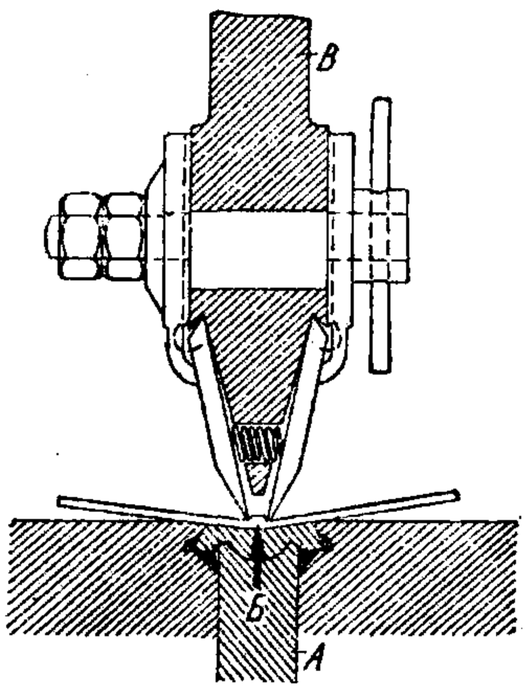

Фиг. 3.

В последнее время способ биговки усовершенствован, и новейшие специальные сгибательные машины не разрывают волокон, а «осаживают», т. е. смещают и утолщают материал в месте сгиба. На фиг. 4

Фиг. 4.

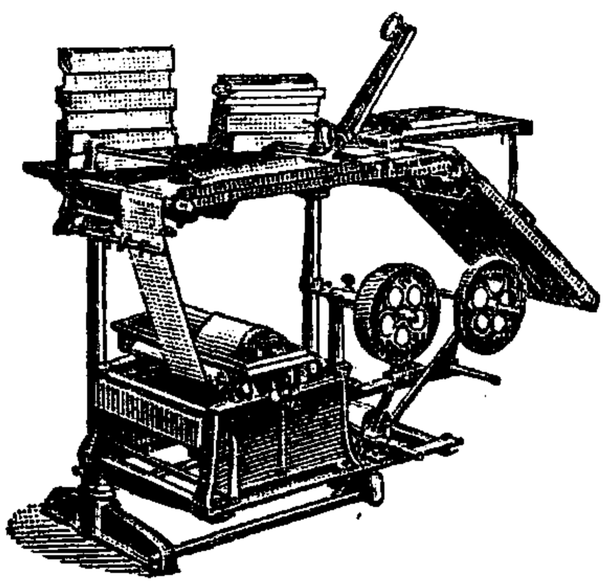
представлен такой сгиб в разрезе. Средний, или нейтральный, слой картона остается при сгибе без изменения, т. к. его волокна при этом не подвергаются ни растяжению ни сжатию. Волокна наружного слоя получают удлинение, к-рое позволяет им свободно изогнуться в месте сгиба. Внутренний слой выпячивается внутрь, и наружные волокна испытывают меньшее растягивающее усилие. Благодаря этому картон может свободно изгибаться под любым углом, не разрываясь. Эти картоносгибательные машины имеют следующее устройство (фиг. 5). В теле стола, на к-рый укладывается картон, помещается покоящаяся на сильных пружинах

призматическая рейка *А* с клинообразным тупым ножом *Б*, или т. н. языком. Сверху, параллельно плоскости столба, расположена перекладина *В*, которая может опускаться и подниматься при помощи эксцентрикового приспособления. К боковым скошенным поверхностям перекладины прилегают две клинообразные рейки, к-рые наподобие щипцов захватывают картонный материал и прижимают его к боковым поверхностям языка, образуя утолщение на линии сгиба.



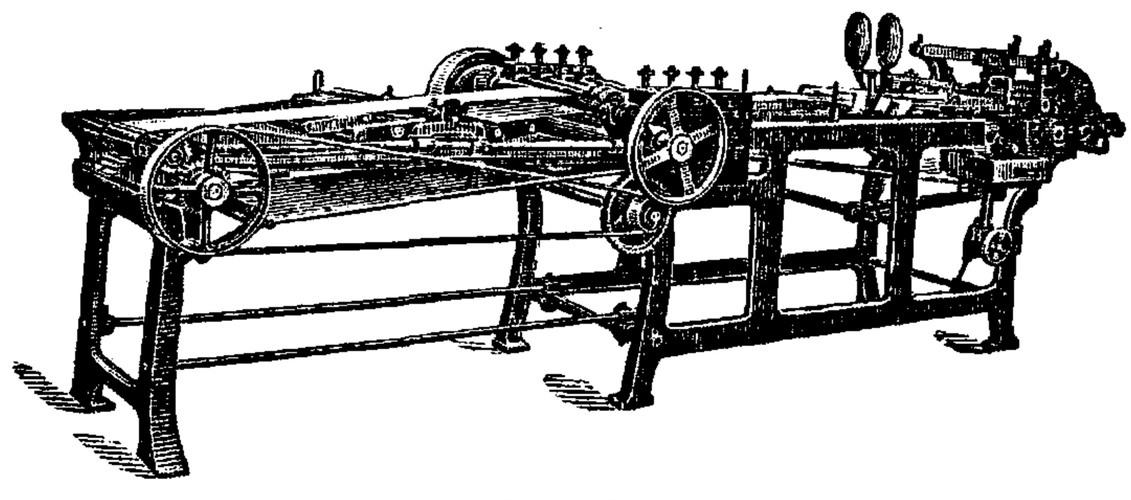
Фиг. 5.

Картоносгибательные машины по большей части одновременно делают и шлицы, т. е. разрезают картон на продолжении линии сгиба, для образования боковых стенок и подрезания лапок, к-рыми боковые стенки скрепляются между собою. Если же стенки коробок соединяются впритык, то лишние куски высекаются. Т. к. при глубоких коробках высечка углов влечет за собою большую потерю материала, то в этих случаях чаще основание и боковые стенки вырезаются отдельно, и коробки составляются из отдельных частей, приклеиваемых бумагой или коленкором. Приклеивание производится или обыкновенными *клеильными машинами* (см.) или специальными автоматами. Затем коробка поступает на обтяжной станок для обтягивания бумагой, сбегающей в виде бесконечной ленты с барабана и проходящей через валик, покрытый клеем (фиг. 6). Оклейка может производиться одновременно и несколькими отдельными полосками бумаги (до 3). На той же машине может производиться обтяжка коробки вместе с крышкой: такие коробки сначала накрываются крышкой, затем сплошь обтягиваются бумагой, к-рая потом разрезается на станке со всех сторон или только с трех сторон (коробки с откидной крышкой).



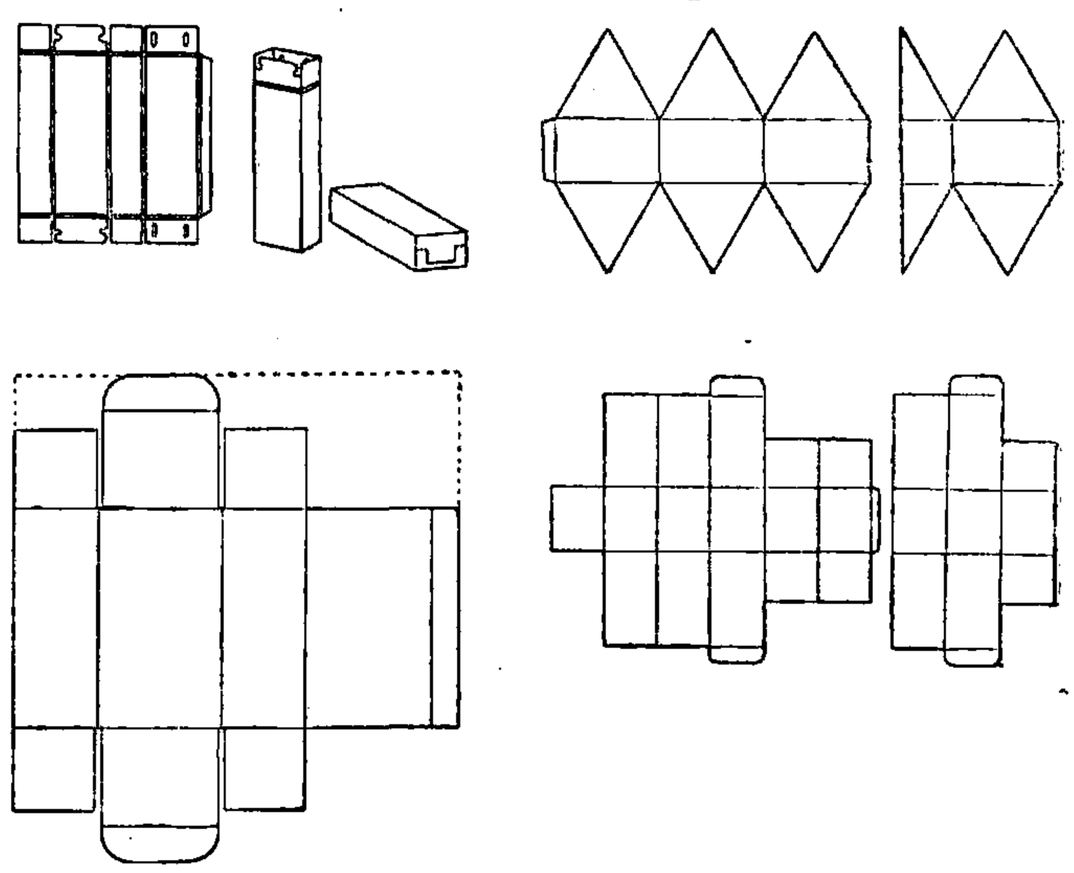
Фиг. 6.

Складные коробки имеют то преимущество, что доставляются потребителю в плоских листах, что значительно упрощает их пересылку и хранение до употребления. Изготовление складных коробок в общем сходно с вышеизложенным, с тем лишь отличием, что отпадают процессы скрепления и обтяжки. Подготовленная надлежащим образом выкройка складных коробок пропускается обычно через специальную машину, намазывающую затворный клапан клеем, после чего коробка фальцуется и в сложенном виде пропускается через притирочный станок, представляющий собою систему нагретых валиков. На фиг. 7 изображен автомат, который производит намазку клея, сгибание, притирку, подсчет и маркировку со скоростью до 400 коробок в мин. В последнее время вместо намазывания клеем коробка снабжается лапчатым клапаном, к-рый входит в специальные вырезы выкройки, так что в этом случае отпадает и операция намазывания клея. Нек-рые фасоны этих коробок



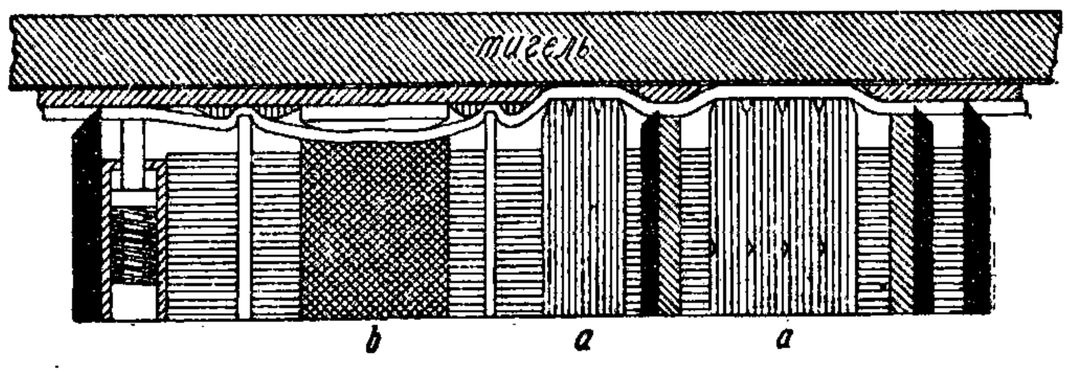
Фиг. 7.

приведены на фиг. 8. Для снабжения складных коробок этикетами, рисунками и украшениями картон пускается до прикройки в литографскую или офсетную печать. Но чаще всего применяются машины, выполняющие все эти процессы одновременно, с какой



Фиг. 8.

целью тигельные печатные машины снабжаются высекальными ножами и аппаратами для сгибов. Для того чтобы высекальные ножи не могли запачкаться краской, они делаются на 2 пункта ниже, чем типографский набор (фиг. 9,*а*), а ножи для канавок и сгибов—на 3 пункта ниже (фиг. 9,*b*); к тиглю



Фиг. 9.

же прикрепляется соответственным образом пригнанная медная пластинка. Новейшие машины (без красочного печатания) дают при большом формате (81 × 61 *см*) до 1 500 оттисков в час; американские двухоборотные скоропечатные машины с самонакладчиком и самоприемником дают при формате 117,5 × 176,5 *см* до 2 500 листов готовой кройки в час. Для производства мелких ко-

робок с печатью в несколько красок, бронзированием, тиснением и пр. существуют автоматы, изготовляющие непосредственно из ролевой бумаги, при формате 25×30 *см*, до 6 000 коробок в час.

Давленые и тянутые коробки. Картон при обработке горячими прессами принимает и сохраняет придаваемую ему штампом и матрицей форму. Таким образом изготовляют круглые или овальные коробки. Первоначально заготовляются из картона длинные цилиндрич. трубки, или так называемые гильзы. Для этого картон режут на такие прямоугольные куски, чтобы при навивании на вал соответственного диаметра получился по всей окружности двойной слой картона. Половина этого куска смазывается клеем, для того чтобы оба слоя картона, из которых состоит гильза, прочно соединились между собою. Самая навивка происходит на специальной машине, состоящей из навивочного и притирочного валов, из которых последний все время подогревается. Полученная таким образом гильза разрезается специальной резальной машиной на кольца соответствен. ширины, в зависимости от высоты требуемых коробок. Заранее отштампованные круглые донышки вставляются в эти кольца при помощи особой формы, а края трубки заканто-вываются под сильным давлением нагретым инструментом, так что образуется круглый валик, препятствующий выпадению донышка. Приблизительно таким же способом изготовляются круглые коробки с выступающим кантом, с тем лишь отличием, что здесь донышки имеют больший диаметр, а для того, чтобы они вошли в трубку, им сообщается выпуклость. Трубки вместе с донышками вставляются в форму, и здесь выпуклость донышек расправляется, вследствие чего края трубки выступают наружу и заканто-вываются, образуя сбоку ровный и красивый ободок. Одновременно на крышку наклеивается гуммированный этикет. Все эти операции выполняются под давлением на фрикционных или винтовых прессах, при чем все инструменты, соприкасающиеся с картоном, д. б. нагреты.

Таким же способом изготовляются овальные и даже четырехугольные коробки, с тою лишь разницей, что заготовленным кольцам сообщается при помощи нагретых форм и сердечников требуемая форма. Выпуклые формы и рельефное тиснение аналогичным способом могут придаваться и клееным коробкам.

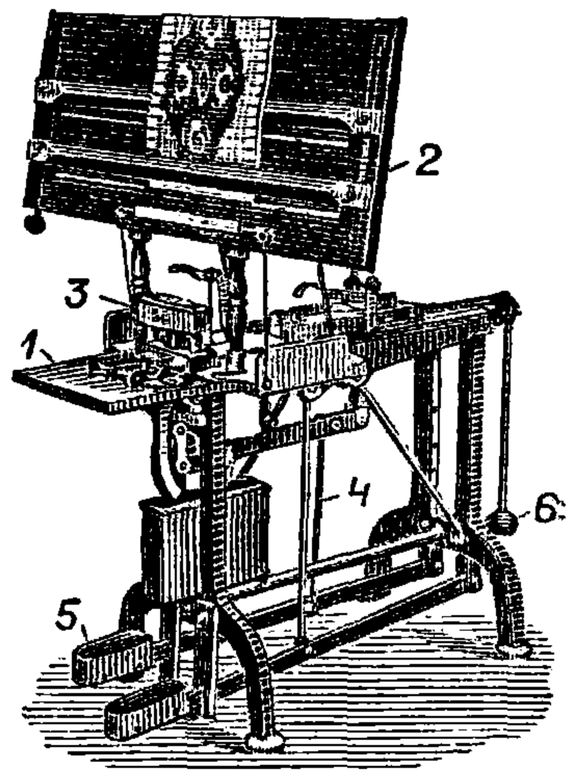
Волнистый картон. Волнистый, или гофрированный, картон представляет собою чрезвычайно эластичный упаковочный материал, способный прекрасно амортизировать удары и толчки; он особенно часто применяется для пересылки хрупких предметов. Гофрированный картон представляет собою рифленую бумагу, оклеенную с одной или с обеих сторон гладкими бумажными листами. Благодаря этому рифли не расправляются и при нажиме оказывают легкое пружинящее сопротивление. Гофрированные коробки изготовляются теми же резальными, высекальными и сгибательными машинами, но, разумеется, приспособления, подающие картон, должны иметь такое устройство, чтобы не сминать рифлей. Для коробок, изготовляемых целиком из волнистого картона, употребляется картон, оклеенный с обеих сторон, для вкладышей же в обыкновенные коробки идет картон, оклеенный с одной стороны. Весьма часто гофрированные коробки являются лишь дополнительной упаковкой для товара, уже уложенного в специальные коробки. Отдельные части гофрированных коробок скрепляются исключительно проволокой.

Лит.: Valenta E., Die Rohstoffe d. graphischen Druckgewerbe, B. 1 — Das Papier, seine Herstellung, Eigenschaften, Verwendung in d. graphischen Drucktechniken, Prüfung, usw., 2 Aufl., Halle a/S., 1922; Hess W., Die Papier-Prägetechnik, 2 Aufl., Berlin, 1923; Hess W., Die Praxis der Pappenverarbeitung, B. 1—2, Berlin, 1922—24; Hess W., Die Kartonnagen-Fabrikation, Berlin, 1926; Krumbiegel W. und Lange R., Der Kartonnagen-Praktiker, Dresden, 1926; Schubert M., Die Papierverarbeitung, B. 1—Die Kartonnagen-Industrie, Berlin, 1922.

Р. Киббель и Ю. Госсеев.

КАРТОНАСЕКАЛЬНАЯ МАШИНА. При выработке фасонных (узорчатых) тканей при помощи жаккардовой машины употребляется жаккардов картон, к-рый состоит из отдельных нарезанных четырехугольных кусков плотного бумажного картона, так наз. карт. Ширина и длина карт должны точно соответствовать размеру стороны или грани призмы жаккардовой машины, для которой, в зависимости от ее величины (количества игол), картон предназначается. Каждая карта жаккардова картона имеет просеченные или пробитые круглые отверстия, которые во всей своей совокупности обусловливают подъем нитей основ, нужный для образования требуемого узора в ткани. Отдельные карты с насеченными на них отверстиями связываются между собой в бесконечное полотно или ленту и представляют собою то, что называется жаккардовым картоном. Насечка или пробивка отдельных карт жаккардова картона производится по специальному рисунку (патрону) на особых машинах, называемых картонасекальными или картопробивными. Насекальные машины для насечки карт жаккардова картона строят для жаккардовых машин на 200, 400, 600 игол и свыше.

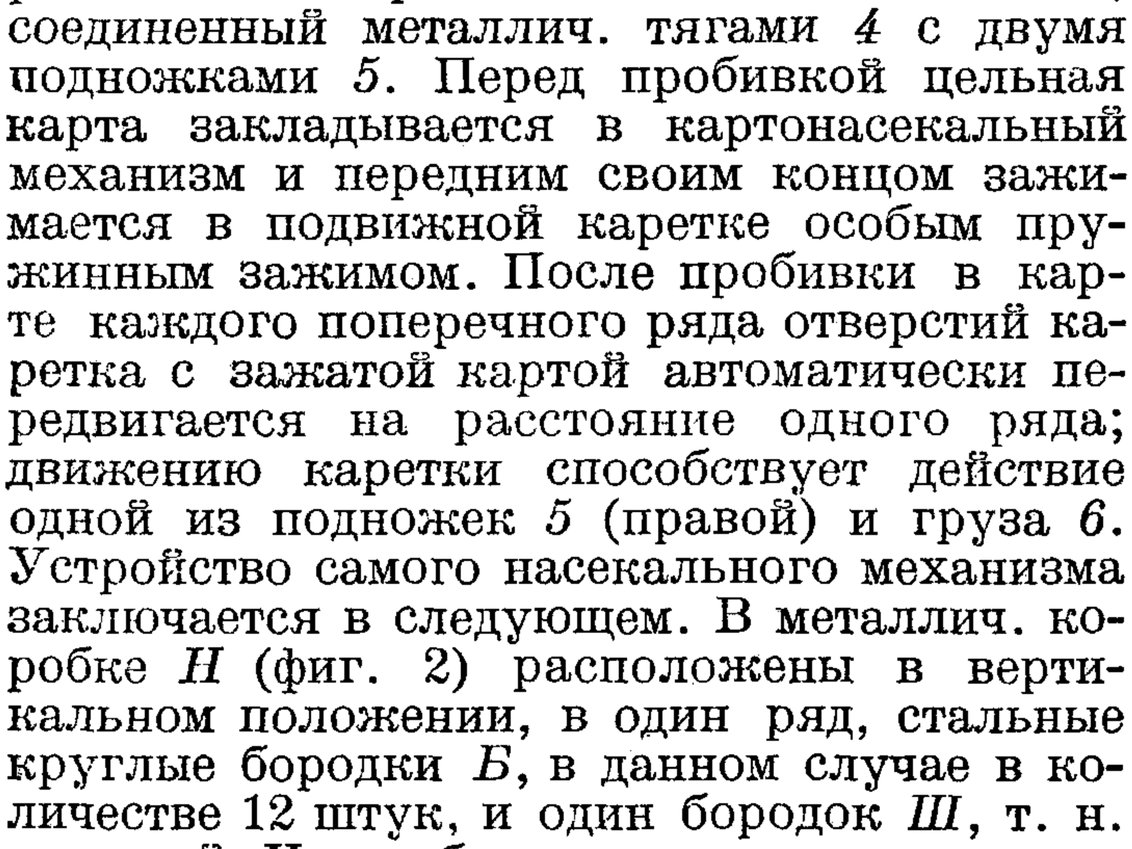
По характеру конструкции К. м. можно подразделить на два существенно различных и типичных вида: 1) К. м. английской системы (см. фиг. 1) и 2) К. м. хемницкой системы (фортепианные, или клавишные, фиг. 4). Главное различие между указанными системами заключается в том, что в К. м. английской системы во время просечки карты последняя подвигается перпендикулярно по отношению к работающему на машине, а в К. м. хемницкой системы—параллельно.



Фиг. 1.

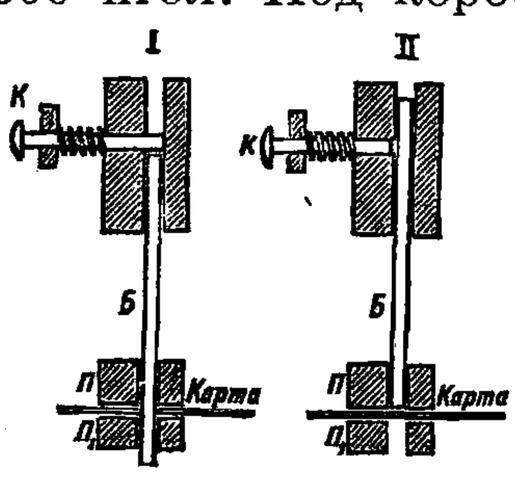
Сущность устройства и работы К. м. английской системы состоит в следую-

щем (фиг. 1). На металлич. столе—подставке машины *1*—при помощи двух неподвижных стоек укреплен пюпитр *2* для патрона—рисунка предназначаемой к просечке и выработке ткани. Непосредственно на столе расположен картонасекальный механизм *3*, соединенный металлич. тягами *4* с двумя подножками *5*. Перед пробивкой цельная карта закладывается в картонасекальный механизм и передним своим концом зажимается в подвижной каретке особым пружинным зажимом. После пробивки в карте каждого поперечного ряда отверстий каретка с зажатой картой автоматически передвигается на расстояние одного ряда; движению каретки способствует действие одной из подножек *5* (правой) и груза *6*. Устройство самого насекального механизма заключается в следующем. В металлич. коробке *Н* (фиг. 2) расположены в вертикальном положении, в один ряд, стальные круглые бородки *Б*, в данном случае в количестве 12 штук, и один бородок *Ш*, т. н. шиповой. Число бородков в машине должно равняться числу отверстий в одном вертикальном ряду призмы жаккардовой машины. От числа отверстий в вертикальном ряду



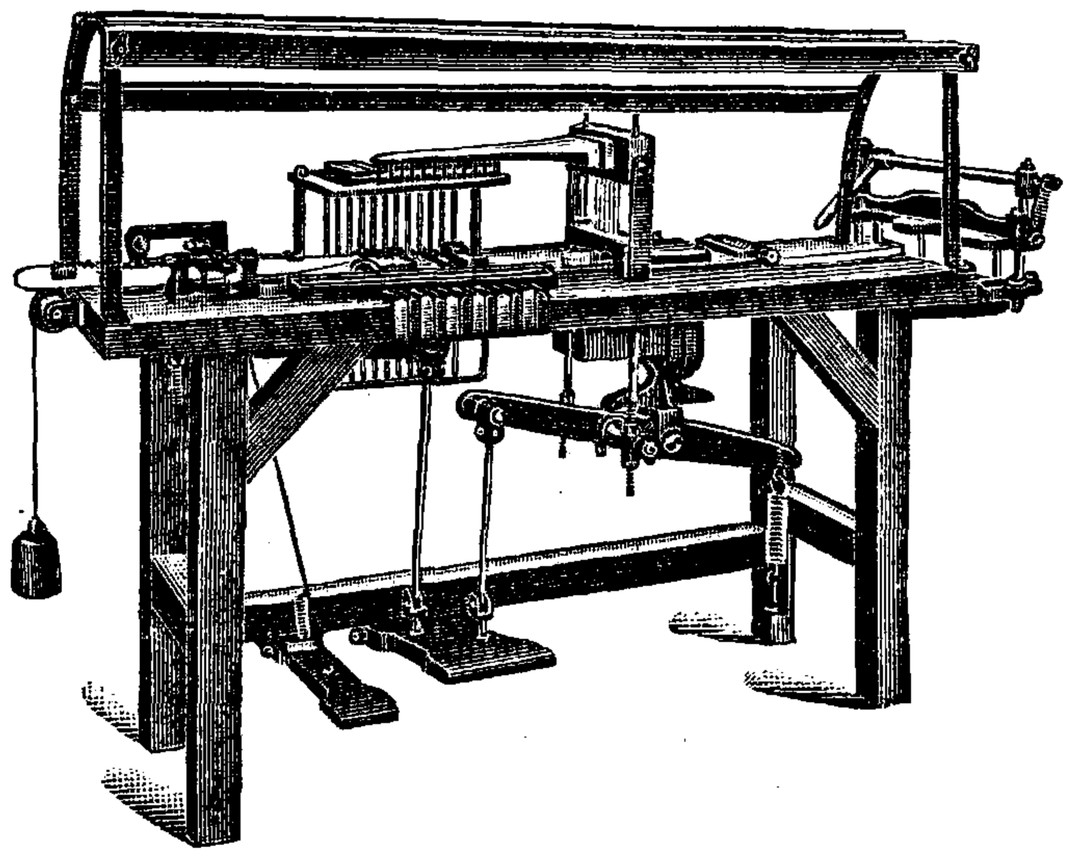
Фиг. 2.

призмы или от числа игол в вертикальном ряду жаккардовой машины зависят как конструкция, так и применение К. м. Так, например, если насекальная машина предназначается для жаккардовой машины в 600 игол, при чем в одном вертикальном ряду последней будет 12 игол, то К. м. должна строиться с 12 бородками. На такой машине возможно производить насечку карт для жаккардовых машин не только в 600 игол, но также в 200 и 400, но не свыше 600 игол. Под коробкой с бородками расположены одна над другой две наглухо укрепленные металлические плитки $П$-$П_1$ (фиг. 3) с отверстиями для прохождения бородков. Между этими плитками имеется свободное пространство около 2—3 *мм* по высоте, т. е. равное толщине картона карты и по ширине равное ширине карты. В это пространство пропускается передний конец карты, соединенный при помощи зажима с подвижной кареткой. Как это видно из фиг. 2 и 3, каждый бородок имеет в верхней части коробки пружинный клавиш. Фиг. 3 иллюстрирует два положения бородка. Первое положение:



Фиг. 3.

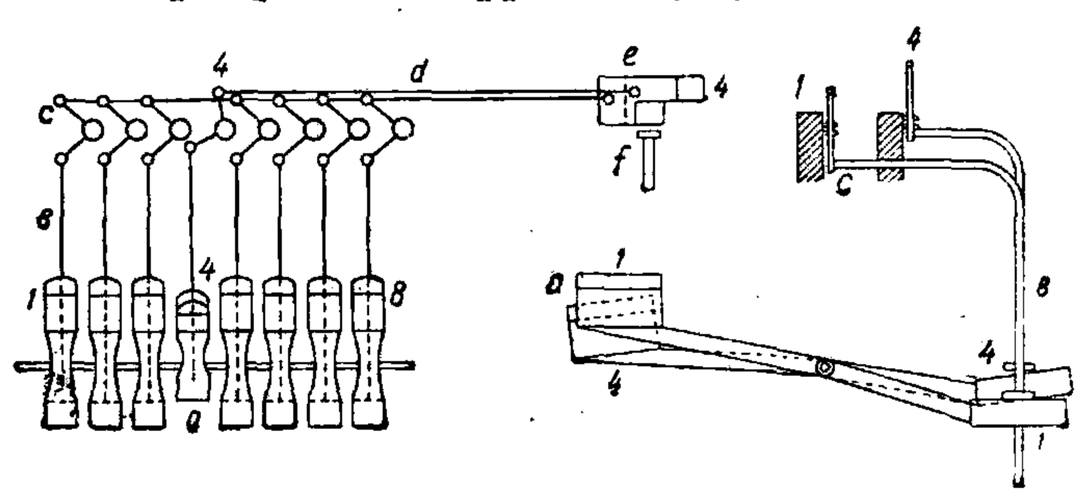
когда нажатием пальца руки в коробку вдавливается один из клавишей *К*, то последний своим концом придется над головкой бородка *Б*; если в этот момент наступить на левую подножку и этим дать металлической коробке движение вниз, то бородок *Б*



Фиг. 4.

пробьет в карте круглое отверстие. Второе положение: если перед наступлением на подножку ни один из клавишей *К* не будет нажат, то его конец не будет приходиться над бородком; в этом случае, хотя коробка и опустится, бородок не пробьет карты, т. к., не имея сверху никакого упора, он опустится только до поверхности карты.

Что касается К. м. хемницкой системы (фиг. 4), то следует заметить, что принцип просечки карт на этой машине остается тот же, что и на машине англ. системы, т. е. в каждой карте пробиваются один за другим поперечные ряды. Разница заключается лишь в устройстве картонасекального механизма и в направлении передвижения просекаемых карт; о последнем было сказано выше. На фиг. 5 изображена схема картонасекального механизма машины хемницкой системы, дающая возможность ознакомиться с механизмом в плане и в боковом разрезе. Цифрами *1*, *4*, *8* обозначены



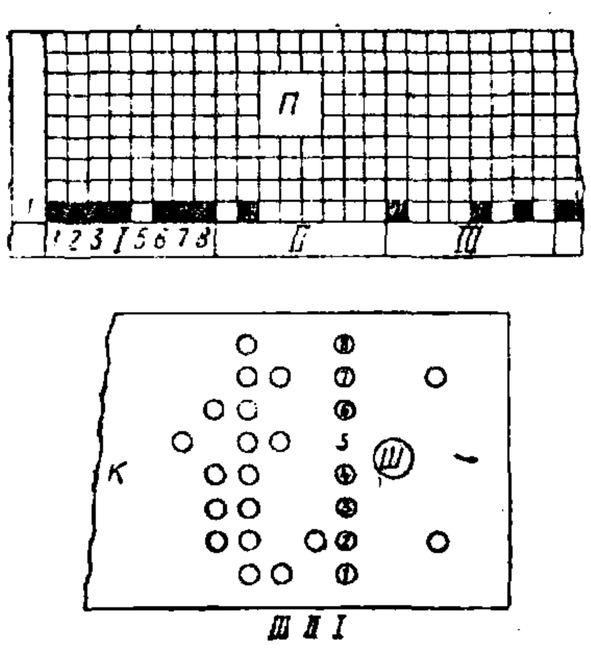
Фиг. 5.

клавиши *а*, к-рые укреплены на рычагах первого рода. Эти рычаги на другом конце соединены посредством стержней *в* с угловыми рычагами *с*. От рычагов *с* идут стержни *d* к ползункам *е*, которые устроены так, что бородки *f* совершенно свободно проходят возле них. Когда какой-либо из клавишей нажат (на фиг. клавиш *4*), то ползунок *е* надвигается на головку бородка, и при нажиме на подножку бородок пробьет карту.

Кроме К. м. описанных конструкций, имеется еще целый ряд К. м. как для осо-

бого рода работ, так и для специальных жаккардовых машин, в частности для машин Верболя. Что касается порядка нажатия клавишей, т. е. порядка просечки, то последняя совершается в зависимости от патрона (рисунка). Предварительно на карте просекают вязочные и шиповые дыры, а затем дыры, соответствующие рисунку. Для шиповых дыр в К. м. имеется специальный шиповой бородок большего размера; для вязочных дыр служат бородки, предназначенные для рисунка.

Порядок просечки рисунка и действие машины происходят следующим образом. На пюпитре машины, между двумя его линейками, укрепляется патрон (рисунок), при чем на нижней линейке накалывается особый масштаб из бумаги с делениями, соответствующими размеру больших квадратов числительной (канвовой) бумаги патрона. Нижняя линейка устанавливается на патроне так, что оставляет на виду всего только один горизонтальный ряд клеточек, которые указывают места подъема основных нитей над первой прокидкой утка. Насекальщик, зачитывая в порядке патрона число закрашенных клеточек, надавливает соответствующие клавиши и пробивает соответствующие дыры в поперечном ряду карты; незакрашенные клеточки патрона принимаются в счет, но остаются на карте непробитыми. На фиг. 6 наглядно показано, в каком порядке зачитывается насекальщиком патрон *П*, какие отверстия в карте *К* пробиваются и какие клавиши были нажаты.



Фиг. 6.

Лит.: Wickardt A., Die Webereimaschinen, Lpz., 1911; Taylor J. T., Cotton Weaving a. Designing, L., 1923.

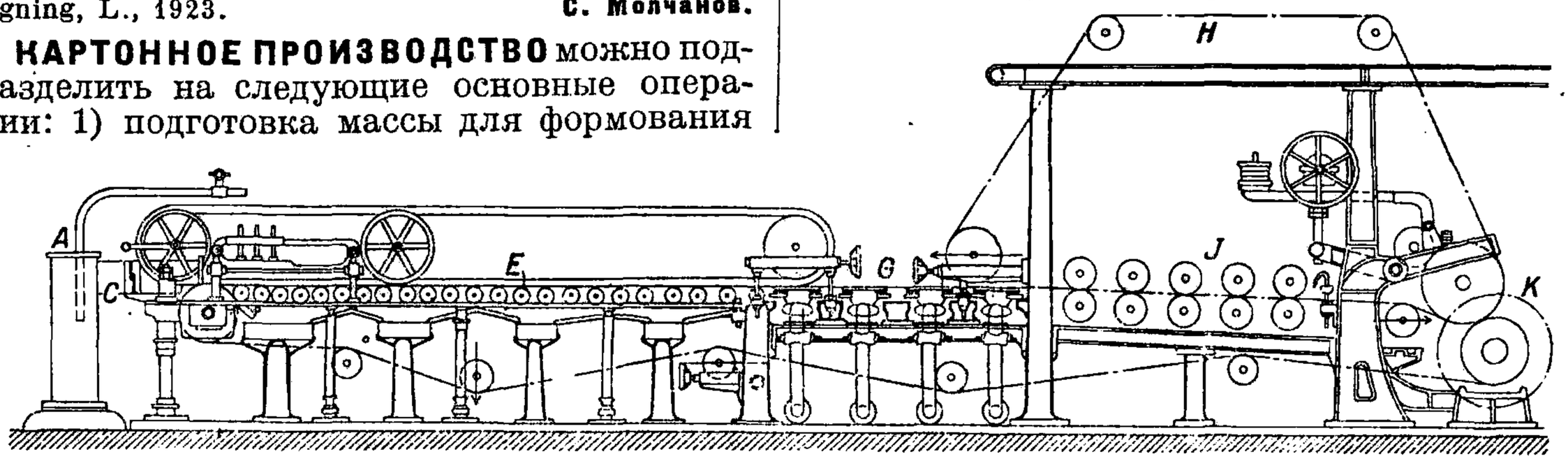
С. Молчанов.

КАРТОННОЕ ПРОИЗВОДСТВО можно подразделить на следующие основные операции: 1) подготовка массы для формования картонного листа, 2) формование (отливка) картонного листа, 3) сушка, 4) отделка, сортировка и упаковка.

1. Подготовка массы. В производстве картона пользуются теми же полуфабрикатами, что и в бумажном производстве. Обработка и подготовка их для получения массы, годной к отливке на картоноделательных машинах, по существу мало отличаются от подготовки волокна для формования бумажного листа и производятся на таких же аппаратах: бегунах, ролах, мельницах Жордана и пр.; методы обработки изменяются в зависимости от назначения композиции и картона. Особенностью, отличающей К. п. от бумажного, является необходимость, наряду с обеспечением некоторой прочности вдоль листа, достигнуть также достаточной связи между волокнами в поперечн. направлении, чтобы картон не расслаивался.

2. Формование картонного листа. В зависимости от типа картоноделательных машин следует различать: а) ординарный картон, вырабатываемый на машинах с плоской сеткой (столовых машинах); б) обыкновенный прессованный (навивной) картон, изготовляемый на папочных машинах с сеточным цилиндром; в) многослойный машинный картон, изготовляемый на многоцилиндровых картоноделательных машинах; г) клееный картон (двойной, тройной и т. д.). Ручная вычерпка картона применяется крайне редко и только для выработки самых высоких сортов картона (рисовального, чертежного). Описание техники ручной вычерпки—см. *Бумажное производство*, вычерпка бумаги.

Столовые машины с плоской сеткой применяются для выработки картона тонких сортов (напр. ролевого пресшпана), картона из очень жирной, т. е. плохо отдающей воду, массы и, наоборот, картона из очень тощей массы, к-рый при выработке из многих слоев склонен расслаиваться. Столовые машины с плоской сеткой применяют главным образом для выработки соломенного картона и кровельного картона. По своей конструкции они весьма мало отличаются от столовых *бумагоделательных машин* (см.). Они снабжены второй сеткой и предварительным прессом, расположенным перед гауч-прессом. Сеточная часть такой машины, предназначенной для выработки соломенного картона, изображена на фиг. 1. Соломенная масса из напускного ящика *A* поступает на фартук *C* и отсюда на сетку *E*. В конце сосунов *G* картонное полотно движется между двумя сетками—нижней *E* и верхней *H*, где отжимается несколькими парами предварительных прессов *J*, оттуда поступает на гауч-пресс *K* и далее на прессовую и сушильную части машины. Современные машины описанного типа имеют ширину до 3 *м*, нижнюю сетку длиною от 0 до 24 *м* и верхнюю от 9 до 10 *м*. Рабочие скорости столовых картонных машин, для случая выработки соломенного и толевого картона, приведены в следующей таблице.



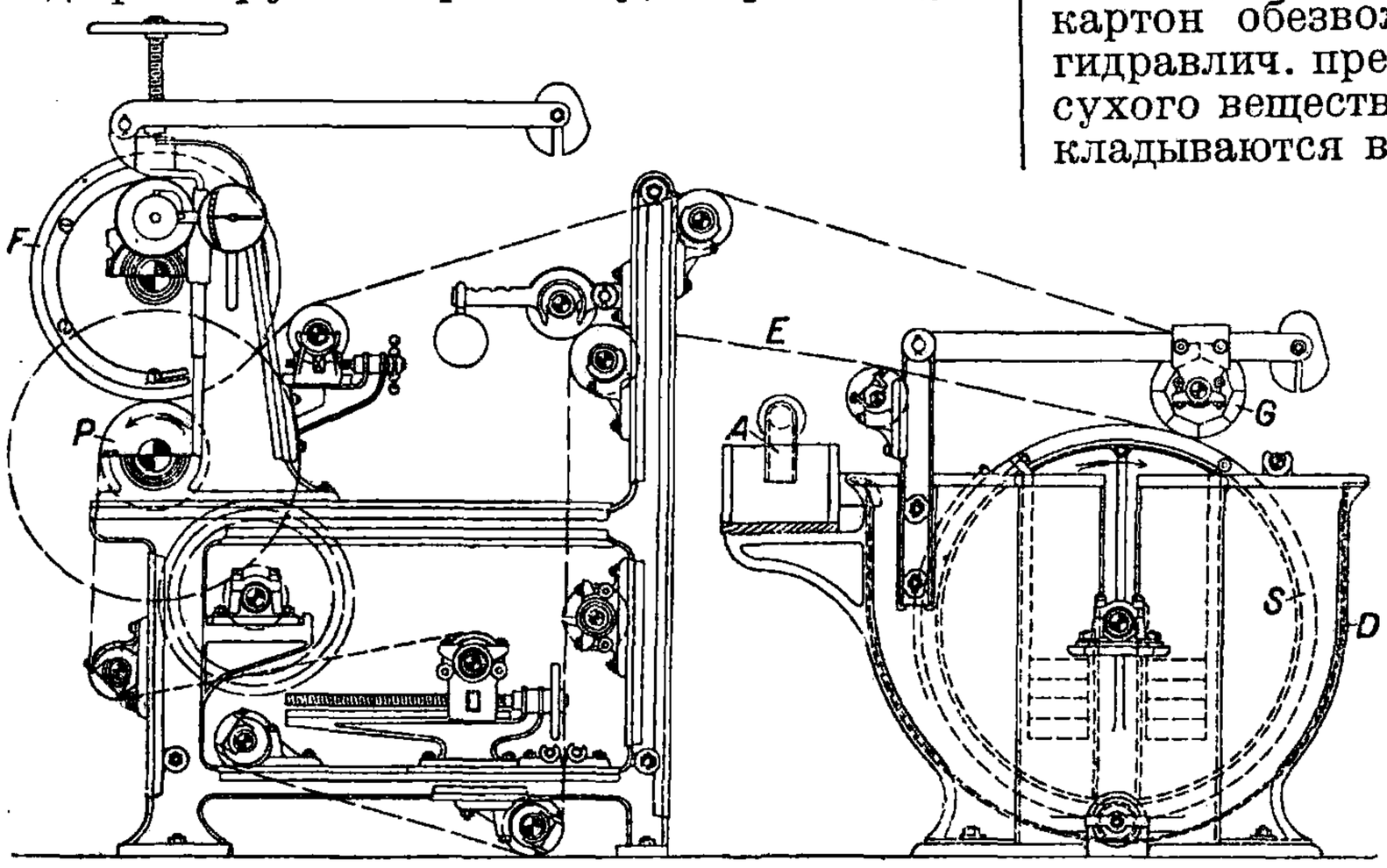
Фиг. 1.

Рабочие скорости столовых картонных машин в *м/мин.*

Картон	При плотности в *г/м²*							
	300	400	625	833	875	1000	1100	1250
Соломенный								
Скорость по Кирхнеру	25	—	16,5	—	11	—	—	8
Скорость по Мюллеру	—	19—20	—	—	—	—	5—6	—
Толевый								
Скорость по Мюллеру	—	—	13	11	—	1,5	—	—

Плотность нормально не превосходит 600—750 *г/м²*, достигая 1 000—1 200 *г/м²*.

Одноцилиндровые (папочные) машины для выработки картона подобны папочным машинам, применяемым в древесномассном производстве (см. *Древесная масса*). На фиг. 2 изображена схема устройства такой машины. Масса, поступающая по трубе *A*, наполняет чан *D*, в к-ром вращается покрытый мелкой сеткой барабан *S*, погружен. в массу, примерно, на $^2/_3$ своей поверхности; вода фильтруется через сетку, покрывающую

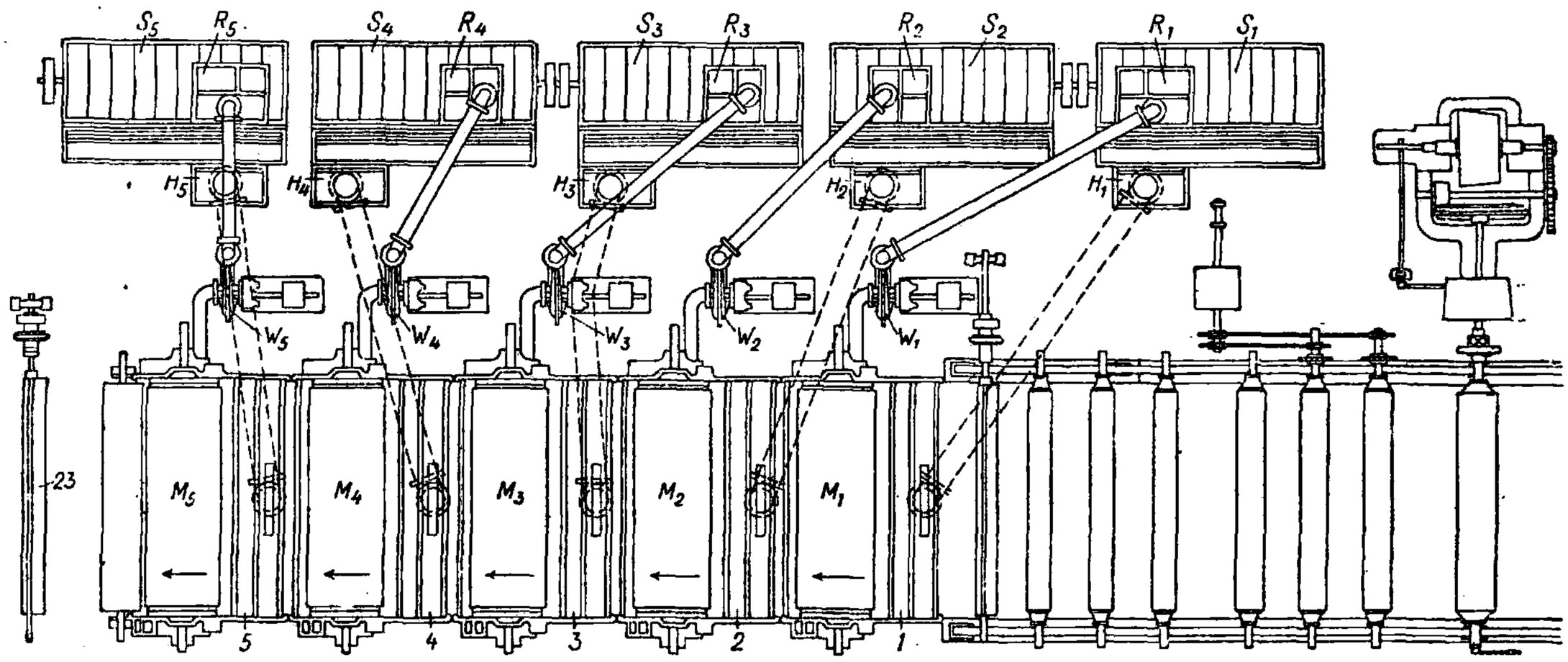


Фиг. 2.

цилиндрич. поверхность барабана, и удаляется с его торцов, при чем волокна массы отлагаются на сетке. Слой волокон, попадая на поверхность бесконечного сукна *E*, прижимаемого гауч-валом *G*, пристает к сукну и подводится последним к валам *P* (пресс) и *F* (форматный вал), где навивается на форматный вал в несколько слоев, спрессовывающихся в один лист. Рабочий снимает с вала лист влажного картона, проводя (по достижении требуемой толщины листа) ножом по имеющемуся на поверхности вала желобку (идущему параллельно оси вала). Таких желобков на форматном валу бывает иногда два; часть окружности вала между двумя желобками (с учетом на усадку картона при сушке) должна соответствовать длине или ширине картонного листа. Длина сеточного барабана, т. е. рабочая ширина машины, равняется длине картонного листа, а иногда—двойной длине или двойной ширине листа. Если машина двухлистная, т. е. по ширине машины формуются одновременно два листа картона, то по окружности форматного вала нашиваются три полоски клеенки или резинового тонкого полотна. Волокно оседает на сетке форматного вала только в незащищенных местах; т. о., полоска, нашитая посередине форматного вала, заставляет волокно ложиться двумя параллельными лентами, а боковые полоски определяют ширину каждой ленты, т. е. ширину или длину листа картона. Плотность каждого слоя массы при выработке навивного картона нормально составляет 50—70 *г/м²* (максимально 170—200 *г/м²*), а общая плотность картонного листа—400—1 200 *г/м²* (20 и более слоев). Скорость вращения сеточного цилиндра—10—30 *м/мин*; производительность—350—400 *кг* с 1 *м²* сеточного цилиндра в 24 часа (Мюллер). На описанных машинах вырабатывается древесный (белый и бурый), серый, асбестовый и другие сорта картона. Влажность листа, снятого с машины, 65—70%; перед поступлением на сушку картон обезвоживается дополнительно на гидравлич. прессах до 45—50% содержания сухого вещества. Сырые листы картона закладываются в пресс не сплошной стопой, но перекладываются железными листами (большего формата, чем листы картона, и ок. 1,5 *мм* толщиной) на расстоянии ок. 50—80 *мм* один от другого, так что вся масса запрессованного картона является разделенной по высоте на небольшие отдельные стопки. При этом выжимаемая прессом вода стекает из каждой стопки по железным листам отдельно и не размывает края нижних листов картона. Кроме того, вся масса удаляемой воды разделяется железными листами на части, и возможность разрыва картона потоками воды, устремляющимися от середины массы к краям, значительно ослабляется.

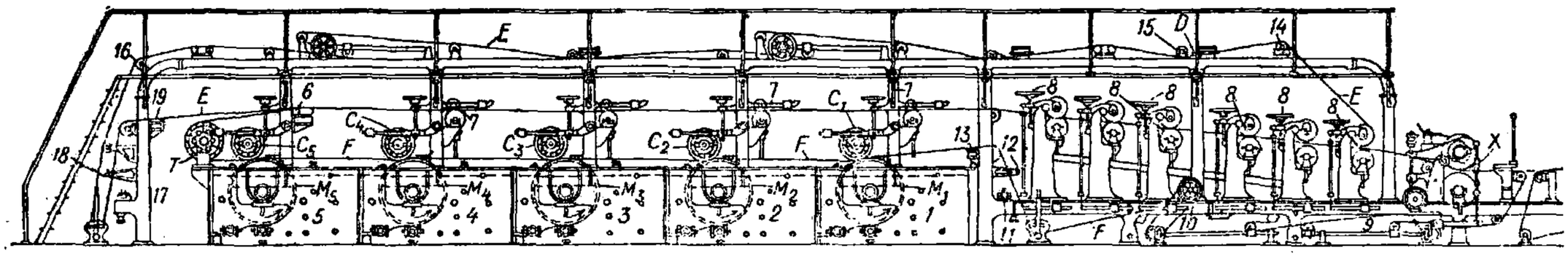
Многоцилиндровые картоноделательные машины для выработки картона тонких развесов в последнее время вытесняют папочные машины. В то время как производительность обычных папочных машин 2—2,5 *т* в сутки, современные многоцилиндровые машины дают выработку до 40—50 *т* и более. На фиг. 3а даны схематически боковой вид и план пятицилиндровой круглосеточной машины. Картонная масса поступает в ящики R_1, ..., R_5, где разбавляется оборотной водой из сеточных цилиндров M_1, ..., M_5, перекачиваемой насосами W_1, ..., W_5. Масса и оборотные воды из каждого цилиндра имеют обособленные пути, что позволяет получать картон из нескольких слоев разнородного материала. Из ящиков R_1, ..., R_5 масса проходит через узловители

S_1, ..., S_5 и через напорные ящики H_1, ..., H_5 поступает в чаны *1*, ..., *5* с сеточными цилиндрами M_1, ..., M_5, при концентрации в 0,5 — 1% абсолютно сухого волокна. Образовавшийся на сеточных поверхностях цилиндров M_1, ..., M_5 волокнистый слой соприкасается с нижней поверхностью бесконечного сукна *F* (фиг. 3б), прижимаемого к сеточным цилиндрам гауч-валами



Фиг. 3а.

C_1, ..., C_5. Сукно *F* последовательно снимает массу слой за слоем с сеточных цилиндров, при чем, пройдя цилиндр M_1, оно несет один слой, пройдя следующий цилиндр,—два слоя, и т. д., пока после пятого цилиндра (M_5) на нижней поверхности сукна не образуется число слоев массы, равное числу цилиндров (в данном случае пяти). Пройдя цилиндр M_5, сукно *F* огибает опорный валик *T* (картон теперь оказывается уже на верхней поверхности сукна *F*) и встречает верхнее сукно *E*. С этого момента влажное картонное полотно, находясь между двумя сукнами, движется с ними, проходя через последовательный ряд отжимочных приспособлений: валик *6*, несколько пар отжимных, покрытых резиной валов *7* и предварительные прессы *8* (на фиг. показано 6 таких прессов). Последовательно сила отжима все увеличивается—с таким расчетом, чтобы влажное картонное полотно не было деформировано, разорвано или размыто устремляющимися наружу потоками выжимаемой воды. Пройдя предварительно прессы *8*, полотно картона поступает на гауч-пресс *X*, по устройству схожий с соответствующей частью бумагоделательных машин, и далее следует на прессовую часть и сушильную машину. Нижнее мокрое сукно *F*, пройдя вместе с полотном картона гауч-пресс *X*, отходит книзу и возвращается снова к сеточному цилиндру M_1. Для натяжения сукна служат два ручных натяжных валика *9* и *10*. Очистка сукна от прилипших и вошедших в его поры волокон, части наполнителей и прочих загрязнений производится при помощи била *11*, спрыска *12* и сосуна *13*, отсасывающего воду и приводящего сукно в состояние, способное снова снимать слой массы с цилиндров. Верхнее сукно *E*, огибая верхний вал последнего пресса *8*, поднимается кверху, проходит через правильный валик *14* и очистной валик *15*, к гладкой медной поверхности к-рого прилипают частицы массы и других загрязнений, счищаемые с поверхности валика шабером *D*; далее верхнее сукно проходит два натяжных валика, два очистных валика, подобных валику *15*, и, обогнув ведущий валик *16*, опускается вниз и очищается при помощи била *17*, спрыска *18* и сосуна *19*. В нек-рых машинах верхнее сукно проходит вместе с полотном картона и нижним сукном гауч-пресс. В других круглосеточных картонных машинах верхнее сукно вовсе отсутствует, и картонное полотно поддерживается только нижним сукном. Описанные картоноделательные машины применяют для выработки древесн. картона белого, желтого, макулатурного и других сортов, но имеется возможность вырабатывать и многослойный картон из разнородного материала. В этом случае первый и последний (покровные) слои, плотностью в 60—80 *г/м²*, приготовляются из более ценного материала, например

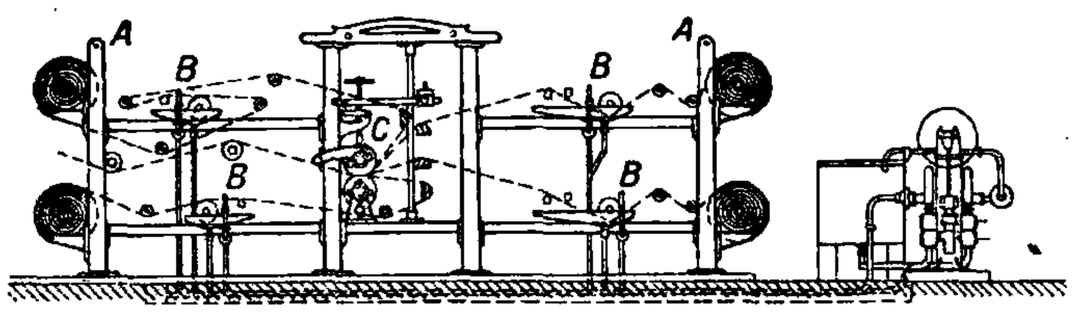


Фиг. 3б.

целлюлозы (иногда окрашенного), а средние слои — из дешевого материала, как, напр., древесная масса или масса из бумажного брака. Плотность вырабатываемого картона обычно равна 400—750 *г/м²*, достигая в некоторых случаях 1 200 *г/м²*. Производительность современных машин—50 *т* и более за 24 ч., а рабочая ширина—3 000 *мм* и выше. Число сеточных барабанов—до 8 штук (диам. 1 000—1 250 *мм*), предварительных

прессов—также до 8 шт., мокрых прессов—обычно 3. Влажность картонного полотна перед гауч-прессом—70—72%, при поступлении на сушку—60% (40% абсолютно сухого волокна). Скорость хода машины колеблется в зависимости от материала и плотности картона. При выработке картона из бумажного брака плотностью в 220 *г/м²* скорость составляет ок. 80 *м/мин*, при выработке белого древесного картона плотностью ок. 500 *г/м²*—20 *м/мин*.

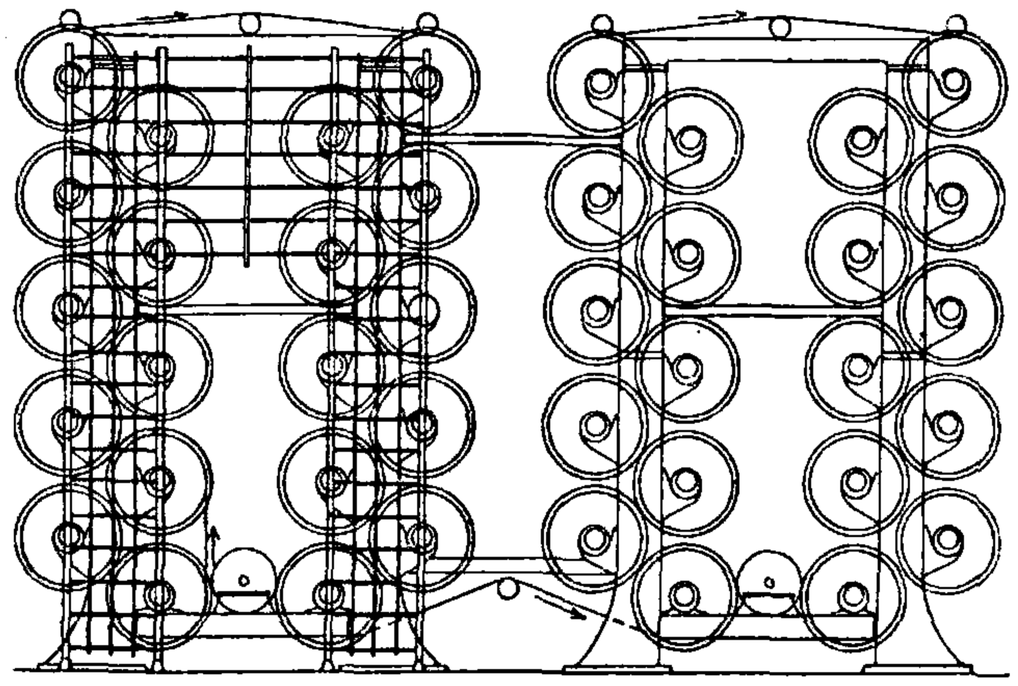
Клееный картон. Для тонкого клееного картона типа «бристольского» применяют клеильные машины, непосредственно соединенные с сушильной частью, состоящей из нескольких сушильных цилиндров (по типу сушильных частей бумагоделательн. машин). Такие машины работают обычно со скоростью 4—12 *м/мин* в зависимости от плотности картона. Склеивающим материалом чаще всего служит клейстер, в к-рый добавляют в качестве консервирующего средства борную к-ту, буру или карболовую к-ту. На фиг. 4 изображена машина для получения четырехслойного тонкого картона. Исходный материал, в виде рулонов бумаги, помещается на двух станинах *A*. Раствор клейстера помещается в четырех корытах *B*. Бумага с



Фиг. 4.

двух левых рулонов образует наружные слои клееного картона, она смазывается клеем при помощи валиков только с одной стороны. Бумага с двух правых рулонов образует внутренние слои картона и смазывается клеем с двух сторон. Избыток клея очищается раклями. Соединение четырех полотен бумаги производится прессом *C*, после к-рого картон непосредственно поступает на сушильную часть. Машины для получения толстого картона путем склеивания многих (до 10) листов не имеют сушильных цилиндров; сушка производится в виде листов, при помощи теплого воздуха.

3. Сушка картона. При выработке картона на столовых или многоцилиндровых круглосеточных машинах картон поступает в сушку с мокрых прессов непрерывным полотном с содержанием абсолютно сухого вещества около 35—40%. В этом случае сушка картона производится на многоцилиндровых сушильных аггрегатах, составляющих с т. н. мокрыми частями картоноделательных машин одно целое и по конструкции аналогичных сушильным частям бумагоделательных машин, отличаясь от них только тем, что вместо сукна прижим картонного полотна производится рычажными валиками. Диаметры сушильных цилиндров—от 1,25 до 2,0 *м*, при чем на машинах, вырабатывающих толстый и мало гибкий (напр. соломенный) картон, цилиндры должны иметь больший диаметр. Цилиндры обычно располагаются в два или три ряда, но для экономии места в последнее время применяют конструкции машин с 4—6 рядами цилиндров. Так, на фиг. 5 показаны 40 сушильных цилиндров, расположенных в 4 вертикальных группах. Производительность сушильной части, в зависимости от сорта и плотно-



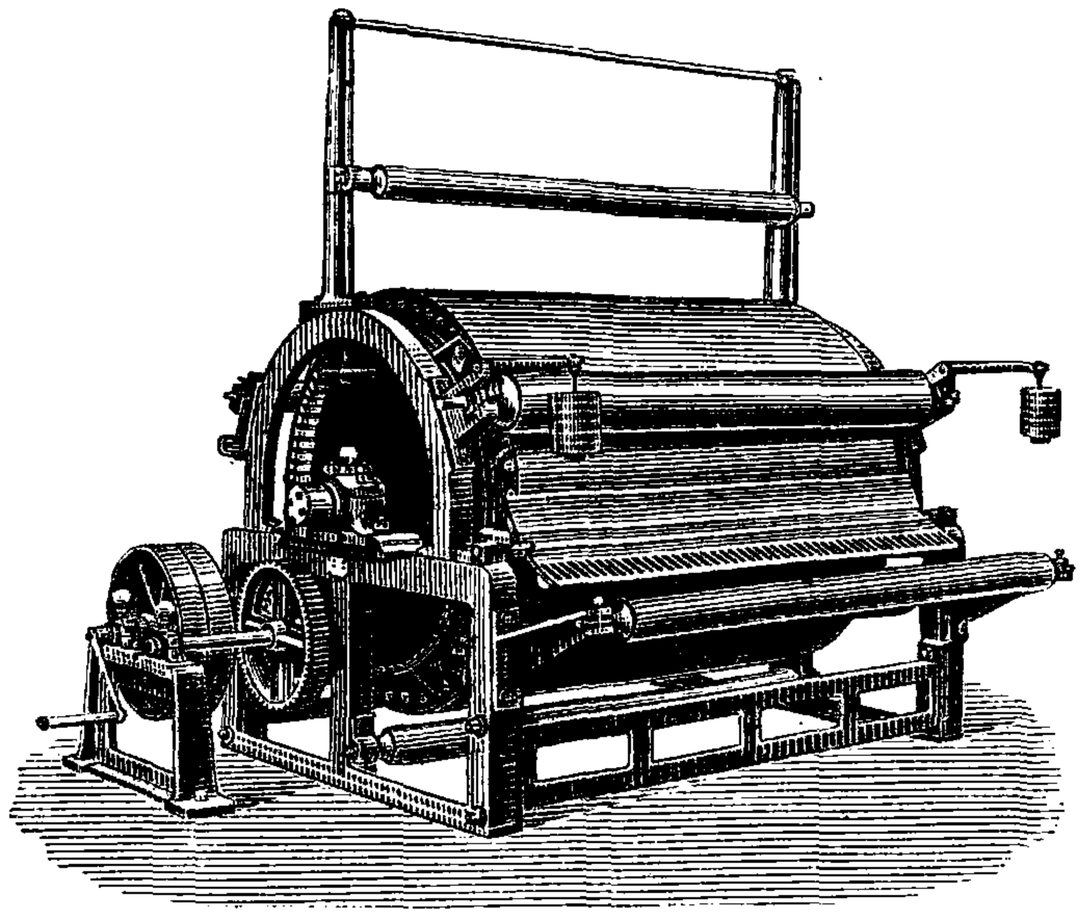
Фиг. 5.

сти картона, составляет от 5 до 7,5 *кг* картона в час на 1 *м²* поверхности сушильных цилиндров, охватываемой картоном; при этом с увеличением плотности картона производительность сушки увеличивается, что видно из сопоставления следующих цифр (по Ф. Мюллеру):

Сорта картона	Производ. 1 *м²* суш. части в 1 час (в *кг*)
Белый древесный:	
Плотн. 300 *г/м²*	5,62
» 500 »	6,25
» 900 »	7,20
Желтый древесный:	
Плотн. 300 *г/м²*	5,00
» 600 »	6,25

Термич. кпд сушки—0,83—0,84, а расход пара на сушку 1 *т* картона—ок. 2—2,2 *т*. Картон, получаемый на папочных машинах, поступает на сушку, после прессования на гидравлических прессах, в виде листов с влажностью 40—50%.

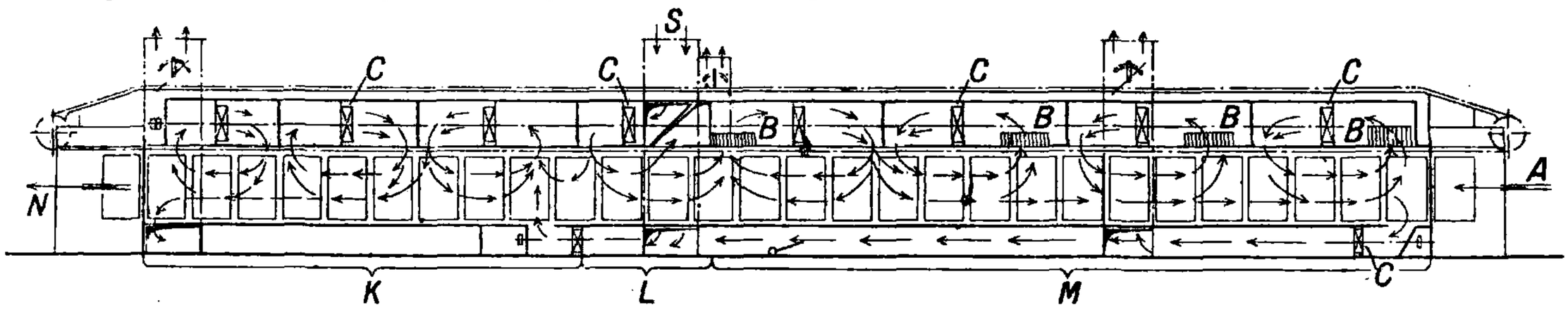
Для сушки листового картона применяются следующие устройства. 1) Воздушная



Фиг. 6.

сушка в сараях: картон подвешивается в несколько ярусов; по Хойеру, на 50 *кг* картона требуется 1 *м²* площади. 2) Отдельные большие обогреваемые паром сушильные цилиндры (диам. 1,8—2,5 *м*) с сукном или сеткой (фиг. 6). На таких цилиндрах лег-

ко досушивается тонкий картон, поступающий непосредственно с гидравлических прессов; толстый же картон должен быть предварительно подсушен (напр. воздушной сушкой) до содержания ок. 70% сухого вещества. 3) Камерные сушилки периодич. действия с подводом теплого воздуха; сушка производится в течение $2^1/_2$ час. при постепенном повышении $t°$ с 20—35° до 70°. 4) Камерные сушилки постоянного действия (сист. Шильде и др.) представляют собою длинные камеры (каналы), внутри которых движется транспортирующая цепь. Цепь имеет зажимы, на к-рых подвешиваются листы картона. Сушилки устраиваются с одним или двумя параллельными каналами или в два и более этажей. Подвод теплого воздуха, нагреваемого калориферами, производится при помощи вентиляторов. При подаче воздуха осуществляется принцип противотока,



Фиг. 7.

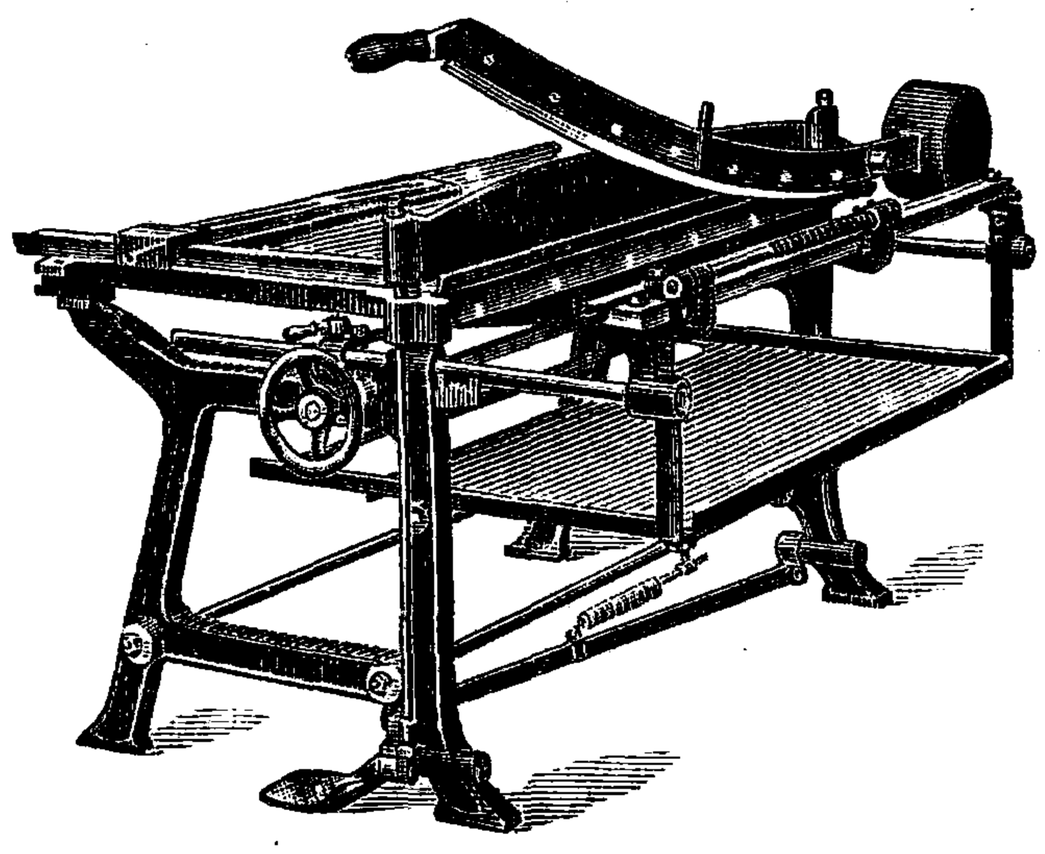
так что максимальная $t°$ в 80° действует только на почти высушенный картон. В новейших сушилках каналы разбиваются на секции с самостоятельной циркуляцией воздуха, что позволяет точно регулировать $t°$ в различных частях сушилки. После сушки картон охлаждается и увлажняется в самой сушилке (фиг. 7, где *A*—место входа сырого картона, *B*—калориферы, *C*—вентиляторы, *N*—выход сухого картона, *S*—место входа охлаждающего воздуха, *M*—сушильная зона, *L*—охладительная зона, *K*—увлажнительная зона). Такие сушилки строят производительностью от 1,5 до 15 *m* в сутки, при длине от 14 до 50 *м* и ширине от 2 до 5 *м*. Термич. кпд такой сушилки составляет 0,72—0,75, а расход пара (4 *atm*)—от 1,5 до 1,8 *m* на 1 *m* картона с влажностью 45—50%. В некоторых системах камерных сушилок транспортирующая цепь заменена движущейся лентой, на которую картон кладется, а не подвешивается.

4. Отделка картона. Картон, вырабатываемый на столовых и круглосеточных машинах, пройдя сушку, непосредственно поступает на глезер для придания лоска (см. *Бумажное производство*). Далее картонное полотно поступает на продольную резку и, в случае выработки ролевого картона, передается на накат, а в случае выработки листового картона поступает на поперечную резку, установленную в конце машины. Т. о., со столовых и круглосеточных машин картон обычно получается в вполне законченном виде, в форме рулонов или листов, и с машин поступает в упаковку. Листовой картон, вырабатываемый на папочных машинах, лощится на отдельных глезерах (или сатинерах), состоящих обычно из двух массивных или полых (для обогрева паром) чугунных валов. Для лощения обычных сортов картона давление на глезерах составляет от 10 до 12 *m*; для более высоких сортов картона применяются более сильные глезеры, с давлением до 100—150 *m*. Сорта картона, требующие высокого глянца (напр. прессовой картон), лощатся при помощи отполированных агатовых камней. Станок для агатового лощения состоит из стола, на к-ром помещается обрабатываемый лист картона, и механизма, приводящего державку с агатом в возвратно-поступательное движение со скоростью ок. 1 *м/мин*. Движущаяся по картону полированная агатовая пластина (шириною 80—100 *мм*) придает листу очень высокий глянец. Когда одна полоса вдоль картона достигла надлежащего лоска, лист передвигают, чтобы отглезировать соседнюю полосу; так поступают до тех пор, пока весь лист не получит одинаково ровного высокого глянца. Работа эта кропотливая и требует большого количества раб. силы; производительность станков мала.

Лит.: Kirchner E., Lehr- u. Handbuch d. Pappenfabrikation, T. 1—2, 2 Aufl., Biberach a/Riss, 1926; Hoyer F., Die Pappenfabrikation, Berlin, 1925; Müller F., Die Papierfabrikation und deren Maschinen, B. 1—2, Biberach a/Riss, 1926—27; Hess W., Die Praxis der Pappenverarbeitung, B. 1, Berlin, 1922.

И. Ковалевский.

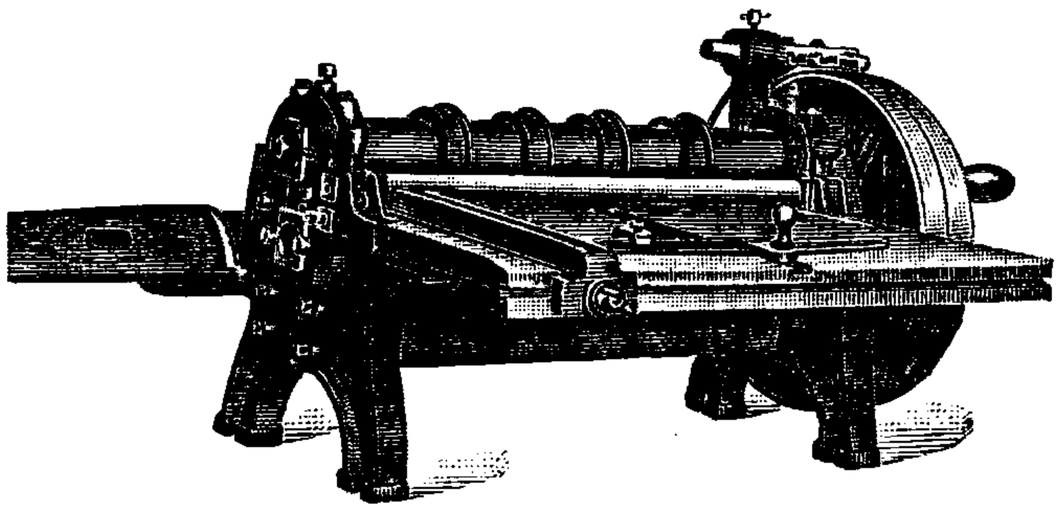
КАРТОНОРЕЗАЛЬНЫЕ МАШИНЫ в полиграфическ. производстве. Разрезка листового картона на нужные форматы при его



Фиг. 1.

обработке в типографском и переплетном деле может производиться как на обыкновенных бумагорезальных машинах тяжелого типа (см. *Бумагорезальная машина*), так и на специальных К. м. Из последних т. н. п а п ш е р ы (Pappenschere) применяются преимущественно в небольших производствах (в крупных же производствах—как вспомогательные машины для подрезки) и состоят (фиг. 1) из чугунного стола, с правой стороны которого находится рычаг с

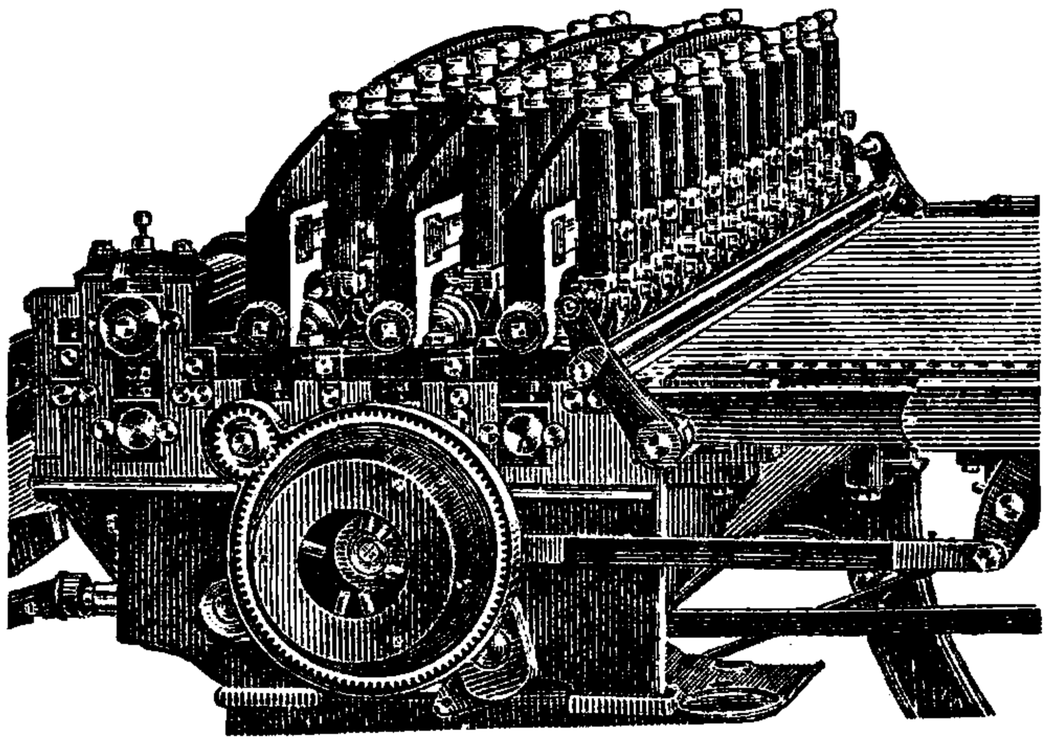
ручкой на одном конце и грузом на другом конце. К рычагу привинчивается слегка изогнутый нож, благодаря чему разрез такого крепкого материала, как картон, производится постепенно, подобно разрезанию ножницами. С левой стороны стола имеется



Фиг. 2.

упор для установки размера обрезаемого картона; кроме того, станок имеет ножной педальный пресс для прижима листа картона во время обрезания. Папшеры бывают разн. размеров—от 50 × 55 *см* до 100 × 140 *см*. Работа на папшерах производится вручную и мало производительна.

В настоящее время, с широким распространением производства однообразной массовой работы, введены в употребление роликовые К. м. (на фиг. 2—простейшая конструкция) с механическим приводом (требуемая мощность—от 0,5 до 1,0 Hp). Такие машины состоят из вращающихся около края стола двух валов с попарно расположенными друг над другом роликовыми ножами,

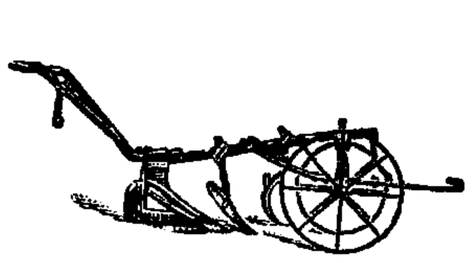


Фиг. 3.

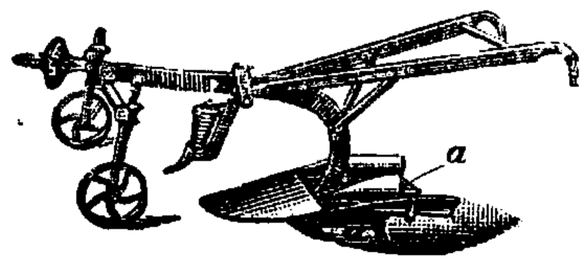
производящими подобно ножницам разрез направляемого к ним по столу листа картона. Ролики м. б. установлены на любом расстоянии друг от друга, для резки картона на полосы любой ширины.

Различные модели машин этого типа применяются преимущественно в *картонажном производстве* (см.). Более сложная модель приведена на фиг. 3. На чугунной балке установлены передвижные аппараты, снабженные роликовыми ножами, к-рым соответствуют помещенные на нижнем валу муфты; последние вместе с роликами разрезают картон подобно ножницам. Тут же м. б. и другие фасонные стальные ролики разных видов, которые производят на картоне неполный надрез, облегчающий последующий сгиб картона, либо одну или несколько складок для той же цели или для украшения изделия; складки эти м. б. лишь заглажены (Blindlinien) или покрыты краской. В общем эта конструкция представляет собою комбинированную, очень сложную универсальную машину, обслуживающую все виды обработки картона. Картон на этих машинах можно резать, по желанию, на очень узкие полосы, при чем перестановка аппаратов механизирована так, что в течение 1 минуты м. б. переставлена на другой размер вся система (до 25 аппаратов). К К. м. могут быть отнесены и небольшие аппараты с ручным или электромоторным приводом ($^1/_9$ — $^1/_2$ Hp) для производства косого среза (фаски) на переплетных крышках при массовых переплетных работах; такой срез можно видеть и на переплете «Технической Энциклопедии». **С. Михайлов.**

КАРТОФЕЛЕКОПАТЕЛИ, машины для выкапывания картофеля. Выборка картофеля часто производится с успехом сохой; но в тех случаях, когда клубни картофеля сидят глубоко и картофель при работе сохой перемешивается с почвой, выборка его

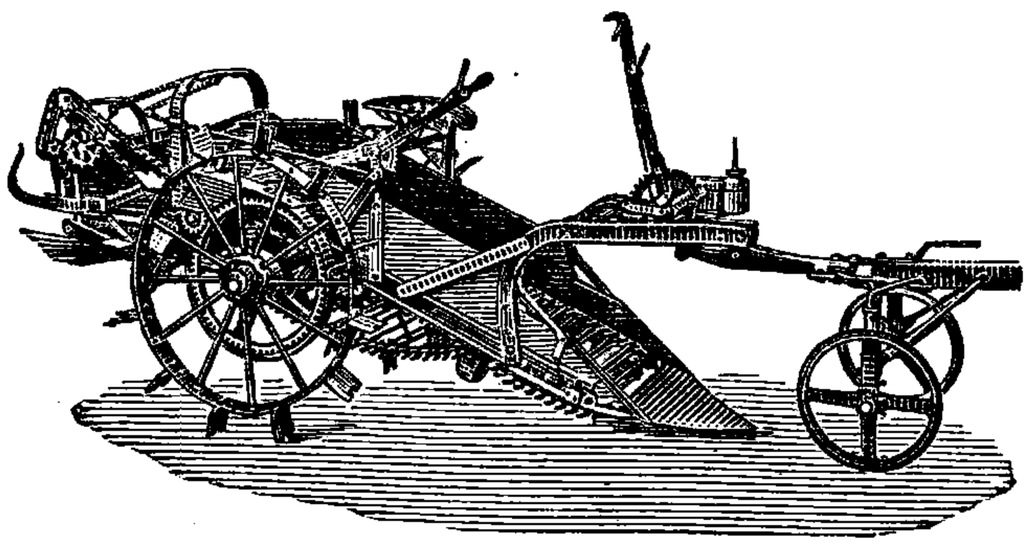


Фиг. 1.



Фиг. 2.

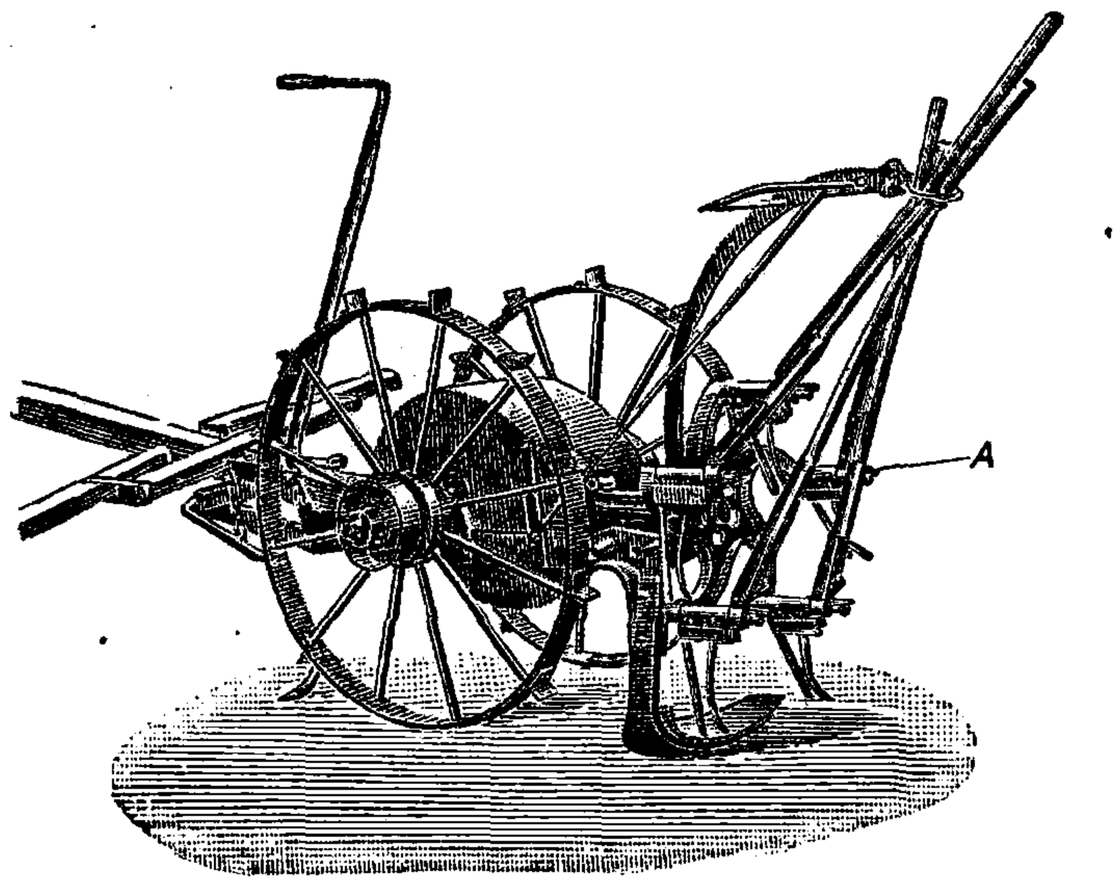
представляет большое затруднение; более успешно работают К. Наиболее просто устроен К., приспособляемый к грядилю плуга Сакка (фиг. 1); он состоит из лемеха и ряда прутьев, на которых задерживаются клубни, земля же осыпается между прутьями вниз; после прохода такого К. главная масса крупных клубней остается на поверхности; прутья К. можно перестанавливать сообразно размерам картофельных клубней. Для лучшего отделения клубней от земли прутья делают подвижными; так, в К. сист. Перлина и Орендорфа (фиг. 2) сзади лемеха, имеющего вид остроконечной лопаты, присоединяется шарнирная решетка *a* из прутьев, приводимая в сотрясение особым колесиком; выступы на колесике, при качении его по дну борозды, производят подбрасывание решетки; впереди лемеха на грядиле К. имеется крючкообразный стержень для отвода ботвы в сторону. Оба эти К. пригодны для рыхлой почвы при неглубокой заделке картофеля; на связной сырой



Фиг. 3.

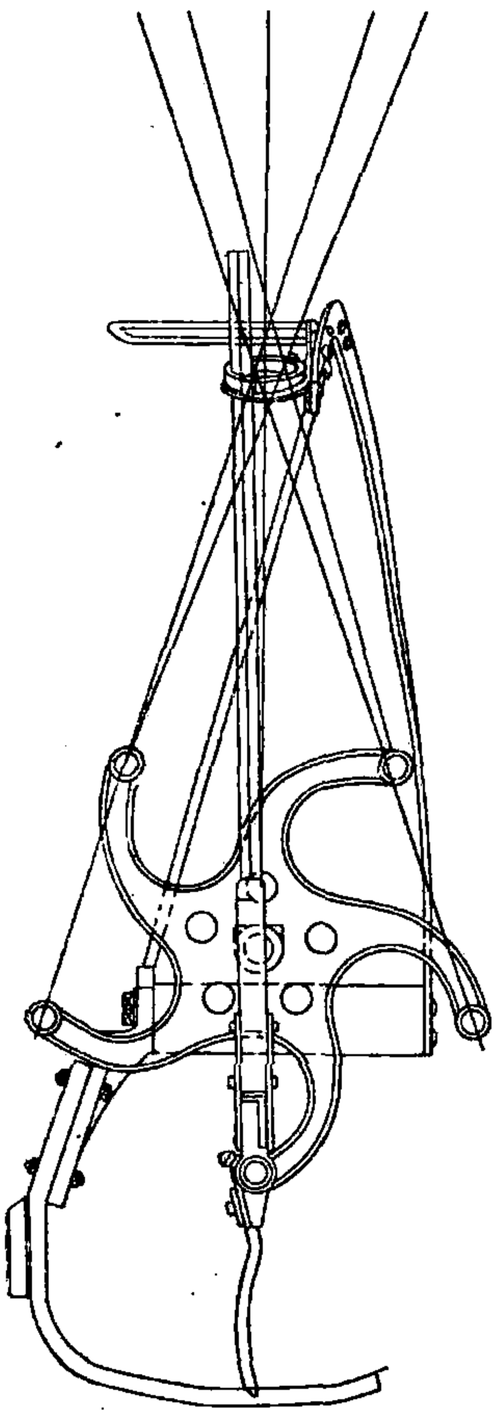
почве выделение ими клубней недостаточно хорошо, и часто пласт земли, соскользнув с прутьев, падает опять на дно борозды. Поэтому появились более сильные и тяжелые К., в к-рых пласт сотрясается особыми

приспособлениями. К. эти могут быть разделены на две группы: элеваторные и швырялки.



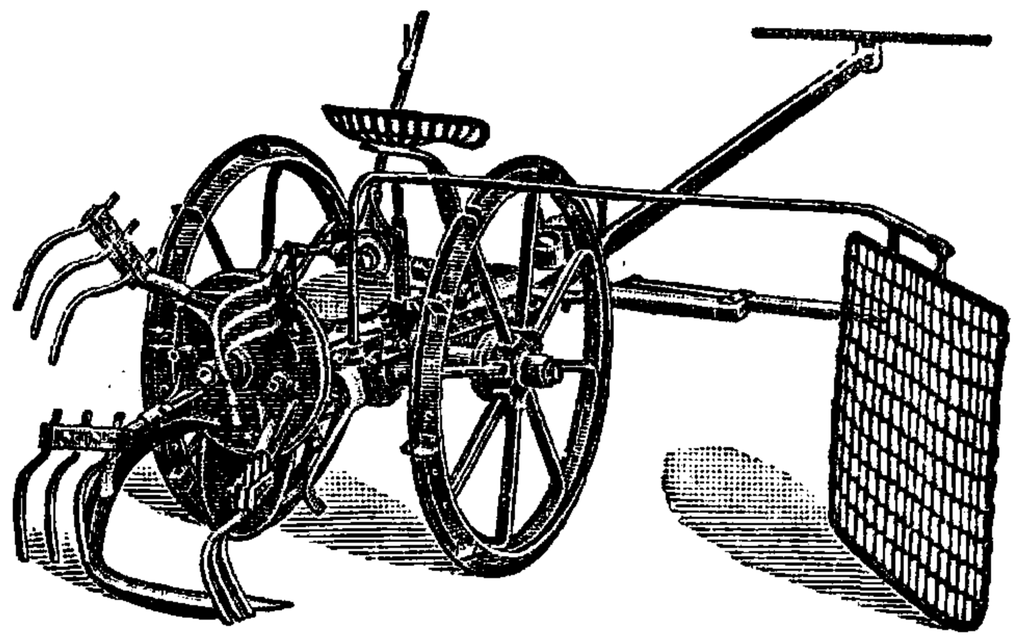
Фиг. 4.

В элеваторных К. имеется бесконечное полотно, состоящее из железных прутьев (фиг. 3); гряда, подрезанная лемехом, поднимается на прутьях полотна кверху; почва в это время проваливается между прутьями, а клубни картофеля постепенно движутся кверху и затем падают сзади машины непосредственно на землю или на расположенную сзади добавочную решетку. К. опирается на два колеса, снабженные выступами-шпорами, которые служат для сцепления с почвой; от ходовых колес при помощи зубчаток передается движение к бесконечному полотну; сцепление и расцепление производятся при помощи особого рычага. Посредством другого рычага лемех устанавливается на бо́льшую или меньшую глубину. Для переездов в поле и обратно на шпоры надевают особый обруч; К. эти снабжают двухколесным передком. Скорость движения полотна делается примерно в 1,5 раза более скорости передвижения машины вперед. Эти К. очень тяжелы и требуют запряжки от 4 до 6 лошадей. В последнее время для уменьшения тяги передвижение полотна элеватора производится при помощи особого двигателя, устанавливаемого на раме К.



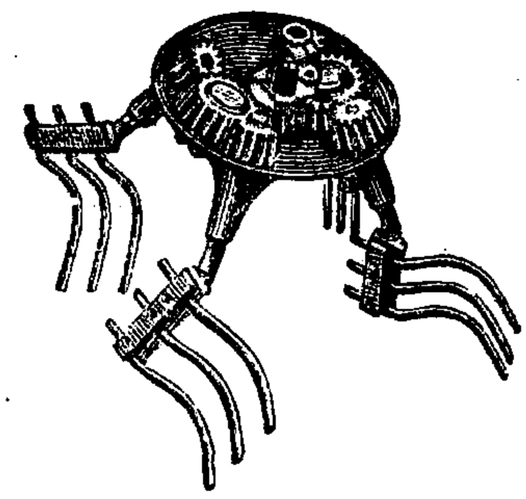
Фиг. 5.

К.-швырялки имеют приспособление, состоящее из ряда вращающихся вилок, при помощи к-рых гряда, подрезанная лемехом, отбрасывается в сторону; земля при этом разбивается, и клубни картофеля, отброшенные в сторону, легко собираются с поверхности почвы; чтобы клубни отбрасывались не очень далеко, у нек-рых К. имеется сбоку решетка, которая задерживает картофель. В К. системы Гардера (фиг. 4 и 5) вилки снабжены деревянными ручками, входящими в кольцо; во время вращения крестовины с вилками ручки скользят в кольце и удерживают вилки в положении почти вертикальном, давая им при вхождении в гряду наклон, противоположный движению (если смотреть сзади машины, то влево); затем вилки, выбрасывая картофель, наклоняются в другую сторону и тотчас же после этого принимают вертикальное положение. Наклон вилок при выбрасывании картофеля д. б. возможно меньшим, иначе картофель отлетает слишком далеко. Скорость движения вилок такова, что они полностью захватывают всю ширину гряды и даже несколько перекрывают (15%) часть гребня, захваченного ходом предыдущей вилки. Передача движения к крестовине, несущей вилки, производится при помощи одной пары конических или двух пар цилиндрических и конических зубчатых колес; для изменения глубины хода лемех



Фиг. 6.

со стойкой можно переставлять в прорезах. Для выключения картофелекопателя лемех поднимают особым рычагом, при чем одновременно выключается сцепная муфта передачи. Недостатком К. сист. Гардера является значительное отбрасывание картофеля, сильное нагревание деревянных ручек и даже обугливание их вследствие трения при движении в кольце. В других К.-швырялках (фиг. 6) вилки делаются без ручек, и свое вертикальное положение при движении они сохраняют помощью особой передачи, состоящей из ряда планетных зубчатых колес (фиг. 7), или же посредством постановки эксцентрика на ось вращения звезды, несущей вилки, и кривошипов на оси вращения вилок (колесо Моргана). В Германии появились картофелекопатели с горизонтально вращающимся колесом из согнутых прутьев. Такое колесо не так сильно разбрасывает клубни, как вертикальное. Кроме колеса в одной из систем К. завода Круппа имеется еще вертикально расположенный барабан, состоящий из прутьев. Линейные скорости движения



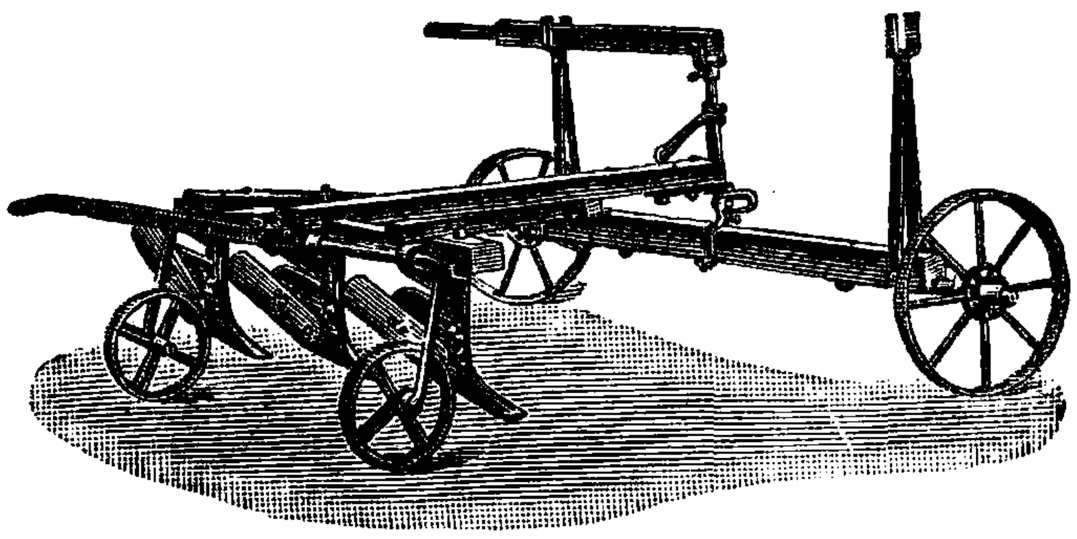
Фиг. 7.

различных элементов поверхности барабана и колеса различны, что способствует лучшему крошению гряды. К.-швырялки запрягаются 3 — 4 лошадьми. Недостаток их заключается в том, что ранения, наносимые клубням ударами, способствуют загниванию картофеля при хранении.

Лит.: Дебу К. И., Орудия и машины для картофельной культуры, СПБ, 1914; Криль Б. А., Новое в области с.-х. машин и орудий, М.—Л., 1929; Вальтер К., С.-х. машины и орудия, пер. с нем., Берлин—Рига, 1923; Schwarzer H., Landmaschinenkunde, 3 Aufl., B., 1927; Fischer G., Die Maschinen für d. Anbau, d. Pflege u. d. Ernte d. Kartoffeln, «Arbeiten der Kartoffelbaugesellschaft», B., 1927, H. 9.

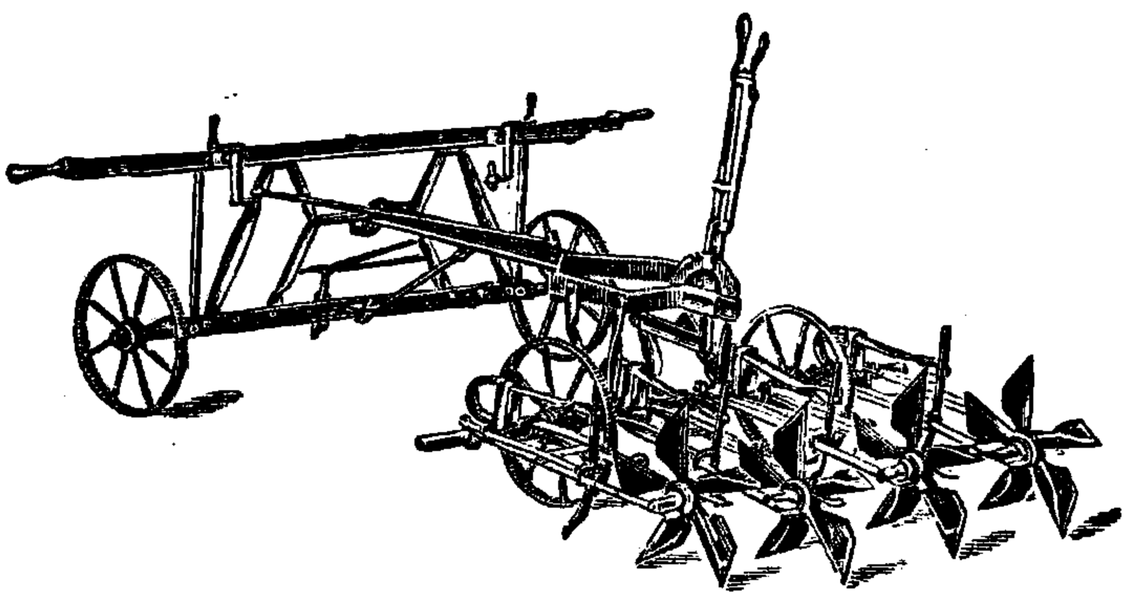
Б. Криль.

КАРТОФЕЛЕСАЖАЛКИ, машины для посадки картофеля. Посадка его до сих пор еще производится в широких размерах ручным способом. Кроме посадки под плуг,



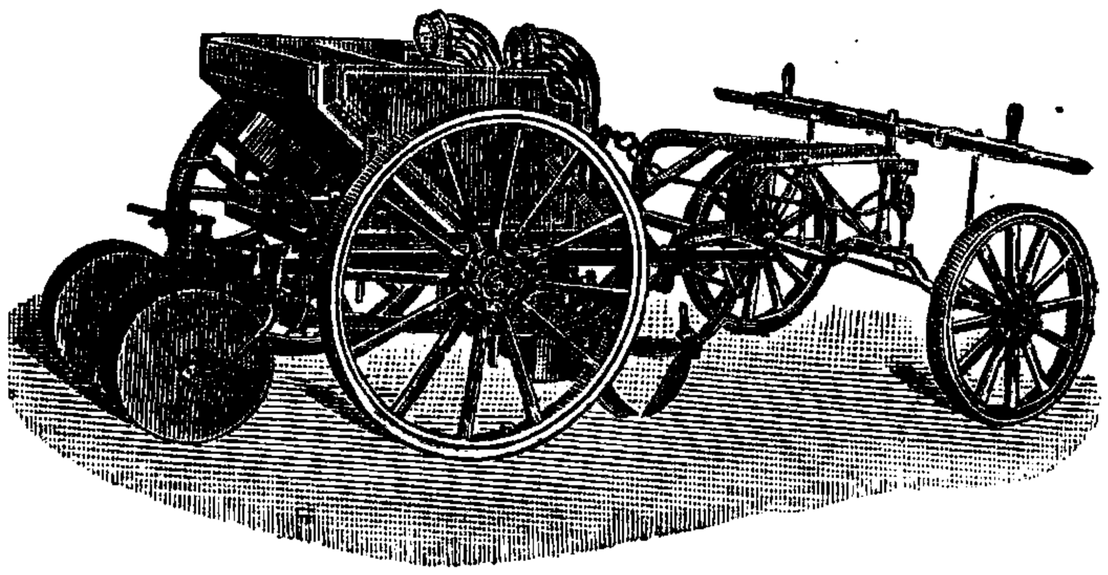
Фиг. 1.

посадка руками производится под маркер (фиг. 1), к-рым проводят по полю ряд взаимно перпендикулярных борозд и в местах их пересечения кладут клубни, заделываемые помощью мотыги или окучника. Есть также особые ручные сажалки, состоящие из стержня, на конце которого прикрепляется воронка, раздвигающаяся внизу на две половины. Клубень кладут в воронку, которую ногой вдавливают в землю, и затем тянут за рукоятку, раздвигающую воронку, вследствие чего клубень падает в ямку. Существуют орудия различной конструкции, делающие на поле ямки на определенном расстоянии друг от друга. Таков ямкокопатель Унтерильпа (фиг. 2), состоящий из расположенных звездой ложек, к-рые при вращении врезаются в почву, делают



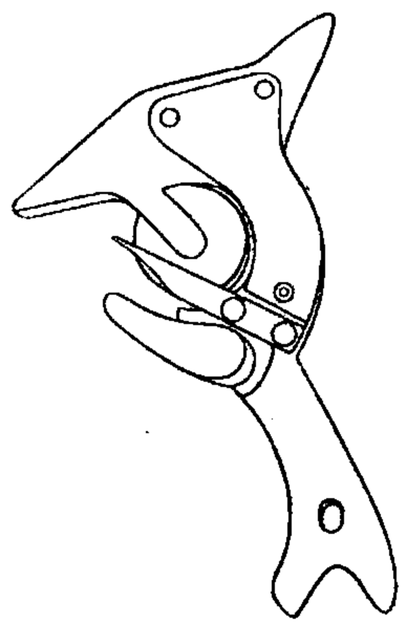
Фиг. 2.

лунку и выбрасывают почву; последняя, частично ссыпаясь обратно в лунку, создает рыхлый слой для клубня. Затем в эти лунки вручную укладывают клубни картофеля, заделываемые окучником или особыми лапками (или дисками, присоединяемыми к основной раме вместо системы ложек). Несовершенство этого орудия состоит в том, что работа раскладки клубней в лунки не механизирована. Очень распространена посадка картофеля в борозду, проводимую и закрываемую плугом, но и тут раскладка клубней производится руками, при чем

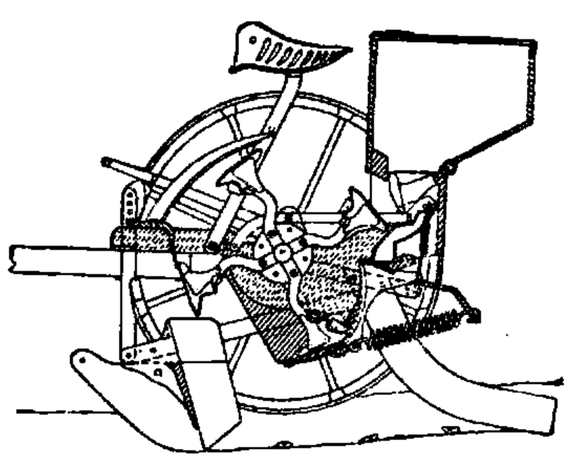


Фиг. 3.

расстояние между клубнями в рядке легко может оказаться неодинаковым. Последний недостаток устраняется у современных К. приспособлением для механич. посадки клубней, присоединяемым к раме двухкорпусного плуга, в котором вместо переднего корпуса ставится сошник с трубкой или одна трубка для закладки картофеля в борозду. Эти машины заделывают картофель одновременно с посадкой, но все же расстояние между кустами картофеля получается не вполне одинаковым вследствие того, что картофель откатывается по дну борозды вперед или в стороны. Из таких К. известны французские и американские; в них подача клубней из



Фиг. 4.



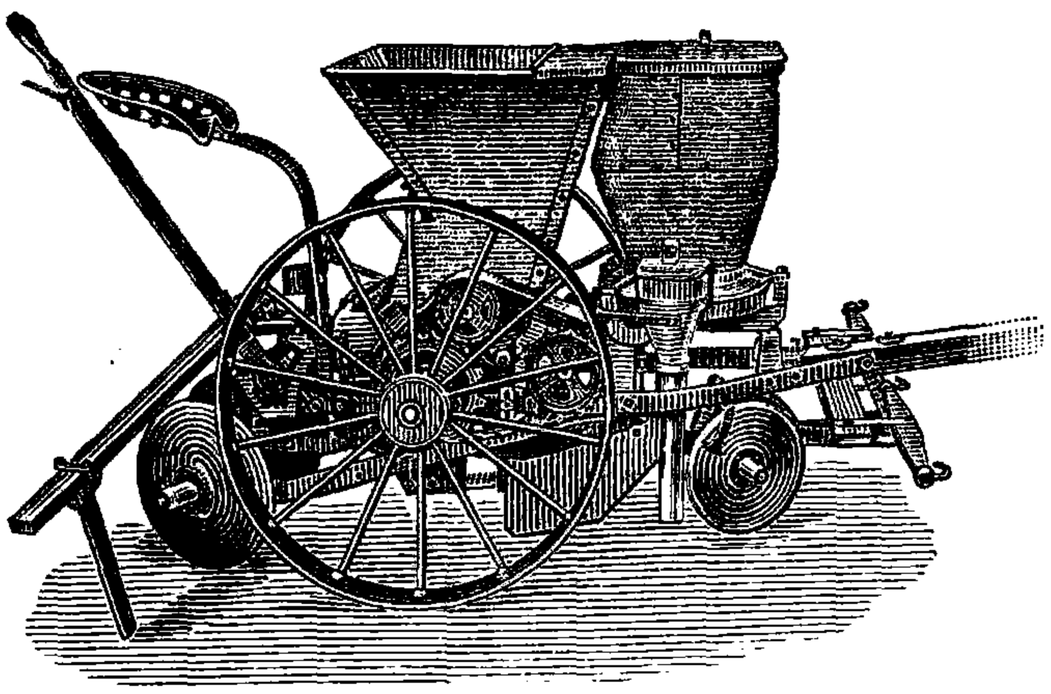
Фиг. 5.

ящика в рукав производится ручным способом рабочим, сидящим на особом сидении около ящика. За последнее время появились К. с механич. подачей картофеля, напр. К. системы Поуха.

Из специальных машин наиболее известна К. сист. Рисслера (фиг. 3) с выбрасывающим аппаратом, состоящим из бесконечной цепи, снабженной ложками; ложки, входя снизу в ящик, наполненный клубнями, захватывают по клубню и направляют их в рукав, по к-рому клубни скатываются вниз и падают в бороздку, проведенную идущим впереди сошником. Бороздка заделывается особыми, идущими сзади лемешками или дисками. К. эта с передком, управляемым рулем, строится для посадки двух рядов сразу. Недостатком системы является то, что ложки иногда захватывают по два клубня, к-рые м. б. смяты при подаче в рукав, или дают пропуски, или при тряске машины сбрасывают клубень не во-время. В других К. подача клубней производится особыми сжимающимися лапками, снабженными для лучшего захвата иглой, накалы-

вающей клубень; такова К. сист. Аспинваля (фиг. 4 и 5). Некоторые К. производят посадку клубней в лунки автоматически; такова машина Лессера с двумя сажальными колесами, снабженными лемешками-лопатками. Картофель здесь движется из ящика по лоткам и проходит через окна в боковинах колес к лопаткам, направляющим его в лунки; сзади идут диски для заделки. Строятся также комбинированные К., одновременно высаживающие клубни и рассеивающие удобрения (фиг. 6).

Недостатком всех К. является их малая производительность—около 2 *га* в день, а также неравномерность посадки, дающая



Фиг. 6.

иногда настолько значительный процент пропусков, что применение К. может оказаться экономически мало выгодным. **Б. Криль.**

Лит.: см. *Картофелекопатели.*

КАРТОФЕЛЬ, Solanum tuberosum L., растение из семейства пасленовых (Solanaceae), возделываемое ради подземных клубней, служащих пищевым и кормовым продуктом и промышленным сырьем.

С ботанической точки зрения К.—травянистый куст с прерванно-непарноперистыми листьями, покрытый короткими волосками. Цветы К. правильные, пятерные, обоеполые, с зеленой чашечкой, остающейся при плоде, белым или б. или м. окрашенным венчиком и верхней завязью, образующей двухгнездную зеленоватую ягоду, иногда с фиолетовым оттенком; в ягоде находятся мелкие семена. Под землей куст К. помимо корней образует видоизмененные стеблевые побеги (столоны) с утолщениями—клубнями, на к-рых по спирали расположены глазки (почки)—зародыши будущих растений.

Химический состав клубней К. в значительной мере зависит от сорта К. и условий, в к-рых он развивался. В среднем клубни К. содержат: воды 75% и сухого вещества 25% (в том числе безазотных экстрактивных веществ 20,6%, белковых веществ 2,1%, клетчатки 1,1%, жиров 0,3%, зольных веществ 0,95%). Безазотные экстрактивные вещества содержат 90% крахмала и в ничтожном количестве—пентозаны и сахаристые вещества. В числе азотсодержащих веществ К. содержит ядовитый глюкозид—соланин: в клубнях его обычно 0,00005—0,00001%, в ботве несколько больше; при прорастании клубней содержание соланина возрастает (до 0,00005%), вследствие чего употребление в пищу такого проросшего картофеля может быть вредным.

По своему отношению к климату и почве К. мало прихотлив; его культура охватывает области с самыми различными природными условиями, начиная от 70° с. ш. Плохо удается К. в районах с большим количеством осадков, т. к. избыточная влажность почвы благоприятствует развитию грибных болезней К. В среднем для К. необходимы суммы темп-р 1 300—3 000°, для начала его развития нужна $t°$ по крайней мере 7—9°. Во влаге К. нуждается значительно меньше, чем зерновые хлеба; это связано с редким стоянием его и поэтому небольшой испаряющей (листовой) поверхностью на единицу площади. К. предпочитает почвы рыхлые с высокой аэрацией; он хорошо удается на супесях и легких суглинках, хуже—на тяжелых глинистых почвах. На песчаных почвах К. удается только при достаточном удобрении.

Потребность К. в питательных веществах выше, чем у зерновых хлебов; в 20 *m* урожая К. уносит из почвы (в *кг*): N—106, P_2O_5—40, K_2O—171, CaO—63, MgO—40. В то же время К. обладает хорошей усваивающей способностью корней и легче других растений использует запас питательных веществ из почвы. К реакции почвы К. мало чувствителен; он предпочитает чуть кислую или нейтральную реакцию, но сравнительно легко переносит нек-рое подкисление, хуже—подщелачивание почвы (легко поражается картофельной «паршой»).

Сорта К. группируют обычно по их назначению (столовые, кормовые и технические) и по продолжительности их вегетации (ранние, средние и поздние). От столовых сортов требуется хорошая разваримость, приятный вкус, тонкая кожура и пр., от кормовых—высокая урожайность и средняя крахмалистость, от технических—высокая крахмалистость и низкое содержание азотных веществ и сахаров. Продолжительность вегетации у ранних сортов колеблется от $1^1/_2$ до 3 мес., у средних—от 3 до $4^1/_2$ мес., у поздних—от $4^1/_2$ до 6 мес. При построении сортовой классификации К. систематич. признаками служат форма и размер клубней, окраска кожуры, мякоти, ростков и венчика. По окраске различают группы сортов К., указанные в табл. 1. К. отличается большим разнообразием сортов; их насчитывается несколько тысяч. Для различных районов СССР наиболее урожайными являются следующие сорта: столовые—Эпикур лучше удается в нечерноземной полосе (начиная с Мурмана) и на тяжелых почвах, Ранний розовый—в черноземной полосе и на более легких почвах, Зныч (З. и С.-З.), Снежинка (С.-В., Татреспублика); из кормовых (у нас используются и как столовые)—Крюгер (кроме крайнего С. и Ю.), Роза и Милета, Император, Смысловский, Народный (средняя полоса), Пирожок (УССР); из технических—Вольтман (на более тяжелых почвах), Силезия (на более легких почвах), Саксония, Меркер. Наиболее высокие урожаи К. получаются в Западной области, Московской и Иваново-Вознесенской промышленных областях и Центрально-Черноземной области. Продолжительность вегетации К.

Табл. 1.—Сорта картофеля по окраске венчика, ростков и клубней.

Венчик	Ростки	Клубни	Названия сортов
Белый	Неокрашенные или красноватые	Желтые	Желтая скороспелка, Снежинка, Царская корона, Гавронек, Княжеская корона и др.
То же	То же	Слабо окрашенные (телесн. цвета, розовые, пестрые)	Ранний розовый, Поздний розовый, Вермонт, Белый слон, Кестерницер, Алкоголь, Эпикур и др.
То же	То же	Красные	—
То же	Синие	Желтые	—
То же	То же	Синие	—
Красно-фиолетовый	Красные	Желтые	Силезия, Топаз. Свитезь, Зныч, Магнум бонум, Крюгер, Аза и др.
То же	То же	Красные (реже пестрые)	Вольтман, Дабер, Саксонская луковица, Бисмарк, Грация, Персиковый цвет и др.
Сине-фиолетовый	Синие	Желтые	Император, Меркер, Чемпион, Виктория и др.
То же	То же	Синие	—
Синий	То же	Желтые	—
То же	То же	Синие	Синий великан

возрастает к З. и сокращается к Ю., С. и В.; крахмалистость понижается к С. и возрастает к Ю.

Обработка почвы под К. заключается в достаточно глубокой (20 *см*) вспашке (лучше осенней). Желательно разрыхление дна борозды почвоуглубителем. Посадка картофеля в различн. климатических условиях проводится различно. В районах, где мало тепла и много влаги, поверхность поля после посадки К. должна оставаться волнистой в целях наибольшего поглощения тепловых лучей. Поэтому здесь посадка Картофеля производится под соху или под окучник; борозды наносятся маркером. В районах, где осадков мало, но много тепла, напротив, стремятся создать ровную поверхность поля; поэтому здесь посадка будет лучше под плуг или лопату. Для посадки картофеля пользуются также *картофелесажалками* (см.). В случае появления корки на поле его боронуют, чтобы облегчить появление всходов К. Дальнейший уход за К. заключается в его мотыжении, полке и окучивании. В огородной культуре иногда применяют особые способы посадки К. в целях повышения урожайности каждого отдельного куста путем стимулирования развития столонов (способы Михайлова, Гюлиха, Пинто, Бейера и др.).

Из удобрений наиболее часто вносят под картофель навоз (лучше с осени), но нужно иметь в виду, что соотношение между количествами N, с одной стороны, и К и Р, с другой, в навозе несколько иное, чем требуется для К. (в навозе относительно больше азота); поэтому к навозу полезно дополнительно вносить фосфорнокислые и калийные удобрения, чтобы избежать влияния одностороннего азотного питания, вызывающего буйный рост ботвы, понижение крахмалистости и склонность к грибным заболеваниям. Удобрение фосфором уничтожает эти явления. Из фосфорнокислых удобрений можно применять суперфосфат, костяную муку, томасшлак, а где позволяют почвенные условия, фосфоритовую муку. При выборе калийных удобрений надо иметь в виду, что хлориды неблагоприятно влияют на накопление крахмала; поэтому лучшим источником калия для К. является зола, а из калийных солей—высокопроцентные очищенные соли (30 и 40%), а не каинит.

При недостатке навоза встает вопрос и об азотном удобрении. Хорошей заменой навоза является зеленое *удобрение* (см.), к-рое на песчаных почвах действует часто лучше навоза. Из минеральных азотных удобрений лучше других действует на К. сернокислый аммоний. Известкование под К. не применяется, т. к. часто вызывает поражение К. паршой; в виду этого в севообороте рекомендуется вносить известь дальше от К.

Место К. в севообороте чаще всего после озимого, идущего по удобренному пару. Если К. отодвигается дальше от удобренного пара, необходимо дополнительное внесение удобрений непосредственно под него (в интенсивных хозяйствах это делается при любом положении К. в севообороте). После К. поле остается чистым от сорных трав, в виду чего К.—хороший предшественник для яровых. Возможно помещение К. первым растением по навозу в качестве предшественника озимых (картофельный пар). Для этой цели пригодны только ранние сорта К. Убираемый на пару ранее обычного К. плохо переносит хранение и д. б. использован немедленно. Картофельные пары применяются гл. обр. в пригородных культурах.

В огородной культуре пользуются обычно столовыми сортами К., при чем практикуется как грунтовая, так и парниковая культура его. Вследствие более тщательной обработки почвы, лучшего удобрения и ухода, К. на огороде обычно дает более высокие урожаи, чем в поле, и часто включается в огородный плодосмен.

Уборка К. производится или вручную (вилами) или при помощи сохи, плуга, *картофелекопателя* (см.).

Из болезней К. наиболее распространена картофельная гниль—поражение ботвы и клубней К. грибком Phytophtora infestans D. B. От этой болезни ботва К. вянет, сохнет, вследствие чего понижается урожай клубней. Зараженные клубни при хранении загнивают. Гибель К. в поле и при хранении от этой болезни в нек-рых районах доходит до 60%. Меры борьбы: подбор сортов, устойчивых против болезни (Вольтман, Всегда хороший, Эпикур и др.), опрыскивание ботвы К. бордоской жидкостью и другими фунгисидами, отделение при уборке ботвы

от клубней, которые часто заражаются от ботвы, правильное хранение К., плодосмен, посадка здорового посадочного материала, окучивание и т. п. Другие грибные болезни К.: белая гниль (Fusarium solani Sacc.), ризоктония (Rhizoctonia solani K.), парша (вызывается разными грибками), серебристый блеск (Spondylocladium atrovirens Hartz.), рак (Synchitrium endobioticum), а также некоторые бактериальные болезни, имеют меньшее значение. Против некоторых из них применяется протравливание посадочного материала раствором формалина (реже сулемы). За последние годы большое развитие получили т. н. «болезни вырождения» К., проявляющиеся в скручивании и курчавости листьев, веретеновидности клубней, появлении мозаичности, ведьминых метел и пр. Болезни эти передаются по наследству, при чем причины их пока недостаточно выяснены. Меры борьбы: удаление больных кустов, подбор устойчивых сортов и др.

Вред, причиняемый животными-вредителями К., сравнительно невелик. Из вредителей следует указать на колорадского жука, сильно обгрызающего ботву К., и личинок хруща и щелкуна (проволочный червь), грызущих клубни К.

Хранится К. в амбарах, подвалах, ямах или в больших кучах, прикрываемых сверху землей, листьями и проч. При этом необходимо: 1) поддержание $t°$ в пределах 2—6°; 2) свободный доступ воздуха, 3) сухость помещения. При понижении $t°$ ниже указанной (при +0,5° и ниже) К. приобретает сладковатый вкус вследствие перехода части крахмала в сахар. При дальнейшем понижении $t°$ К. замерзает и теряет жизнеспособность, а *после оттаивания легко* загнивает. При повышении $t°$ и влажности в клубнях К. усиливаются биологич. процессы, вызывающие значительные потери в общем весе и в крахмале К. Табл. 2 показывает потери К., по Ноббе, за 6 мес.

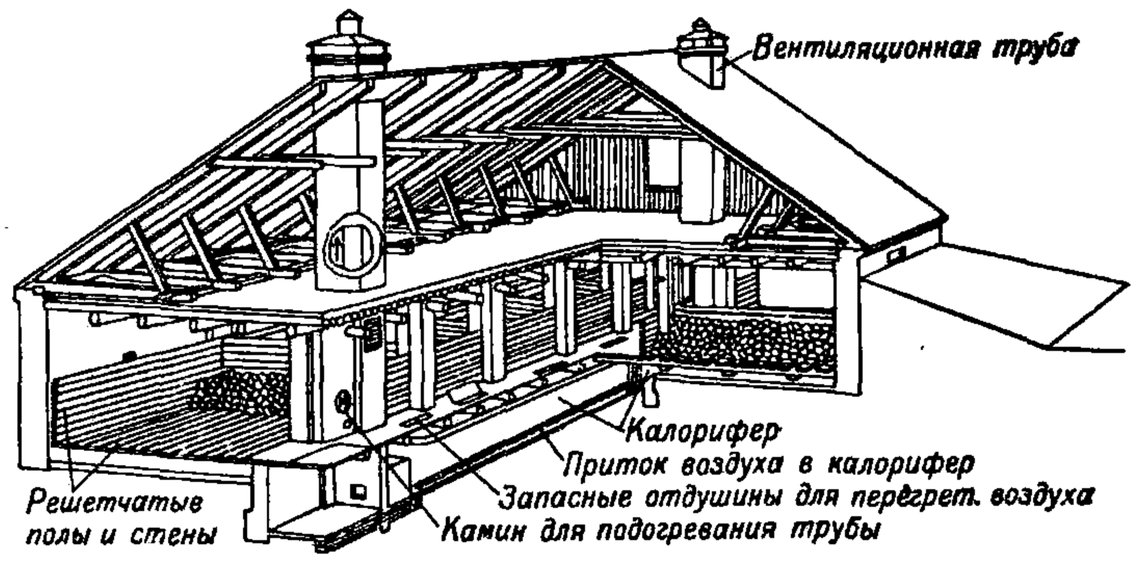
Табл. 2.—Потери картофеля в % при хранении в течение 6 мес.

Потери	Помещение	Температура	
		10—16°	22—25°
В общем весе	Сухое	34,1	57,3
» » »	Сырое	20,2	57,7
В крахмале	Сухое	13,0	41,0
» »	Сырое	35,0	49,2

Для притока воздуха к К. при хранении устраивают вентиляционные приспособления. Подвал или амбар д. б. хорошо изолирован засыпкой землей и пр.; часто в нем устраивается отопление. Схема картофелехранилища показана на фиг. 1. Хранение К. в ямах дешевле, чем в специально устроенных помещениях, но возможно только при достаточно сухом грунте; в нечерноземной полосе оно мало надежно.

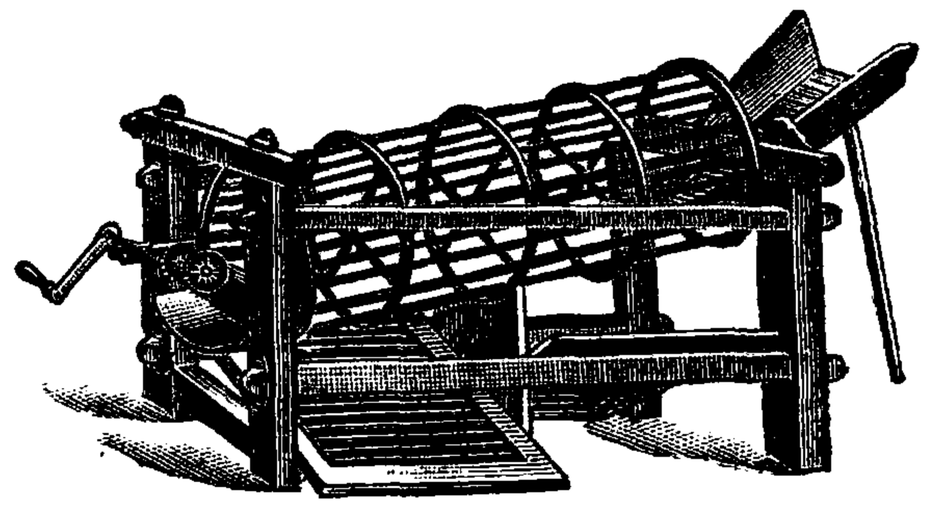
Сортирование К. и очистка его от земли производятся или вручную или на особых сортировках, рабочей частью, которых являются цилиндрич. или плоские решета из металлич. прутьев или деревянных брусьев, расположенных на различных расстояниях друг от друга (расстояния увеличиваются к одному концу). На фиг. 2 показана сортировка А. Гродзкого, на фиг. 3—сортировка Шорса. Отмывка К. производится в особых моечных аппаратах.

Определение крахмала в К. производится на основе прямой зависимости



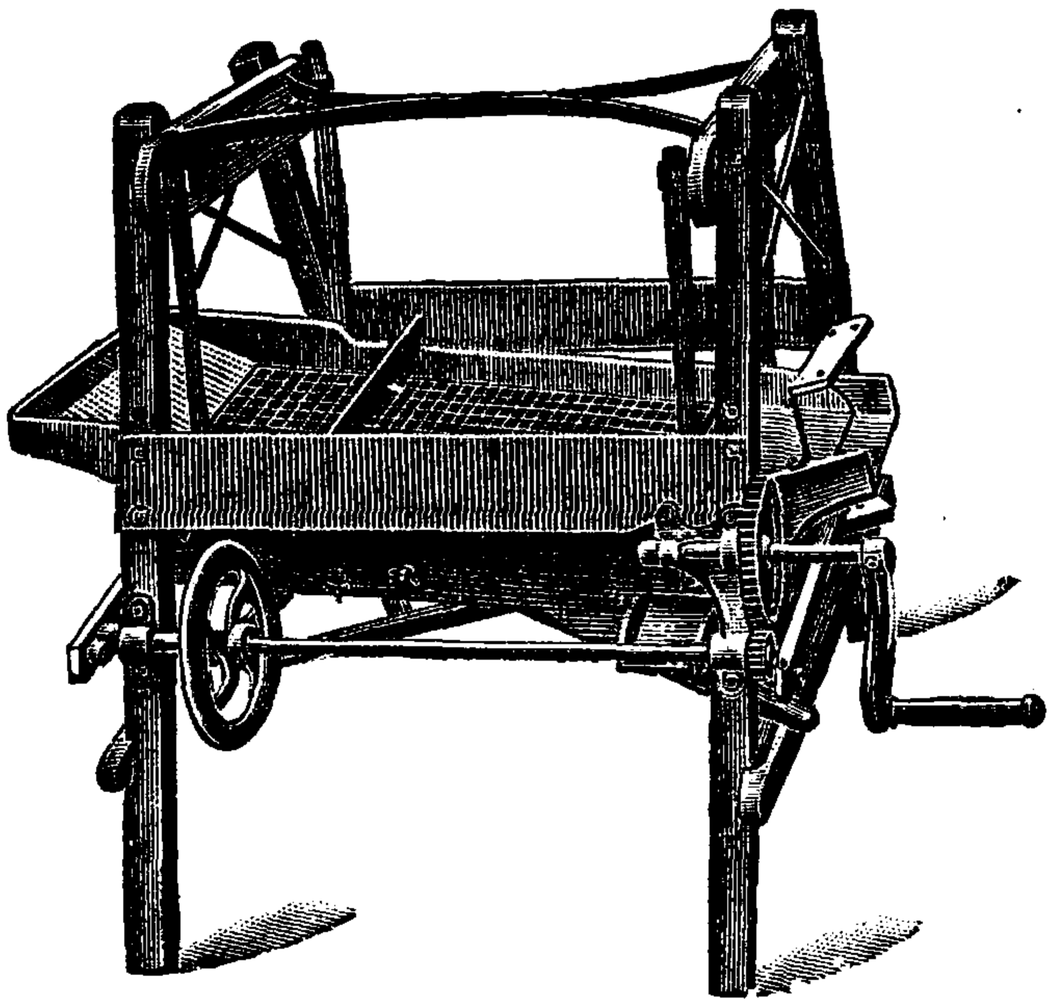
Фиг. 1.

между уд. весом и содержанием крахмала в К. Поэтому, чтобы установить содержание крахмала в К., достаточно определить его уд. в. Это определение делается путем погружения четного числа клубней К. в раствор поваренной соли, при чем концентрация последнего подбирается так, чтобы



Фиг. 2.

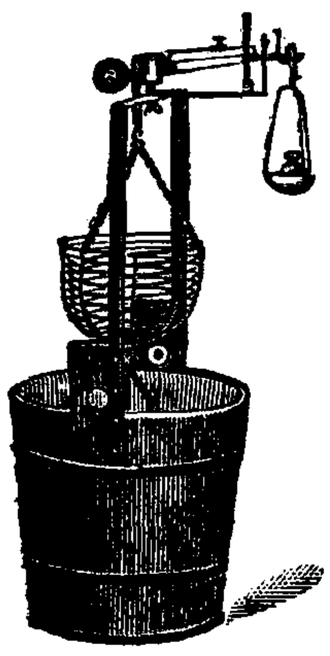
половина клубней всплывала, а другая половина тонула; уд. вес такого раствора, определяемый обыкновенным ареометром, и будет равен уд. весу К. Пересчет на крахмал производится по особым таблицам. Существуют также специальные картофельные



Фиг. 3.

весы Гейде, представляющие собою ареометр с латунным поплавком и корзиной, в которую кладут 5 *кг* клубней К. Весь прибор погружается в воду, и ареометр дает прямой

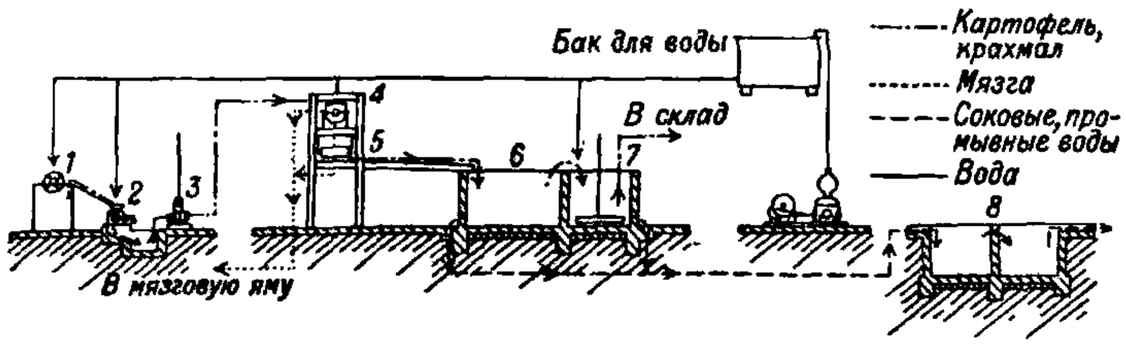
отсчет крахмала. Чаще всего пользуются весами Реймана (фиг. 4); это десятичные весы, на одном плече коромысла к-рых подвешены одна под другой две проволочные корзины. Сначала отвешивают 10 *кг* в верхней корзине, а затем клубни перекладывают в нижнюю корзину, погруженную в сосуд с водой. По разности в весе определяется удельный вес К. В весах Парова отвешивание К. производится передвижным грузом без разновесов.



Фиг. 4.

Используется К. самым разнообразным образом. Он является одним из основных продуктов питания человека и в то же время хорошим кормом для скота. Неудобство перевозки, особенно на дальние расстояния, и высокие потери при хранении заставляют прибегать к сушке К. (огневой или паровой). При огневой сушке клубни очищают и режут мелкими кусками, к-рые и сушатся на ситах (см. *Сушка* плодов и овощей); при паровой сушке К. разваривают и очищают от кожуры, после чего он в виде мязги поступает на вальцы, обогреваемые изнутри горячим паром. После высыхания слой К. соскабливают с вальцов и затем или измельчают на мелкие куски, хлопья К., или размалывают на картофельную муку. Сушеный К. используется с успехом и как пищевой и как кормовой продукт; он весит в 4 раза меньше, чем несушеный К. и не испытывает потерь при хранении.

При переработке К. на з-дах из него получают ряд продуктов: крахмал, патоку, декстрин, спирт и др. Производство крахмала (схема на фиг. 5) состоит из



Фиг. 5.

ряда отдельных процессов. Сначала К. моется (*1*), затем растирается в мязгу (*2*), поступающую на сита (*4*, *5*), иногда при помощи особого насоса (*3*). На ситах мязга К. промывается водой, вымывающей из нее крахмал. Взвешенный в воде крахмал отстаивается в особых чанах (*6* и *7*), снабженных мешалками. После спуска воды крахмал извлекается и поступает в сушку. Для получения более чистого крахмала его очищают на особых центрифугах. Получаемые при производстве крахмала отбросы (мязга и отстойная вода) м. б. использованы: мязга—на корм скоту непосредственно или в силосованном виде; отстойная вода—на удобрение; при этом ее часто еще раз пропускают через чаны (*8*) для отстаивания остатков крахмала. Самый крахмал поступает в продажу или в виде мелких кусков или размолотый на муку. Используется крахмал как пищевой продукт, а также для варки клейстера и других технич. производств. К крахмальным заводам часто присоединяют установки для дальнейшей переработки крахмала: 1) на *декстрин* (см.)—термическим способом (действием высоких $t°$), обычно применяемым в СССР, или химическим (действием к-т); 2) на *патоку* (см.)—осахариванием крахмала нагретой разведенной серной кислотой; 3) на искусственное саго—путем протирки крахмала через сито, прокатывания полученного материала в роликовом барабане, сортирования его, запаривания и сушки. Такая саговая крупа готовится у нас гл. обр. в Ярославск. округе.

Помимо крахмального производства, К. используется также для *винокурения* (см.). Получаемый при винокурении отброс—барда — используется как кормовое средство. В СССР переработка К. производится в большом количестве на кооперативных з-дах, к-рые играют большую роль в индустриализации сельского хозяйства.

Картофельная кооперация объединяет у нас мелких производителей К. по линии как сбыта, так и переработки К. Низовые ячейки картофельной кооперации имеют свой центр—Союзкартофель (организован в 1922 г.). О росте этой организации можно судить по следующим цифрам:

	1922 г.	1928 г.
Низовые товарищества . . .	56	125
Объединяемые ими члены .	17 тыс.	65 тыс.
Заводы для выработки крахмала, патоки и пр.	35	246
Винокуренные з-ды	—	18

С 1927 г. Союзкартофель производит экспорт своих продуктов за границу.

Мировой сбор К. (среднее за 1926—28 гг.) превышает 160 млн. *т*, при чем свыше 90% этого количества приходится на Европу. Приводим данные о валовом сборе К. в различных странах (1927 г.) в млн. *т*:

СССР (европ. и азиатской части) . .	50,1	Бельгия	3,0
Германия	38,0	Голландия	2,4
Польша	30,4	Австрия	2,3
Франция	17,1	Канада	2,2
С. Ш. А.	10,9	Италия	1,9
Чехо-Словакия . .	7,7	Венгрия	1,8
Испания	3,5	Швеция	1,3
Англия	3,1	Япония	1,0

Урожайность картофеля в различных странах видна из табл. 3.

Табл. 3.—Средняя урожайность картофеля за 1924—27 гг.

Страны	Урожай в *ц* с *га*	Страны	Урожай в *ц* с *га*
Бельгия	185,3	Литва	98,0
Голландия	167,5	Япония	97,4
Норвегия	160,8	Испания	96,6
Англия	144,3	СССР (азиатская часть)	89,7
Н. Зеландия . .	142,7	Румыния	89,4
Швейцария . . .	138,6	СССР (европейск. часть)	83,0
Германия	131,2	С. Ш. А.	77,0
Дания	127,5	Венгрия	74,2
Польша	117,5	Аргентина	66,4
Чили	108,0	Италия	59,9
Эстония	106,7	Австралия	58,8
Швеция	104,8	Корея	56,8
Чехо-Словакия .	104,7	Югославия . . .	47,5
Австрия	104,4	Болгария	45,5
Финляндия . . .	103,7	Алжир	38,2
Латвия	100,2	Тунис	36,6
Канада	98,5		
Франция	98,4		

К. используется гл. обр. в тех странах, где он производится; в международной торговле он в непереработанном виде занимает ничтожное место. Доходность К. с единицы площади выше, чем для зерновых культур; поэтому площадь под К. с интенсификацией хозяйства обычно возрастает.

Лит.: Прянишников Н. Д., Частное земледелие. Растения полевой культуры, 7 изд., М.—Л., 1929; Будрин Б. В., Частное земледелие, ч. 2—Полеводство, 2 изд., М.—Л., 1928; Рытов М., Частное огородничество, М., 1927; Товароведение, под ред. П. Петрова и Ф. Церевитинова, т. 4, М.—Л., 1929; Богданов С. М., Возделывание картофеля, СПБ, 1903; Вернер Г., Культура картофеля, пер. с нем., М., 1913; Краинский С. В., Огородная культура картофеля, М., 1924; Харченко В. А., Картофель, М., 1919; Лорх А. Г. и Мирзоев Г. М., Картофель в нечерноземной полосе, М.—Л., 1925; Лорх А. Г., Улучшение картофеля, Москва, 1924; его же, Выбор сортов картофеля, М., 1923; Букасов Д., Сорта картофеля и их классификация, «Труды по прикладной ботанике», П., 1923, т. 13; его же, Картофель (сортоведение и селекция), там же, 1925, т. 15; Чаянов А. В., Экономические основы культуры картофеля, «Труды Высшего семинария с.-х. экономии и политики при Петровской с.-х. академии», М., 1921, вып. 4; Кулжинский С., Как быстро размножить новые сорта картофеля, «Труды Носовской сел.-хоз. опытной станции», Киев, 1924, вып. 39; Пушкарев Н. И., Определение крахмала в картофеле по удельн. весу, Ростов н/Д., 1925; Буров С. и Яцынина К., Болезни картофеля, М.—Л., 1927; Ячевский А. А., Болезни вырождения картофеля, М.—Л., 1928; Аппель О., О хранении картофеля, Казань, 1909; Паров Е., Сушка картофеля, Петроград, 1923; Бобков П. К., Производство картофельного крахмала. М., 1925; Мерекалов А. Ф., Картофельная кооперация, Москва, 1929; Girard A., Recherches sur la culture de la pomme de terre industrielle et fouragère, Paris, 1900; Hitier, Plantes sarclées, Paris, 1915; Appel O., Pflanzkartoffel, Landwirtschaftliche Hefte, hrsg. v. L. Kiessling, H. 35, 2 Aufl., B., 1924; Kemy Th., Kartoffelbau, 2 Aufl., B., 1928; Mottet, La pomme de terre, P., 1920; Appel O., Kartoffelkrankheiten, Pareys Taschenatlanten, Berlin, 1924; Opitz K., Der Kartoffelbau, Handbuch d. Landwirtschaft, hrsg. v. F. Aereboe, J. Hansen, Th. Roemer, B. 3, Berlin, 1928; «The Potato News», Wsh.; «Die Kartoffel», B.

Н. Соколов.

КАРТОЧНАЯ СИСТЕМА. Под К. с. регистрации и учета в практике понимается обычно регистрация или описание предметов, лиц и различных фактов на нескрепленных между собой таблицах-карточках.

Прообразом карточки следует считать глиняные таблицы вавилонян, бронзовые и деревянные навощенные дощечки древних греков и римлян, применявших эти дощечки для целей учета и контроля. Навощенные деревянные дощечки употреблялись на некоторых существовавших с древних времен промыслах (солеварни в Галле) до 18 в. В конце 18 в. аббат Розье предложил вести на карточках библиотечные каталоги. Позднее другие авторы рекомендовали применение карточек в разных областях управления: например, в 1839 году Кине предложил применять К. с. в счетоводстве. Основоположником карточки новой формы был американец Ф. Макей, взявший на нее патент в Германии в 1899 году. Карточки в виду присущих им удобств постепенно внедрялись в практику администрирования и учета. В начале 20 в. карточки получили широкое распространение в деловой жизни предприятий всех стран.

Наиболее употребительны карточки двух родов: разделительные (указатели) и регистрационные. Обычно картотека, как совокупность однородных карточек, имеет карточки обоих указанных видов: необходимые записи производятся на карточках регистрационных, а карточки-указатели разделяют картотеку на ряд необходимых разделов. Типичным представителем картотеки с преобладанием карточек-указателей является ящик или картотека сроков. Картотека сроков представляет собою небольшой ящик, в к-ром помещены лишь карточки-разделители с обозначением на особых выступах чисел месяца от 1 до 31 и названиями месяцев—январь, февраль и т. д. Иногда открывают специальное отделение с названиями дней недели. На всех указанных карточках записей не делается: они служат для образования отделений, в к-рые откладываются регистрационные карточки, справки или деловые письма. Каждая регистрационная карточка или справка поступает в то или другое отделение в зависимости от срока, в к-рый следует иметь наблюдение за записанным в ней явлением. В необходимые сроки или по мере надобности просмотром соответствующего отделения легко определяются назначенные к исполнению на данный срок дела. Наблюдение за одним и тем же явлением посредством подобного устройства получило название системы преследования. В условиях частнохозяйственной конкуренции, где немаловажную роль в сбыте имеет реклама, систематич. преследование покупателя предложениями и напоминаниями о них посредством указанной системы оказалось весьма удобным. Не менее удобна подобная система для всех лиц, имеющих надобность всегда знать, в какое время и что нужно сделать, кому и о чем напомнить, о чем распорядиться. Примерно такое же устройство с расположением карточек-указателей по другим различным признакам можно организовать для постоянной систематизации того или другого материала.

Карточки регистрационные употребляются для различных целей технического, оперативного и бухгалтерского учета. По содержанию, к-рое предположено вносить в карточки, они разделяются на сложные (групповые) и простые или индивидуальные, регистрирующие лишь одно явление или один предмет. Наибольшей гибкостью при систематизации обладает последняя карточка, но первая компактнее и удобнее в некоторых других отношениях.

По форме карточки бывают пустографки и карточки типизированные. Пустографки предназначаются для записи в них операций различных типов, предусмотреть детали которых не представляется возможным или необходимым. Типизированные карточки, наоборот, предназначаются исключительно для регистрации повторяющихся явлений вполне определенных типов (напр. учет простоев из-за остановки машин, из-за ремонта, вследствие недостачи материалов). Последние карточки разрабатываются т. о., что все элементы учета, которые м. б. предусмотрены, заранее печатаются на карточке; поэтому записи в типизированную карточку состоят из крайне несложных отметок, характерных лишь для одного явления, и сокращаются до минимума.

Опытом многих лиц найдено, что общие всем карточкам элементы следует располагать всегда в определенном месте: название карточки в правом нижнем углу, наименования предприятий в нижнем левом углу. Нельзя помещать эти данные вверху карточки; здесь следует помещать более важные в справочном отношении данные. Считается одинаково неудобным строить карточки очень малого и очень большого размеров. В настоящее время обязательно соблюдение

след. установленных стандартов: 74 × 105 *мм*, 105 × 148 *мм*, 148 × 210 *мм* и 210 × 297 *мм*. Применительно к указанным размерам выработаны и распространяются образцы стандартной мебели: картотеки, столы с выдвижными картотеками и шкафы. Картотечные ящики иногда имеют специальные устройства—круглые или плоские стержни, к-рыми скрепляются карточки. В этом случае карточки можно изъять из картотеки, открыв указанное скрепление. Карточки одной и той же группы зашифровываются буквенными, цифровыми или смешанными символами. Карточки располагаются в ящиках по различным признакам. Наиболее употребительны: 1) алфавитное, 2) географическое, 3) нумерационное, порядковое, 4) десятичное и 5) смешанное расположение карточек. Карточки могут иметь цветовые отличия, к-рые осуществляются или печатанием карточек на картоне разных цветов или же посредством наложения цветных полос лишь по верху карточек. Каждый раздел картотеки разделяется карточкой-указателем или специальными приспособлениями, так называемыми индикаторами.

Индикаторы (рейтеры, наездники) — металлические фигуры, надеваемые на верхний край карточки. На них пишется шифр того или другого раздела. Индикаторы самых малых размеров употребляются для разного рода отметок. Для деления отделов на более мелкие группы применяются средние индикаторы или выступы, или же вырезы на карточках. Иногда применяются одновременно и вырезы и выступы, при чем насчитывается несколько способов употребления выступов и вырезов. Все указанные приспособления имеют целью быстро определять, находятся ли карточки на своих местах и быстро отыскивать необходимую карточку среди других. Когда карточку берут из картотеки надолго, на ее место ставят карточку, бросающуюся в глаза специальным выступом и цветом. Это—карточка-заместитель.

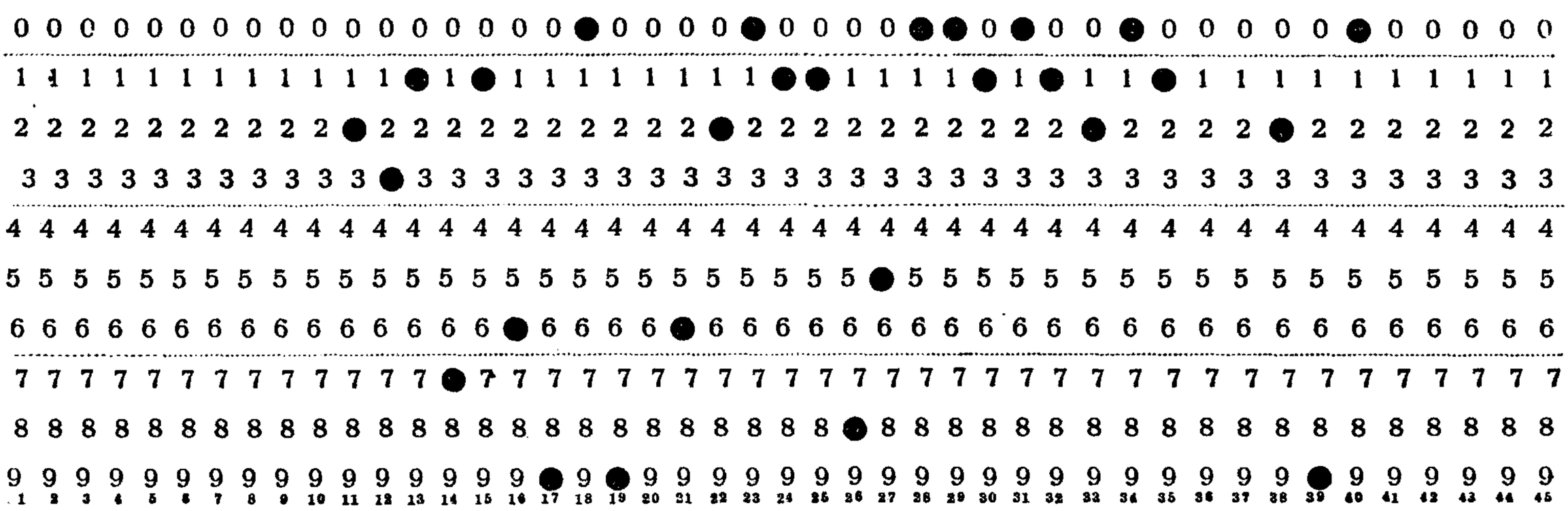
Практич. применение карточек особенно расширилось в военные и послевоенные годы, когда в целом ряде государств специальными актами было разрешено употреблять карточки даже в тех областях хозяйственного управления, где записи имеют юридически силу доказательств. В СССР введение карточек в практику торгово-промышленных предприятий (не ниже определенных разрядов) разрешено постановлением Совнаркома СССР от 9 ноября 1926 г.; при этом введение карточного учета обусловлено обязательным сохранением книг кассовой, балансовой, книги регистрации месячных остатков по каждому лицевому счету расчетных счетов. Кроме этих книг, обязательной книгой является реестр, по к-рому получает свой номер каждая регистрационная карточка. Реестр содержит графы для расписок в получении карточек должностными лицами для их ведения и хранения. Законодательство в данном случае предусматривает как обязательные для ведения лишь синтетич. и контрольного значения книги. В отношении же всего аналитич. учета законодательство предоставляет полную возможность осуществлять карточные системы. Т. о., идя навстречу требованиям жизни, законодательство расширило область применения карточек и официально повлияло на взгляды нек-рых лиц, не желавших видеть явных преимуществ карточки перед переплетенной книгой. Преимущества карточки перед книгой, по определению С. В. Мнюха, состоят в следующем: карточка а) облегчает разделение труда; б) облегчает классификацию материала; в) позволяет уменьшить до минимума переписывание; г) устраняет возможность ошибки при переписке; д) облегчает отыскание нужного счета; е) позволяет заменить писание от руки работой на пишущей машинке; ж) позволяет отделять живые счета от мертвых, мешающих работе; з) собирает в одном месте счет, разбросанный в разных местах по книге или книгам; и) дает возможность пользоваться текстом записи, отпечатанным в типографии; к) занимает меньше места, легче и подвижнее, чем книга; л) приносит экономию сил, времени и затрат. С другой стороны, книга а) не дает такой легкой возможности злоупотребления, как карточка; б) не так легко теряется; в) обладает большей прочностью и сохранностью, чем карточка, подверженная более быстрому изнашиванию и загрязнению; г) способствует более легкой обозримости хозяйства в целом.

Современные конструкции стремятся ослабить отрицательные стороны карточек и развить в еще большей степени их положительные свойства. Так, более совершенные К. с. уже не довольствуются краткой записью в типизированную карточку, а стремятся посредством копирования осуществлять запись одновременно с первой и на другие бланки (немецкая контролир. бухгалтерия и др.). Мало того, в нек-рых случаях карточки изготовляются из обыкновенной писчей бумаги что, конечно, удешевляет всю К. с. Подобные мягкие карточки употребляются в копировальных К. с. (тейлорикс, дефинитив, в СССР—копиручет). Картотека в этом случае почти не отличается от картотеки из твердых карточек; разница лишь в том, что в картотеке из мягких карточек имеются упорные алюминиевые пластинки и что карточки-разделители здесь обязательны через каждые 10—20 мягких карточек.

Благодаря тому, что в картотеке всегда хранятся лишь действующие карточки, а все мертвые изъяты, уже достигается нек-рое удобство по сравнению с книгой, содержащей в себе и мертвые счета и целый ряд совершенно чистых страниц. Однако, многие из современных конструкций стремятся достичь и не меньших обозримости и удобств в подсчетах, чем это осуществлено в книгах. Такие системы носят название наглядных. В них карточки располагаются так. обр., что всегда на виду остается низ карточки (Визиблекс, Кардекс и т. д.) или верх карточки (Фарп), или же одна из сторон карточки (Рототека). На узкой, остающейся всегда на виду полосе карточки сосредоточены наиболее важные в справочном отношении данные и необходимые для подсчетов цифры.

Другие конструкции стремятся механизировать отыскание и выем нужной карточки.

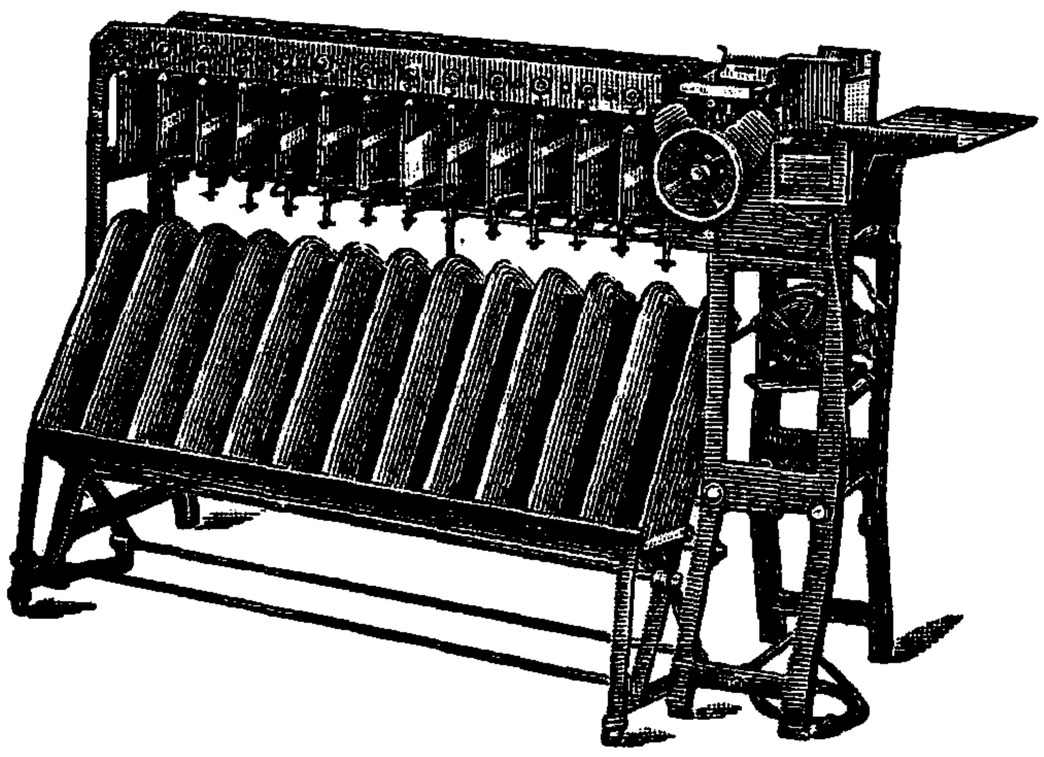
Уже известны картотеки, из к-рых при нажиме соответствующего рычага выскакивает необходимая карточка. Чрезвычайная подвижность карточки дала возможность механизировать одну из самых ответственных работ статистики и бухгалтерии: систематизация по тем или другим признакам м. б. произведена механически. Эта мысль в простейшем ее виде осуществлена в картотеках типа ЦИТ-Припутень. Здесь карточки имеют по сторонам несколько отверстий. Каждому отверстию придано определенное значение.



Фиг. 1.

Просовывая шомпол через всю картотеку, можно отделить все карточки, имеющие указанный признак. Этот же принцип нашел свое дальнейшее развитие в приборе Финдекс, Орга-Индекс. Посредством этого прибора могут легко производиться статистич. подсчеты из большого количества карточек по многочисленным признакам.

Крайним развитием гибкости индивидуальной карточки следует признать высокомеханизированные «фабрики бухгалтерии» с применением счетно-аналит. машин Пауерс и Голлерит. Эти машины построены по принципу разделения труда: отдельные функции выполняют перфоратор, сортировальная машина и табулятор. Здесь так же, как и в предыдущих двух системах, имеется стандартная карточка, на к-рой пробиваются перфоратором отверстия, каждое из к-рых



Фиг. 2.

соответствует той или иной цифре даты, шифра операции, № корреспондента или валюты операции (фиг. 1). Обработанные т. о. карточки передаются в сортировальную машину (фиг. 2), к-рая с быстротой, доходящей до 21 000 карточек в час, рассортировывает их на необходимые группы. Каждая из групп карточек затем подсчитывается особой машиной—табулятором. Табулятор автоматически же выставляет итоги в ежедневных оборотных ведомостях.

Т. о., наличие различных систем от простых до более сложных, представляющих собою последнее слово техники, позволяет сделать необходимый выбор для ведения учета и контроля на карточках. В современных предприятиях К. с. получают все большее и большее применение: учет заказов, учет рабочей силы, учет брака, учет продукции, вся вообще бухгалтерия и регистратура переводятся на карточки. Всякая другая работа, до области техники умственного труда включительно, также рационализируется посредством применения карточек. Например, выписки на карточки при чтении книг с постепенной систематизацией материала делают труд читателя наиболее продуктивным. В последнее время в этом отношении появились интересные начинания: как за границей, так и в СССР издаются картотеки по технич. и юридич. вопросам, пополняемые впоследствии выпуском карточек, содержащих описания или изложения новых фактов по данному вопросу. Имеются даже периодич. издания на карточках. Каждый лист подобного издания посвящен одному вопросу. Читатель имеет возможность строить из листов журнала картотеки согласно шифру издателя или группировать листы журнала по собственной классификации.

Лит.: Шоу А., Карточная система в счетоводстве и делопроизводстве, пер. с англ., М., 1925; Мыльников С. В., Карточная система учета, Л., 1926; Мануйлов М. А., Картотека торговца, М., 1926; Вейцман Н. Р., Механизация счетной работы, М., 1925; Кипарисов В. Н., Современные формы счетоводства, М., 1929; «Механизация учета», М., 1929; «Система и организация», М.; «Техника управления», М.

М. Марсов.

КАРТЫ ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ, уменьшенные изображения всей поверхности земли или нек-рой ее части на плоскости. Т. к. сферич. поверхность земли не м. б. развернута на плоскости без складок или разрывов, то для получения таких изображений приходится прибегать к условным построениям—*картографическим проекциям* (см.). Если поверхность, которую желают изобразить незначительна по сравнению с размерами поверхности всей земли, то ее можно

принять за плоскость и, следовательно, изобразить в задан. масштабе с сохранением подобия контуров, углов и площадей отдельных участков. Такое изображение называется п л а н о м. Различие между планом и картою заключается в том, что план представляет изображение незначительной части земной поверхности в постоянном масштабе, а карта—изображение в масштабе переменном. Все К. г. можно подразделить на три главных рода: а) собственно географические, б) топографические и в) морские. На г е о г р а ф и ч е с к и х к а р т а х представляют в сравнительно мелких масштабах целое полушарие, часть света, отдельное государство, область и т. п. На них изображают положение главнейших предметов (направления рек, горных цепей, города, главные дороги, административные границы и т. д.). Географич. карты делятся на г е н е р а л ь н ы е (общие) и п о д р о б н ы е (специальные, отличающиеся большею подробностью и точностью). Кроме того, географич. карты по своему содержанию могут быть: ф и з и ч е с к и е, на которых изображают физико-географические свойства страны, и п о л и т и ч е с к и е, на к-рых гл. обр. показано административное деление государств, положение населенных пунктов, пути сообщения и пр.

На т о п о г р а ф и ч е с к и х к а р т а х изображают не только все нужные предметы в заданном масштабе, с сохранением их вида (или условными знаками), но и самый характер местности, как то: неровности рельефа, нек-рые свойства почвы, а также по возможности все пути сообщения. Если при составлении карты имеется в виду изобразить с большею подробностью какие-нибудь предметы в особенности, не обращая большого внимания на остальные, то такие карты, сообразно с целью своего назначения, получают и свое специальное наименование, напр. гидрографические, геологические, почвенные, этнографические, статистические, лесные, почтовые, дорожные, военные и т. д.

На м о р с к и х картах изображают море с обозначением всех предметов, важных для мореплавания, как то: островов, подводных камней, мелей, промеров глубин и пр. Из предметов, находящихся на материке, помещаются лишь те, к-рые лежат близ берега и видны с моря. Эти карты, подобно географическим, делятся на генеральные и подробные (частные).

П л а н ы сообразно их назначению подразделяются на з е м л е у с т р о и т е л ь н ы е, х о з я й с т в е н н ы е, в о е н н ы е, л е с н ы е и т. п. На каждом из этих видов планов обозначают преимущественно те предметы местности, которые соответствуют данной цели; напр. на военных планах д. б. обозначены со всей отчетливостью предметы, важные в тактич. отношении, т. е. имеющие влияние на действия, движения и расположение войск.

Составлению каждой новой карты предшествует выбор ее масштаба и проекции. Масштаб карты зависит от ее назначения, желательной точности и качества имеющихся для ее составления картографич. материалов. При выборе же проекции принимается во внимание, для какой именно надобности она составляется. При составлении карты сначала вычисляют, а затем наносят на бумагу картографич. сетку. За средний меридиан проекции обыкновенно принимается средний меридиан изображаемой территории, к-рый и располагается по середине листа так, чтобы вся сетка получилась симметричной. По вычерчивании сетки на нее наносят опорные геодезич. и астрономич. пункты и только после этого приступают к заполнению сетки картографич. материалами, опираясь на нанесенные уже пункты. Картографич. материалами, в зависимости от масштаба карты, могут служить: а) инструментальные съемки, б) готовые карты более крупных масштабов, в) глазомерные съемки, г) маршруты и кроки, д) описания. Лучшими материалами являются планшеты инструментальной съемки и планшеты-фотопланы аэросъемки, основанных на тригонометрич. или астрономич. пунктах. Одно из первых условий, предъявляемых к К. г.—ее ясность и выразительность; переполнение ее подробностями за счет этих двух условий составляет не достоинство, а, наоборот—ущерб. Раньше за границей и у нас съемочные планшеты представляли правильные квадраты, в настоящее же время каждый планшет представляет равнобочную трапецию, ограниченную дугами меридианов и параллелей, при чем на протяжении каждого отдельного планшета дуги параллелей и меридианов можно считать прямыми линиями. Рамки планшетов проводятся преимущественно через целое число минут, в зависимости от масштаба и географич. широты. Так, в северной полосе европ. части СССР для $^1/_2$-верстных планшетов меридианные рамки проводились через 12′, а по широте—через 6′; для южной полосы—через 9′ по долготе и через 5′ по широте. На верстовых планшетах рамки проводились через 15′ по долготе и через 10′ по широте; на 2-верстных картах европ. части СССР—через 27′ по долготе и 15′ по широте, а для той же карты азиатской части СССР—через 30′ по долготе и 20′ по широте.

Переход к метрич. системе мер и введение в СССР международного счета долгот от Гриничского меридиана вызвали необходимость изменения масштабов съемок и карт, а равно и установления новой разбивки их. В настоящее время для съемок установлены следующие масштабы: 1:25 000; 1:50 000 и 1:100 000, при чем основным масштабом для европ. части СССР считается 1:50 000, а для азиатской—1:50 000 или 1:100 000; независимо от этого для планов, предназначенных для работ по землеустройству, для межевых планов и планов городов применяется масштаб 1:10 000 и даже крупнее. Для карт приняты след. основные масштабы: 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000 и 1:1 000 000, не считая более мелких. Разбивка рамок планшетов принята с таким расчетом, чтобы в одном планшете мелкого масштаба заключалось целое число планшетов более крупного, чтобы размеры рамок допускали нанесение их на мензульную доску средних размеров и чтобы в одном географическом градусе заключалось полное и крупное число планшетов того или иного масштаба. Этим

условиям удовлетворяют следующие размеры трапеций:

	По долготе	По широте
Для масшт. 1 : 100 000	30′	20′
» » 1 : 50 000	15′	10′
» » 1 : 25 000	7,5′	5′
» » 1 : 10 000	2,5′	2,5′

При этих размерах в одном планшете 1:100 000 масштаба помещается 4 планшета 1: 50 000; в 1 планшете 1: 50 000—4 планшета 1: 25 000 и в 1 планшете 1: 25 000—6 планшетов 1:10 000. Для карты в масштабе 1: 200 000 размеры листа установлены в 2° по долготе и 40′ по широте, а для 1:1 000 000 карты размеры рамок и разбивка листов приняты установленные для международной карты того же масштаба, а именно: 6° по долготе и 4° по широте. Т. о., в одном листе 1: 1 000 000 карты заключается 18 листов 1: 200 000 карты, 144 листа 1:100 000 карты и 576 листов 1: 50 000 карты.

Масштабы существующих планов и карт в разных государствах весьма разнообразны. Из новых карт (в метрических мерах) в СССР наиболее распространены карты следующих масштабов. 1) 100 *м* в 1 *см* (1:10 000) — землеустроительные планы, 2) 250 *м* в 1 *см* (1:25 000)—точные топографические съемки, 3) 500 *м* в 1 *см* (1: 50 000)—топографич. съемки к востоку от Пулковского меридиана, 4) 1 *км* в 1 *см* (1:100 000)—карта того же района, 5) 2 *км* в 1 *см* (1: 200 000)—новая карта западного пограничного пространства, 6) 10 *км* в 1 *см* (1:1 000 000)—масштаб, номенклатура и размеры листов этой карты те же, что и для международной. Кроме того, разными народными комиссариатами и учреждениями издаются специальные карты и в других масштабах.

В 1891 г., по предложению проф. Пенка, V Международным географическим конгрессом в Берне было постановлено издавать международную карту в масштабе 1:1 000 000 в многогранной проекции, т. е. на отдельных листах размером 6° по долготе и 4° по широте, по однообразным для всех государств условным знакам. Многие государства уже приступили к этой работе и издали несколько листов. В СССР к составлению миллионной карты приступлено в 1919 году в Военно-топографич. управлении, но по своим условным знакам, с выражением рельефа горизонталями через 50 *м*.

Издание карт с оригиналов, исполненных картографом, заключается в изготовлении печатных форм, т. е. клише, и в печатании с них оттисков в произвольном количестве экземпляров.

Гравирование на меди. Медная доска, толщиною $2^1/_2$—3 *мм*, предназначенная для гравирования, тщательно шлифуется, а затем покрывается тонким слоем воска, для чего ее слегка подогревают и прокатывают по ней в разных направлениях ладонями рук воск в виде цилиндрика. На загрунтованную доску переносят с оригинала картографич. сетку в обратном изображении и, далее, в каждую клетку полученной сетки переводят последовательно все контуры карты. Для этого их осторожно процарапывают тонкой иглой на прозрачную желатиновую пластинку, наложенную на оригинал; сняв желатину, в процарапанные места втирают цветной порошок, накладывают его лицевой стороной на восковой грунт в соответствующее место и протирают по контурам стальной пластинкой, отчего на грунте получаются все контуры в обратном виде; их процарапывают иглой сквозь воск на медь, после чего воск удаляется скипидаром. Само же гравирование производится граббштихелем, представляющим в поперечном сечении ромб, и заключается в выемке из доски тонкой ленты треугольного сечения. После награвирования всех контуров режут подписи, затем помощью рулеток наносят условные знаки местных предметов и, наконец, гравируют рельеф. По окончании гравировки получаются неровные края вырезок, которые сглаживают сначала шабером, а затем куском березового угля, смоченного маслом. Печатание с медных гравюр производится на особых медно-печатных станках, главную часть к-рых составляют два вала, вращаемые при помощи системы зубчатых колес. Доска, с втертой в гравюру печатной краской и наложенной на нее слегка влажной бумагой, пропускается между валами станка под известным давлением, отчего и получается оттиск. Обыкновенно в один день снимают ок. 100 оттисков, а доска дает 3—4 тысячи хороших оттисков, после чего изнашивается.

Гелиогравюра. Т. к. гравирование исполняется медленно и гравюры обходятся дорого, то, для сохранения оригинальных досок, печатание производится не с них, а с гелиогравюрных копий. Для получения гелиогравюры прежде всего приготовляют позитивный рисунок на желатине, для чего на лист бумаги с загнутыми краями наливают жидкую желатину, смешанную с сажей; когда желатиновая пленка высохнет, ее погружают в раствор двухромовокалиевой соли и туда же опускают стеклянную пластинку, на которой бумага, вынутая вместе с пластинкой, расправляется. Затем бумага с приготовленной желатиновой пленкой кладется в печатную раму под негатив на стекле. В этой раме от действия света под прозрачными линиями негатива происходит сверты-вание желатины, при чем продолжительность экспозиции, зависящая от силы света, определяется особым фотометром. Полученный т. о. позитив слегка размачивают в воде и накладывают желатиновою поверхностью на отшлифованную и высеребренную медную доску так, чтобы желатина плотно пристала к доске. Доску с приставшим к ней позитивом погружают в теплую воду (60°), отчего желатина растворяется за исключением свернувшейся под действием света, т. н. роговой, и на доске остается рельефный рисунок из этой роговой желатины. Готовую доску погружают в гальванопластич. бак и на нее наращивается слой меди; в результате получается медная доска с углубленным рисунком, годная для печатания с нее.

Гравирование на камне. Литографский камень, толщиною 8—10 *см*, перед гравированием д. б. тщательно отшлифован наждаком, а затем пемзой, после чего его покрывают густым раствором гуммиарабика с примесью около 3% азотной к-ты. Через 4—5 час. камень обмывают водой, чтобы на

нем остался только тонкий слой гуммиарабика, в к-рый втирают сажу. На полученный черный грунт переводят контуры с оригинала карты таким же порядком, как и на медную доску. Гравирование производится радирными иглами со стальными или алмазными концами. По окончании гравирования камень обливают льняным маслом, которому дают впитаться в резьбу. Перед печатанием грунт смывается водой с раствором гуммиарабика.

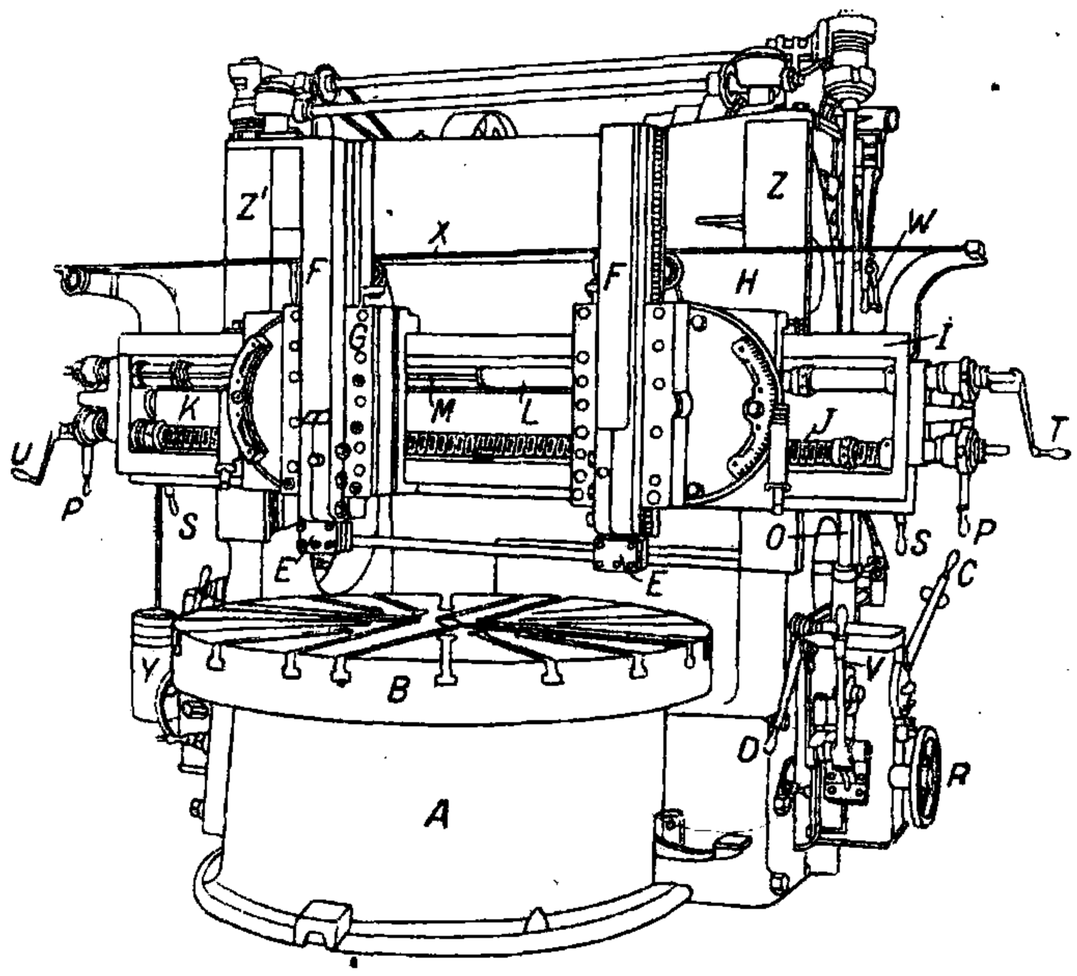
Фотоальграфия. Отшлифованную и промытую в воде тонкую алюминиевую пластину еще в мокром виде обливают светочувствительным раствором, состав которого следующий: альбумин, полученный от 1 сбитого в пену яичного белка, 145 *см*³ воды и 4 *см*³ насыщенного раствора двухромовокислого аммония и аммиака; раствор употребляется по прошествии 8—12 ч. и при сохранении в прохладном и темном помещении годен в течение 10—14 суток. После обливания пластина высушивается в слабо освещенной комнате на центрифуге. Высушенная пластина накладывается светочувствительной стороной на негатив, помещенный в копировальную раму, и подвергается действию дневного или искусственного света в продолжение от $^1/_2$ до 30 мин., в зависимости от силы света. По окончании печатания алюминиевую пластину закатывают в полутемной комнате краской (3 ч. переводной, 1 ч. литографской и несколько капель левандулового масла), а затем погружают в воду и протирают мягким тампоном из ваты. Светочувствительный раствор, закрепленный светом под прозрачными местами негатива, делается нерастворимым в воде и удерживается с краской на алюминиевой пластине, а под непрозрачными частями негатива светочувствительный раствор, как не потерпевший изменений, растворяется в воде и уносит с собой краску. В результате получается красочный рисунок по чистому алюминию. Проявленную т. о. пластину споласкивают водой, высушивают, протравляют, и клише готово к печати с него.

Печатание карт производится на литографских скоропечатных машинах (см. *Литография*) с камней, на к-рые предварительно делают переводы с клише. Одними из новейших и совершенных машин являются офсет-машины, печатающие не с камня, а с тонкого цинкового клише в одну, две и больше красок. Но для печати на этой машине надо иметь клише не с обратным изображением, как при обыкновенных (плоских) машинах, а с прямым. Для издания многокрасочных копий необходимо изготовить оригиналы и клише для каждой краски отдельно.

Лит.: Витковский В. В., Топография, 3 изд., Москва, 1928; Зондерван Г., Географическая карта, ее история, составление, воспроизведение, СПБ, 1909; Родс Г. Дж., Литографское искусство, перевод с англ., Л., 1928; Анисимов В., Гравирование цветных офортов и эстампов, П., 1922; Артамонов Н. Д., Репродукционная фотография, СПБ, 1911; Аузан А. Й., Краткий доклад о работах Корпуса военных топографов, представленный в Междуведомственную комиссию при Академии наук в 1917 г., М., 1919. **В. Никифоров.**

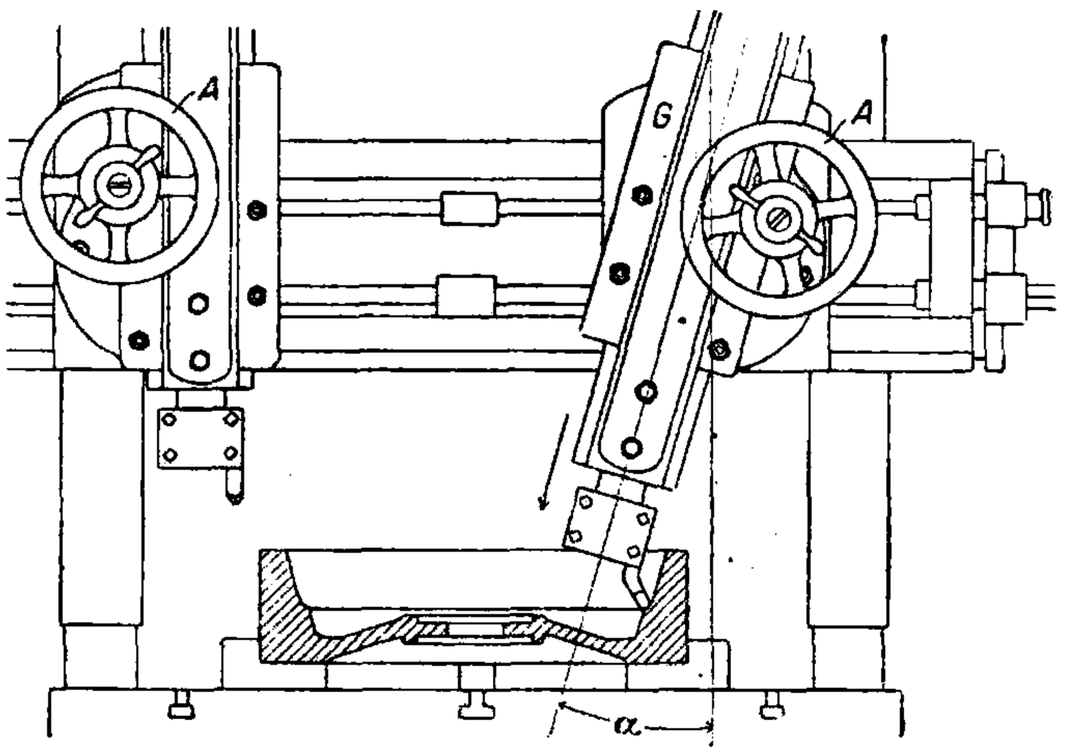
КАРУСЕЛЬНЫЕ СТАНКИ, вертикальные токарные станки, применяемые для обточки и расточки маховиков, шкивов, шестерен, фланцев, поршней, барабанов и т. п. предметов, диаметр к-рых, вообще говоря, больше длины образующей.

Конструкцию современных К. с. поясняет фиг. 1. Цилиндрич. полая станина *A* снабжена в своей верхней части кольцевой направляющей, служащей опорой для планшайбы



Фиг. 1.

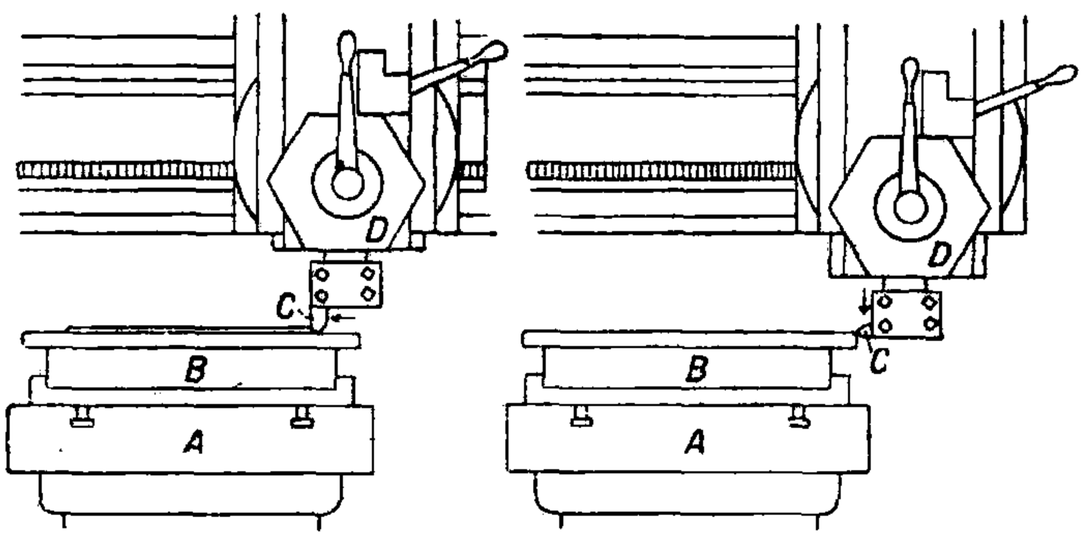
B. Планшайба, насаженная на вертикальный шпиндель, находящийся внутри означенной станины, приводится во вращение посредством привернутого к ней снизу зубчатого колеса, находящегося в зацеплении с конич. шестерней (не показана на чертеже). Последняя сидит на валу, получающем вращение непосредственно или при помощи коробки скоростей от ступенчатого шкива, расположенного позади станка. Для включения или выключения коробки скоростей имеется рукоятка *C*, рукоятки же *D* (с обеих сторон) служат для пуска в ход или остановки станка. Обрабатываемый предмет устанавливается на означенной планшайбе, закрепляется и обтачивается резцами, зажатыми в головках *E*. Головки *E* сидят на ползунах *F*, к-рые могут перемещаться в вертикальном направлении по направляющим *G* супортов *H*, установленных на поперечине *I*. Супорты *H* могут перемещаться вдоль поперечины *I* в



Фиг. 2.

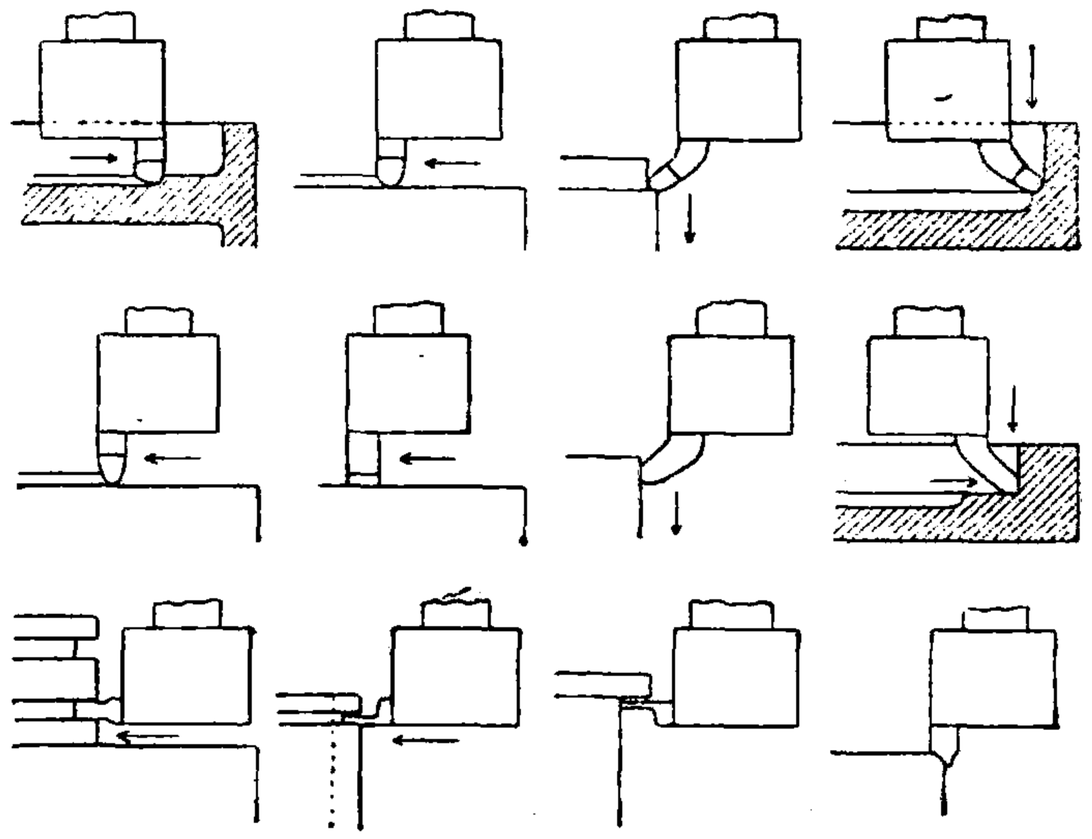
горизонтальном направлении. Подача резцов как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях может производиться механическ. путем или от руки. При обточке плоскостей, параллельных планшайбе, су-

порт (один или оба) вместе с резцовыми головками *E* перемещается в горизонтальном направлении вдоль поперечины при помощи соответственных ходовых винтов *J* и *K*, при обточке же (или расточке) цилиндрич. поверхностей головки со своими ползунами перемещаются вертикально в своих салазках при помощи соответственных валиков *L* и *M*. Т. к. для каждой головки имеются отдельные ходовой винт и валик, то эти головки могут перемещаться независимо одна от другой. От главного ступенчатого шкива получают вращение вертикальные валы *O* (с обеих сторон станка), передающие вращение упомянутым выше ходовым винтам и валикам при помощи конич. зубчатых передач у обоих концов поперечины. Включение той или другой вертикальной или горизонтальной подачи производится при помощи рукояток *P*. Величина подачи (на 1 оборот планшайбы) устанавливается помощью маховичков *R* (по одному для каждой резцовой головки). Рукоятки *S* с обеих сторон станка служат для перемены направления горизонтальных и вертикальных подач той или другой резцовой головки, а рукоятки *T* и *U*—для горизонтального и вертикального передвижения этих головок от руки при установке резцов в начале работы. У станков других конструкций вертикальное перемещение головок от руки производится при помощи маховичков *A* (фиг. 2). Для более



Фиг. 3.

быстрой установки резцов, К. с. современной конструкции снабжаются рукоятками *V* (фиг. 1), при помощи к-рых механич. подачи автоматически выключаются, после чего каретки с резцовыми головками м. б. быстро передвинуты в требуемое положение. Для облегчения подъема ползунов *F* последние соединяются с цепью или стальным канатом *X*, с подвешенным на конце грузом *Y*. Поперечина может подниматься и опускаться по вертикальным направляющим боковых стоек *Z* и *Z'* при помощи передачи, к-рая включается поворотом рукоятки *W*. Обычно поперечина закреплена наглухо на боковых стойках болтами, которые отпускаются перед каждой новой перестановкой ее и затем снова закрепляются. Почти все современные К. с. крупных и средних размеров снабжаются двумя резцовыми головками, одна из которых делается часто в виде револьверной головки, приблизительно такого же устройства, как у револьверных станков (фиг. 3 и 6). Для точки на конус направляющие *G* могут быть повернуты на требуемый угол α (фиг. 2); для отсчета угла поворота каретки снабжаются шкалой с делениями. Для обточки сферич. поверхностей (напр. выпуклых ободов шкивов и т. п.) К. с. снабжают иногда особым приспособлением, при помощи которого резец, при его поступательном движении вниз, имеет боковую подачу, пока

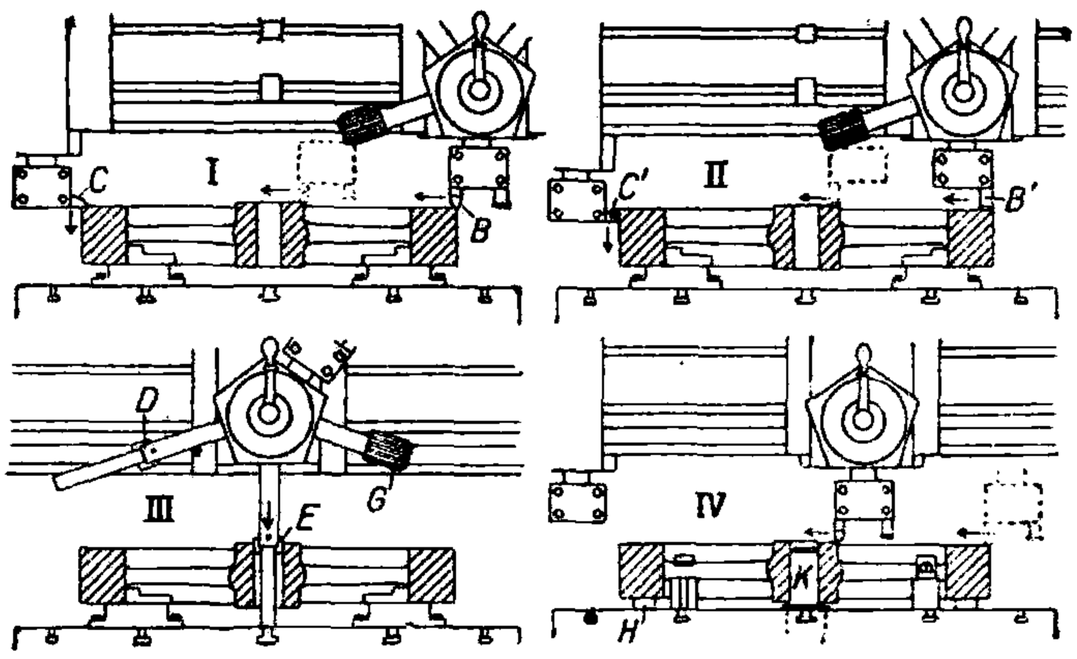


Фиг. 4.

он не дойдет до середины обода, после чего боковая подача совершается в обратную сторону [1].

На фиг. 3 показана схематически обточка плоскости, параллельной планшайбе (слева), и цилиндрич. поверхности (справа): *A* представляет собою планшайбу, *B*—обрабатываемый предмет. В первом случае резец *C*, закрепленный в револьверной головке *D*, движется в горизонтальном направлении, во втором случае резец, установленный горизонтально в державке, перемещается в вертикальном направлении. Различные типы резцов и способы их применения для К. с. показаны на фиг. 4.

Пример типичной работы, выполняемой на К. с. (обточка и расточка маховика), представлен схематически на фиг. 5. Обод маховика зажат с внутренней стороны четырьмя кулачками, и обработка его производится одной простой резцовой головкой (слева) и одной револьверной (справа). В операции I резец *B* (в револьверной головке) производит обдирку торцевой стороны обода, в то время как резец *C* (в простой головке) выполняет ту же работу по отношению к цилиндрич. поверхности последнего. После того как резец *B* пройдет торцевую сторону

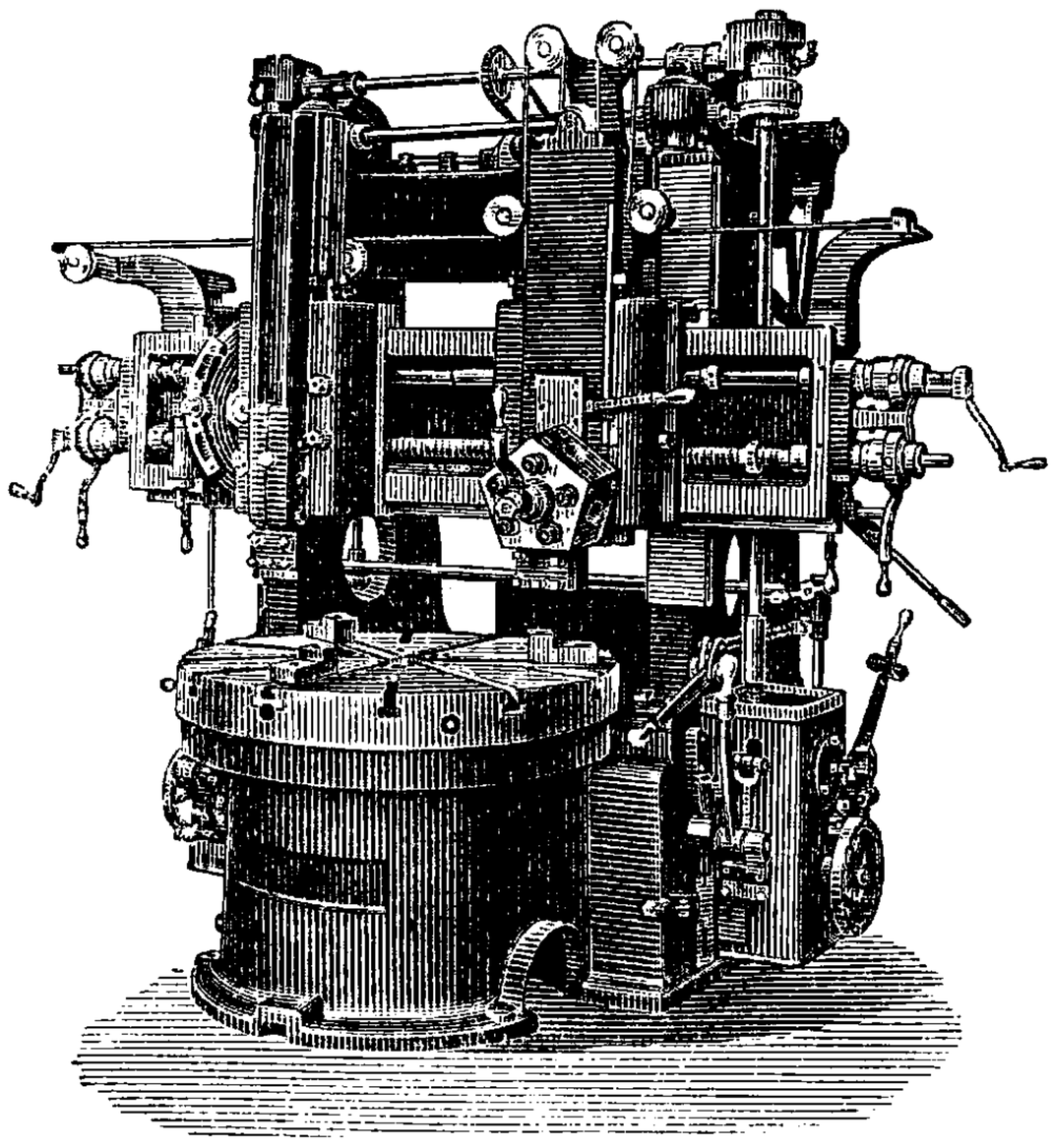


Фиг. 5.

обода, его переставляют в положение, показанное пунктиром, для обдирки торцевой стороны ступицы. Операция II состоит в обточке начисто тех же поверхностей резцами *C'* и *B'*, из к-рых последний переставляется

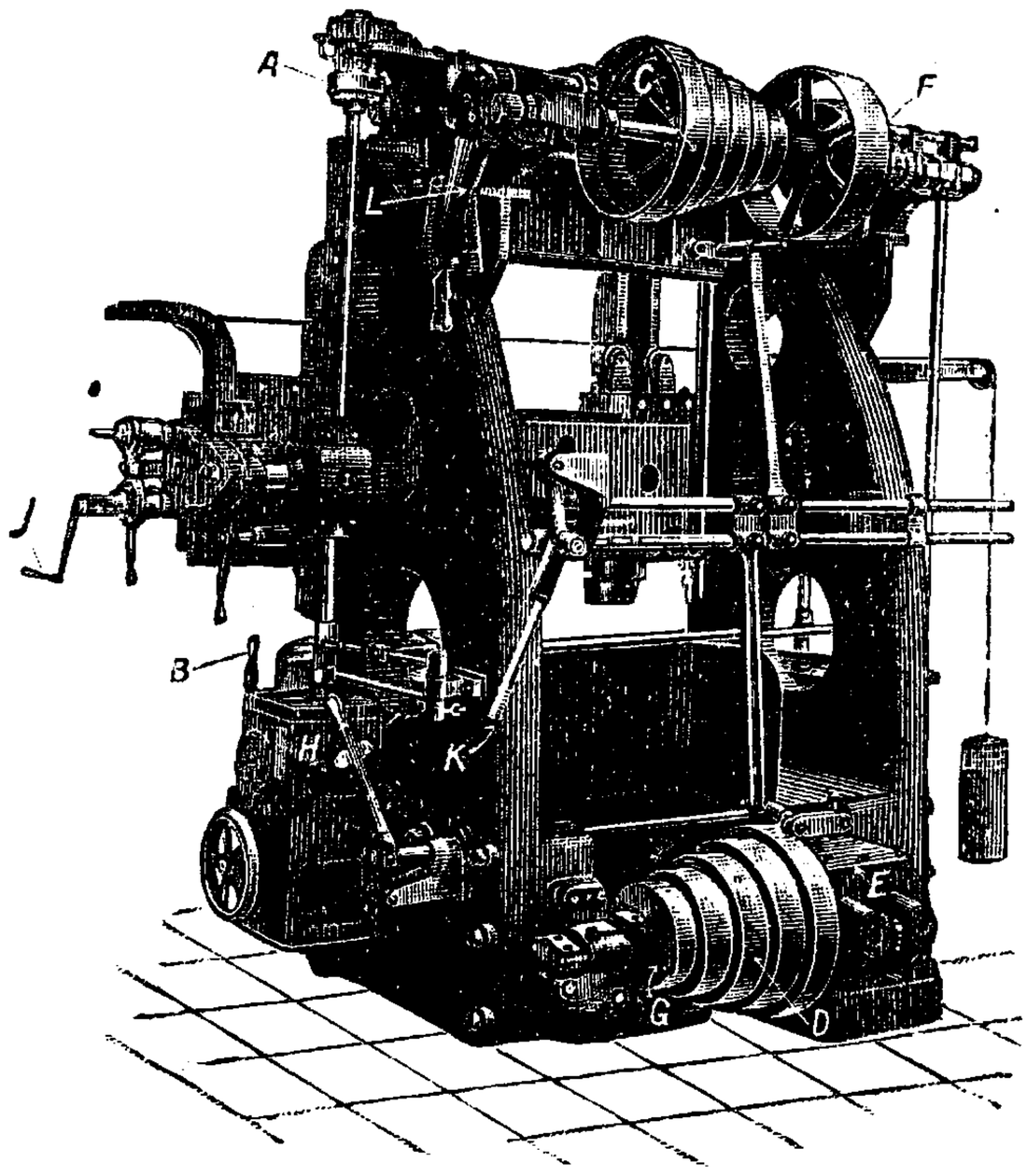
затем в положение, показанное пунктиром, для обточки начисто торца ступицы. Подача резцов д. б. при этом соответственно изменена. После этого иногда протачивают соответствующими резцами внутреннюю цилиндрическую поверхность обода и наружную цилиндрич. поверхность ступицы на длину, примерно, до спиц. Операция III заключается в расточке отверстия при помощи револьверной головки. Твердая корка (получающаяся при литье) снимается обдирочным резцом *D* (слева), расточка начисто выполняется затем резцом *E*, после чего отверстие доводится до требуемого точного диаметра разверткой *G* (справа). Скалки, несущие на себе оба означенные резца, делаются с удлиненным хвостом, входящим плотно в направляющую втулку, которая вставлена в планшайбу (не показана на фиг. 5) и служит как для удерживания скалок от дрожания, так и для сообщения им требуемого направления. После расточки ступицы маховик поворачивают обработанной торцевой стороной вниз для обработки другой торцевой стороны (операция IV'). Кулачки снимаются с планшайбы, и маховик устанавливается обработанной торцевой стороной обода на подставках *H*, к к-рым он прижимается скобами (не показанными на фиг.), упирающимися в спицы; при этом маховик центруется оправкой *K*, вставленной в соответствующее отверстие планшайбы и входящей плотно в расточку ступицы. Закругления краев обода и ступицы, если они требуются, производятся в операциях II и IV' при помощи специального резца.

В тех случаях, когда К. с. предназначаются для обработки предметов, сильно отличающихся один от другого своими размерами (как это имеет место, напр., в ремонтных мастерских или на з-дах, работающих по случайным заказам), иногда пользуются К. с.



Фиг. 6.

с раздвижными боковыми станинами. Последние устанавливаются на горизонтальных полозьях, что дает возможность изменять расстояние центра планшайбы до боковых станин и обтачивать предметы большего диаметра. Для того чтобы при таком раздвинутом положении боковых станин можно было устанавливать резец в центре планшайбы, такие К. с. снабжаются добавочной поперечиной, устанавливаемой на обычной поперечине станка перпендикулярно к последней и несущей на себе собственную каретку с резцовой головкой.



Фиг. 7.

К. с. современной америк. конструкции представлен в двух видах (спереди и сзади) на фиг. 6 и 7. Он снабжен фрикционной муфтой *A* (фиг. 7), управляемой рукояткой *B*, для быстрого механическ. перемещения обеих резцовых головок в любом направлении (скорость горизонтального перемещения—ок. 275 *мм/мин*, а вертикального или под углом—180 *мм/мин*); *C*—ступенчатый шкив контрпривода, установленного на самом станке; *D*—рабочий ступенчатый шкив; *E*—коробка передач, управляемая рукояткой *H*; *F* — фрикционная муфта для остановки и пуска в ход, управляемая рукоятками (спереди станка), соединенными с фрикционным тормозом *G* у ступенчатого шкива *D* таким образом, что включение, напр., фрикционной муфты влечет за собой выключение тормоза и наоборот; *J*—рукоятки у обоих концов поперечины, служащие для вращения ходовых винтов и валиков при вертикальной и горизонтальной подаче резцовых головок от руки, устроены так, что они тотчас же выключаются, когда с них снимают руку, и не вращаются при механич. подаче резцовых головок; *K*—рукоятка, при помощи к-рой производится перестановка ремня по ступенчатому шкиву; *L*—рукоятка для механич. поднимания и опускания поперечины.

Такие К. с. строятся для обточки предметов диаметром от 1,2 до 2,5 *м*, при чем, по требованию, к ним прилагается приспособление для нарезки винтовой резьбы. Более крупные К. с. устроены приблизительно по этому же принципу, но отличаются от опи-

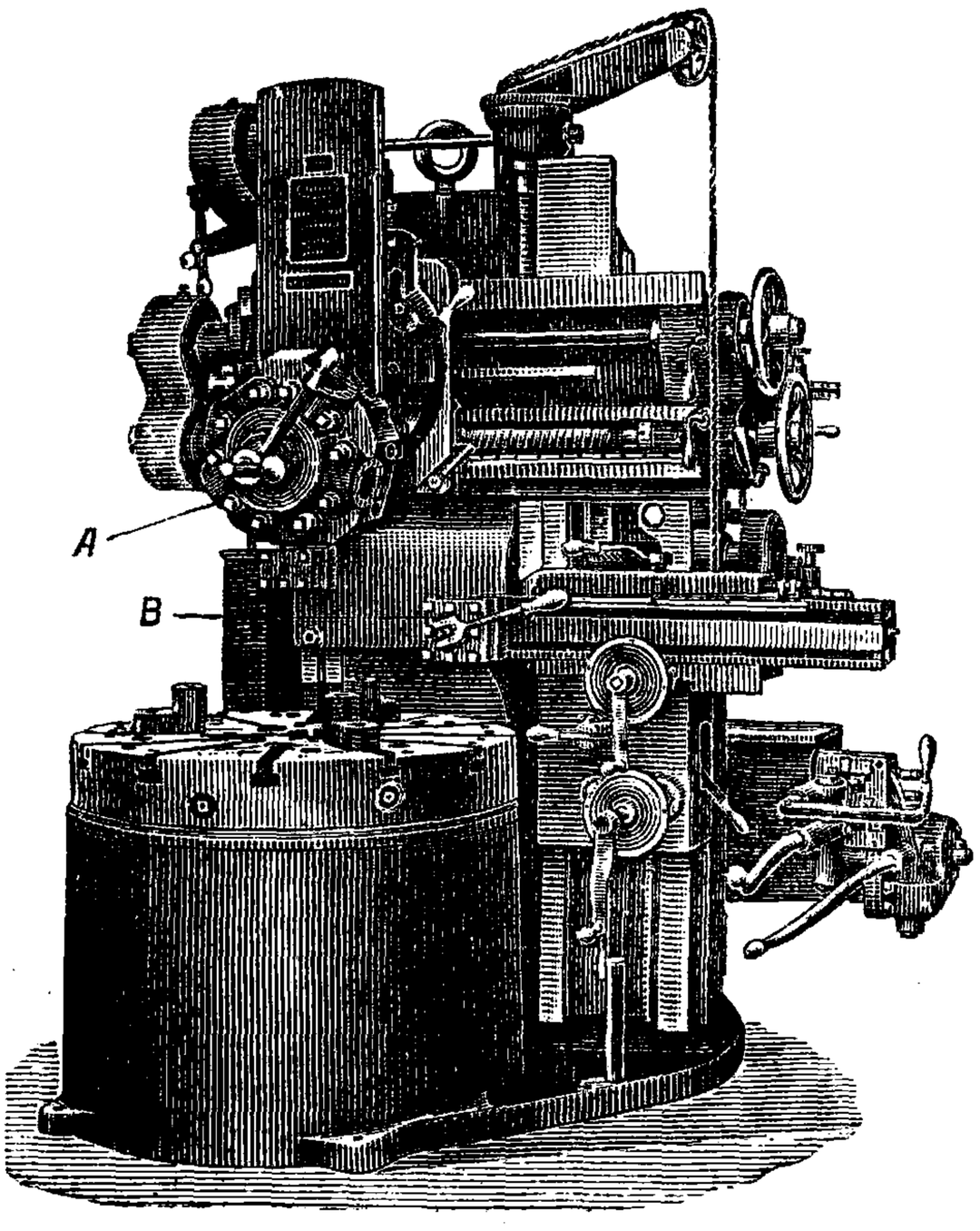
санного более массивной конструкцией и отдельными деталями. К. с. делаются также с моторами, установленными на самом станке. Характеристика К. с. (по немецким данным) приведена в табл. 1.

Табл. 1.—Характеристика карусельных станков.

Наибольший диаметр обточки в *мм*	Наиб. высота обраб. предмета над верхним краем планшайбы в *мм*	Наиб. вес обрабатываемого предмета в *т*	Наиб. вертик. ход резца в *мм*	Число оборотов планшайбы в мин.	Величина вертик. и горизонтальн. подач в *мм* за один оборот планшайбы	Рекомендуемая мощность мотора в Р
1 500	1 000	6	600	1,05 —38,0	0,4 —16,0	15—20
2 000	1 250	12	750	0,75 —27,0	0,4 —16,0	18—25
3 000	1 600	18	950	0,53 —19,0	0,4 —25,0	22—30
4 000	2 000	30	1 200	0,38 —13,5	0,4 —30,0	30—40
5 000	2 400	50	1 400	0,28 —10,0	0,4 —30,0	38—50
6 000	2 800	75	1 600	0,215— 7,7	0,4 —30,0	50—68
7 000	2 800	75	1 600	0,200— 7,2	0,4 —30,0	50—68
8 000	3 200	110	1 800	0,16 — 5,8	0,45—40,0	65—90
9 000	3 200	110	1 800	0,152— 5,5	0,45—40,0	65—90
10 000	3 200	110	1 800	0,145— 5,2	0,45—40,0	65—90
12 080	3 500	160	2 000	0,115— 4,1	0,5 —50,0	90—120
14 000	4 000	200	2 250	0,100— 3,6	0,5 —50,0	110—140

Примечание. Меньшие мощности моторов указаны для обработки преимущественно чугуна, а большие—для обработки стали.

Особый тип К. с.—револьверный, новейшей конструкции, представлен на фиг. 8. Особенность его заключается в том, что у него имеется револьверная головка *A* на 5 резцов, снабженная приспособлением для точной установки ее над центром планшайбы. Эта головка может передвигаться как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях, а равно и устанавливаться под углом, подобно тому как было описано выше.



Фиг. 8.

Вторая, боковая головка *B*, обычного типа, перемещается в отдельной поперечине, могущей также передвигаться в вертикальном направлении. Обе эти головки перемещаются независимо одна от другой и м. б. поставлены почти рядом, для одновременной обработки предметов небольших диаметров (что неосуществимо у обыкновенных К. с.). Такие К. с. строят для обточки предметов диаметром до 1 *м*; потребная мощность около 15 Р. Кроме описанных выше, существуют еще К. с. специальных типов, как, например, для обработки паровозных и вагонных колес.

Преимущества К. с. по сравнению с токарными, в частности лобовыми станками, заключаются в следующем: 1) обрабатываемый предмет м. б. легко положен на планшайбу, быстро выверен и закреплен на последней; 2) вес планшайбы и обрабатываемого предмета, а равно и давление резца, передается непосредственно большой опорной поверхности, благодаря чему достигается бóльшая точность обработки; 3) быстрота подготовки к работе; 4) возможность снимать бóльшую стружку, благодаря большой опорн. поверхности планшайбы. В виду этих преимуществ обработка на К. с. производится значительно быстрее, чем на токарных станках, как это видно из табл. 2.

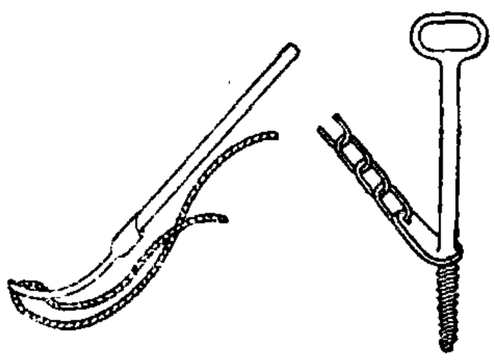
Табл. 2.—Продуктивность работы токарного и карусельного станков.

Изделие	Время обработки (часы)		Экономия времени	
	на токарном станке	на карусельном станке	в часах	в %
Крышка цилиндра двигателя внутр. сгор., диам. 1 225 *мм*	35	11	24	68,6
Поршень газового двигателя, диам. 1 030 *мм*	31,5	21,5	10	31,4
Чугунный маховик, диам. 2 200 *мм* . .	39	11	28	71,8
Обточка стальной шестерни, диам. 420 *мм*	2,5	1	1,5	60
Ж.-д. вагонное колесо	8	2	6	75
Бандаж вагонного колеса	3,2	0,5	2,7	84,4
Стальной паровозн. поршень, диам. 575 *мм*	3,5	1,5	2	57,1

При обработке на К. с. крупных предметов доступ к последним, а следовательно, промер их, равно и удаление стружек менее удобны, чем на лобовых станках. Стоимость К. с. также значительно выше, чем лобовых станков. Однако, несмотря на сравнительно высокую стоимость, К. с. пользуются большим распространением, и область применения их все более и более расширяется. Этому в значительной степени способствуют вводимые в них за последнее время усовершенствования. Так, например, в С. Ш. А. в последнее время получают распространение многошпиндельные автоматические К. с. Принцип работы такого станка вполне сходен с таковым многошпиндельного автомата (см. *Токарные станки* автоматические) с той лишь разницей, что рабочие шпиндели располагаются не горизонтально, а вертикально.

Лит.: [1]) Гавриленко А. П., Механическая технология металлов, ч. 4, вып. 3, Москва, 1925. Hütte (производственный), вып. 3, Москва, 1926; Hülle Fr. W., Die Grundzüge der Werkzeugmaschinen u. der Metallbearbeitung, B. 1, 5 Aufl., B., 1926; Hülle Fr. W., Die Werkzeugmaschinen, 4 Aufl., B., 1919; «Schiess-Defries-Nachrichten», Messheft 2, Düsseldorf, 1927; Franklin D. J., Turning and Boring, New York, 1915; Machinery's Encyclopedia, v. 1, p. 469—476, N. Y., 1925. **В. Пальм.**

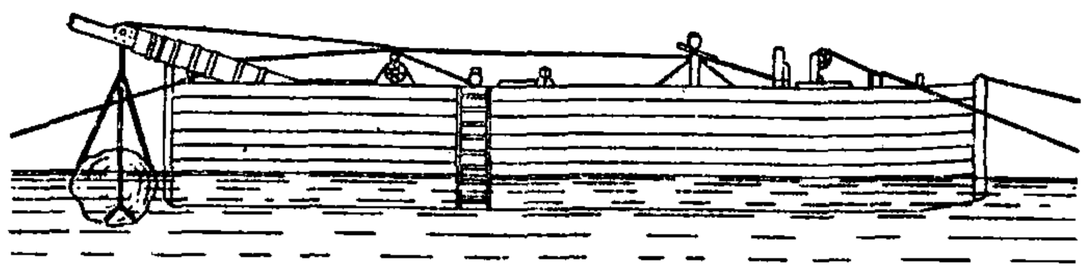
КАРЧЕПОДЪЕМНИКИ, снаряды для захватывания и удаления со дна рек и водоемов карчей (каршей), т. е. затонувших пней с корнями, а иногда целых деревьев, упавших в воду с подмытых и обвалившихся берегов, затонувших бревен и т. п. Для захватывания карчей служат железные цепи, к-рые под карчи подводятся руками или при помощи железных вилок (фиг. 1), или железные стержни (винтовые болты) с проушиной на одном конце и винтовой нарезкой на другом (фиг. 2). Сначала вилкой подводят под карчу веревку, к которой привязан конец цепи, а затем за веревку притягивают цепь и поднимают карчу. Стержень же ввинчивается в карчу посредством рычага, продетого в проушину, а вытаскивается карча при посредстве цепи, прикрепленной к кольцевому утолщению. Когда карча захвачена цепью или канатом, ее извлекают из воды при помощи более сложных карчеподъемных снарядов или карчевницы.



Фиг. 1.

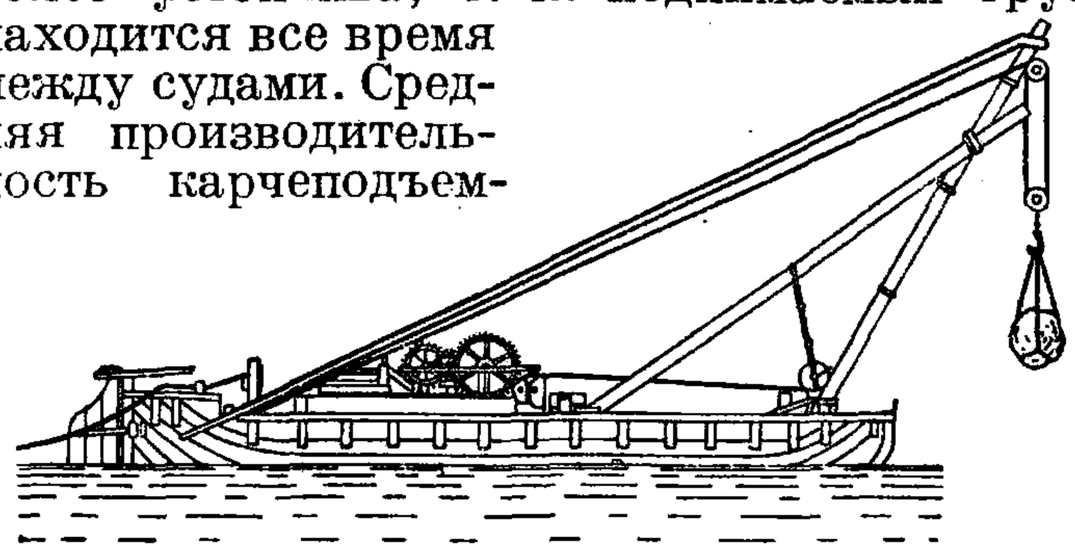
Фиг. 2.

Для облегчения подъема карчей и деревьев, занесенных значительными наносами, прибегают к подрывным работам. Подъем небольших карчей производится с переносных козел при помощи блоков — обыкновенных или дифференциальных. Подъем значительного количества или объема карчей производится при помощи кранов, устанавливаемых на судах. Самый простой тип К. для подъема небольших карчей и перемещения их в подвешенном состоянии на другое место указан на фиг. 3. Носовая часть судна снабжена наклонным бревном, опирающимся на борт, а нижним концом прочно прикрепленным к кильсону, т. е. к балке, идущей вдоль судна по днищу; конец бревна снабжен блоком и подъемной цепью. Для подъема на значительную высоту К. снабжают подъемными кранами. Подобного рода К. представляет собою плоскодонное судно,



Фиг. 3.

корма к-рого снабжена наклонной стрелой (фиг. 4) с блоком и цепью или канатом, или состоит из 2 больших лодок, соединенных между собой поперечными балками и фермами, к к-рым прикреплены тали с подъемной силой не менее 10 *m*; эта конструкция более устойчива, т. к. поднимаемый груз находится все время между судами. Средняя производительность карчеподъемных снарядов за навигационный период — 100—150 предметов (карчей, деревьев и т. п.).



Фиг. 4.

За последнее время обычно при осушительных работах, при углублении и спрямлении рек *экскаваторами* (см.) расчистку русла от карчей ведут при их же помощи, пользуясь с этой целью щипцовыми ковшами. К., применяемые в торфяном деле (см. *Гидравлический способ добычи торфа*), носят название подъемных пеньевых кранов и по конструкции подходят к экскаваторам.

Лит.: Акулов К., Брилинг Е. и Марцелли М., Курс внутренних водных сообщений, т. 1, М.—Л., 1927; Зброжек Ф., Курс внутрен. водяных сообщений, 3 изд., П., 1915. **А. Калабугин.**

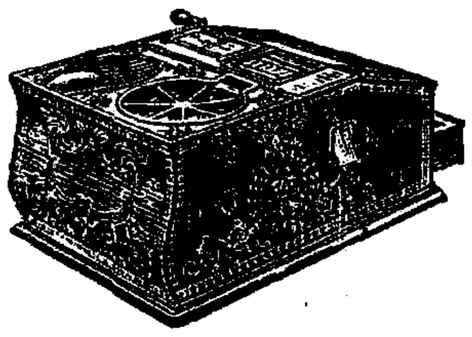
КАСАТЕЛЬНАЯ, см. *Дифференциальная геометрия.*

КАССА НАБОРНАЯ, деревянный ящик для размещения типографск. шрифта, с отделениями для каждой отдельной буквы или знака. Подробно см. *Набор* типографский.

КАССОВЫЕ АППАРАТЫ. Кассовый, контрольный или регистрационный, аппарат служил еще недавно только для регистрации всякого рода приходов и расходов в торговых и коммерч. предприятиях, давая легкий и надежный контроль, предохраняющий от различного рода как случайных, так и умышленных ошибок. В последнее время, менее 10 лет тому назад, круг применения К. а. значительно расширился. С развитием банковских операций, загромождением бухгалтерских аппаратов, вызванным производством учета при платежах за коммунальные услуги (вода, газ, электричество и пр.), с расширением работы страховых касс и пр. нагрузка служащих настолько повысилась, что явилась необходимость, с целью быстрого и надежного проведения операций, ввести в этих учреждениях механич. аппарат, облегчающий и заменяющий медленную руч-

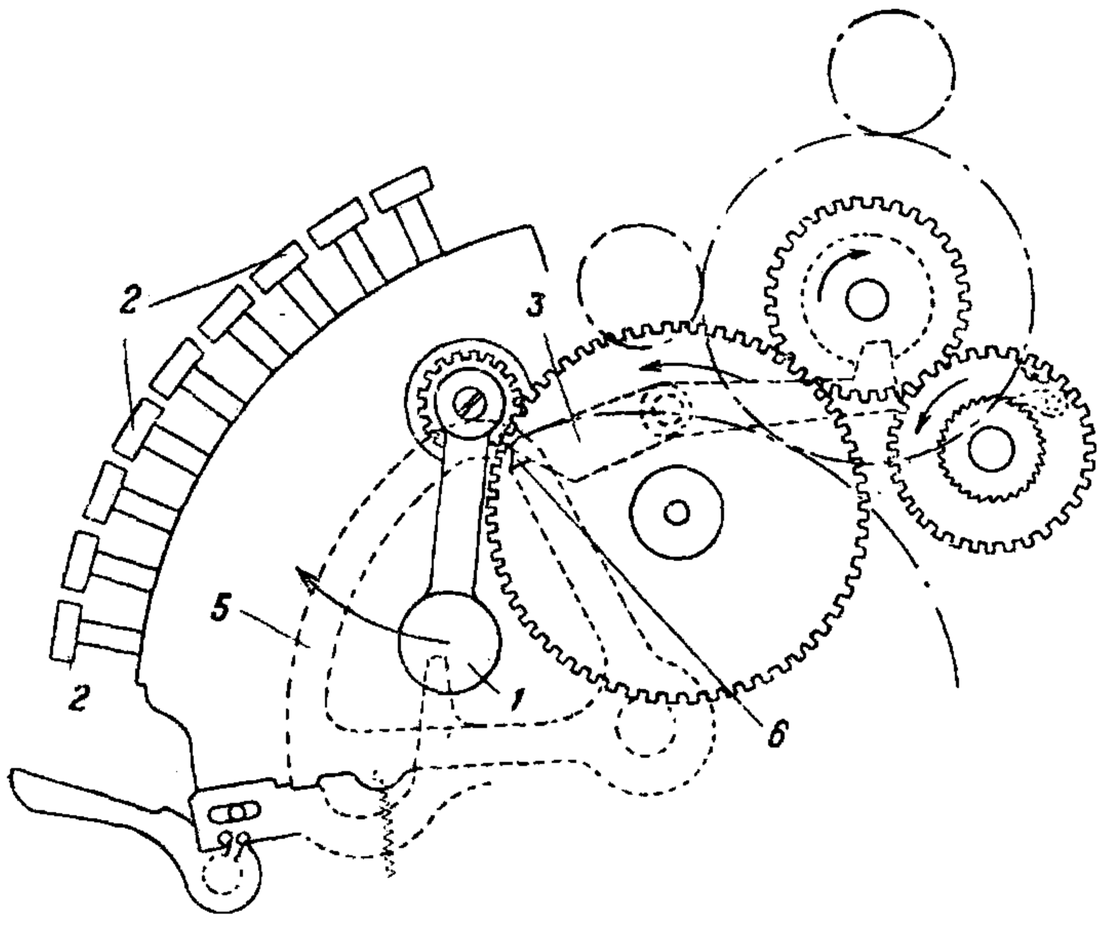
ную работу. Такой машиной явился специально приспособленный К. а. типа бухгалтерской счетной машины, дающий возможность, кроме регистрации и контроля, производить механически всю бухгалтерскую проводку по книгам и документам.

В небольших магазинах могут применяться для контроля и регистрации поступающих и расходуемых сумм простые и дешевые К. а., в к-рых запись сумм производится от руки. На фиг. 1 представлен такой К. а. Подлежащая внесению или расходованию сумма записывается от руки на ленте (контрольная лента), проходящей под верхней крышкой и выходящей над стеклянной пластинкой. На этой части ленты записывается нужная сумма, с которой она при помощи красящей ленты одновременно переносится на идущую поперек чековую ленту. После записи поворачивается ручка К. а., вследствие чего: а) открывается ранее запертый выдвижной ящик кассы; б) лента, на к-рой произведена запись, передвигается на одно деление, записанная цифра проходит под прорез стеклянной пластинки в верхней крышке К. а. и уже не м. б. исправлена; в) на чеке отпечатываются дата, фирма и нужный текст; г) отпечатанный, с надписанной от руки суммой чек появляется в боковом отверстии К. а. и может быть выдан покупателю. После совершения денежной операции ящик закрывается, и К. а. готов для дальнейшей работы. Обычно под стеклянной пластинкой на верхней крышке К. а. видны пять последних записей на контрольной ленте.



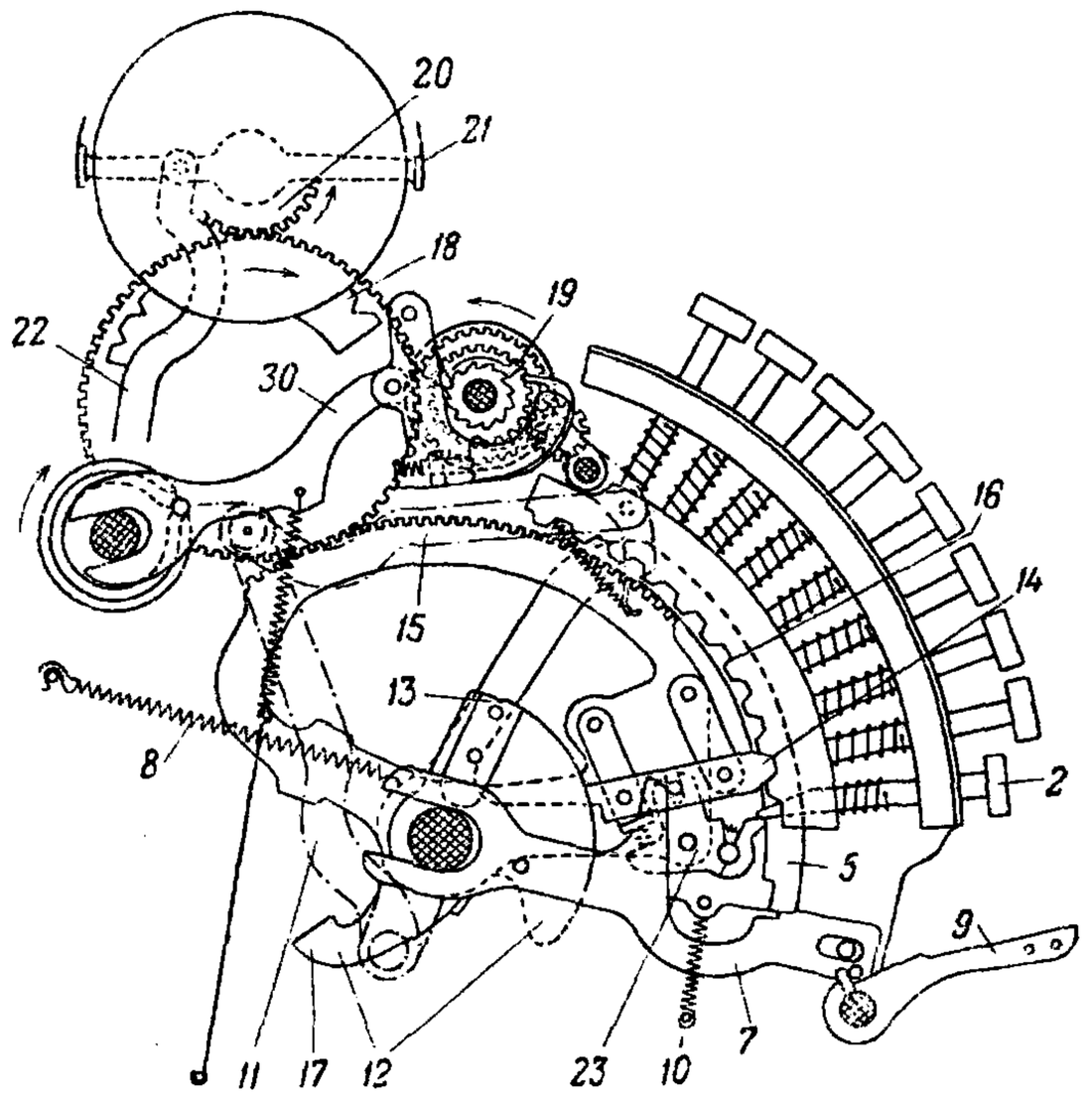
Фиг. 1.

В более крупных коммерч. предприятиях применяются К. а. с суммирующими счетчиками и приспособлением для печатания.



Фиг. 2.

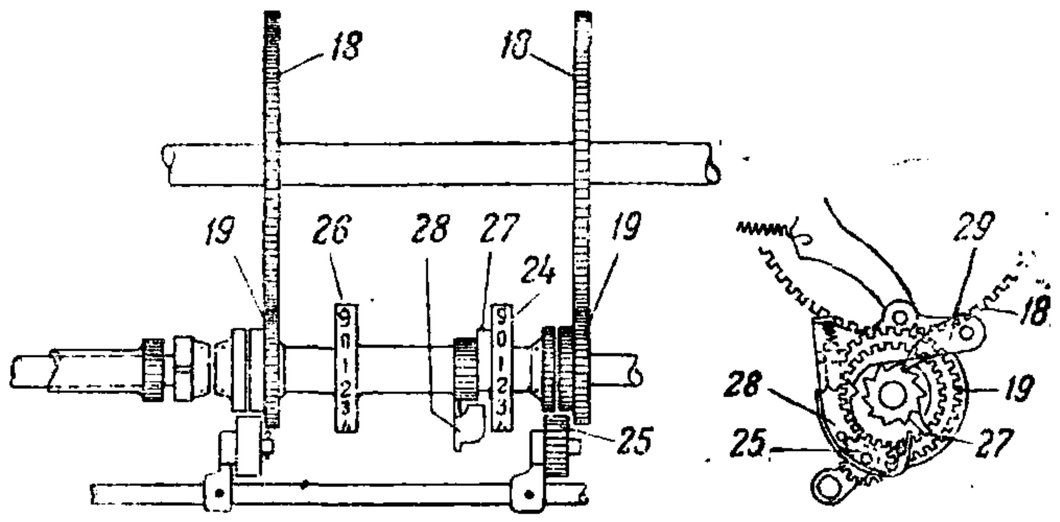
По существу К. а. представляют собою счетную машину, работающую в два периода, т. е. имеющую две фазы работы: а) установку числа и б) перенос выставленного числа на счетчики, снабженные печатающим устройством (см. *Счетные машины*). Установка числа в К. а. производится при помощи нажатия клавиш или рычагов. Первый способ, как повышающий интенсивность труда и дающий больше уверенности в отсутствии ошибок, предпочтительнее. На фиг. 2 представлена схема передачи от приводной ручки К. а. Чтобы сделать возможным поворот ручки, необходимо произвести нажатие на одну из клавиш *2*. Без нажатия на клавишу повернуть ручку нельзя, т. к. механизм заперт при помощи собачки *3* и особой шайбы. При нажатии на клавишу *2* она имеющимся на ней скосом приподнимает гребенку *5*, к-рая кулаком *6* приподнимает конец собачки *3*, освобождая так. обр. механизм и делая возможным поворот ручки *1* по часовой стрелке. Вслед за поднятой гребенкой *5*



Фиг. 3.

(фиг. 3) приподнимается рычаг *7* под действием пружины *8* и запирает гребенку *5* в ее новом положении имеющимся на рычаге *7* выступом. Если клавиша нажата ошибочно, но ручка еще не повернута, ошибка исправляется путем нажатия на клавишу *9* (рычаг для исправления ошибок). При таком нажатии рычаг *7* отводится на прежнее место; гребенка под действием пружины *10* опускается, и клавиша отжимается снова кверху. Вращая ручку, при нажатой клавише, приводят в качательное движение при помощи кривошипа *11* сектор *12*. При движении по часовой стрелке сектор подходит уступом *13* под защелку *14*, связанную шарнирно с полушестерней *15*, вследствие чего последняя выходит из одной из впадин *16* в корпусе К. а. и т. о. освобождает полушестерню *15*, которая при дальнейшем движении сектора *12* захватывается его зубом *17* и приводится в совместное движение. В течение движения полушестерня *15* сцепляется при помощи промежуточной шестерни *18* с шестернями *19* суммирующего счетчика, которые при вращении полушестерни по часовой стрелке работают вхолостую, и с шестернями *20* контрольного счетчика, к-рые приводят его цифровые колеса в течение этого процесса работы к нулю (гасят показание контрольного счетчика). С целью сделать передвижение цифровых колес контрольного счетчика невидимыми, их закрывают в это

время чехлом *21*, к-рый приводится в движение от эксцентрика при помощи соответствующей тяги *22*. После $^3/_4$ оборота ручки направление движения сектора *12* изменяется, и он начинает вращаться вместе с полушестерней *15* против часовой стрелки; такое соединение сектора *12* и полушестерни *15* происходит вследствие того, что сектор *12* уступом *13* упирается в защелку *14*. На полушестерне имеется собачка *23*, к-рая одним своим концом упирается в защелку *14*, а другим может доставать до скоса опущенной клавиши *2*. Вращаясь с полушестерней и

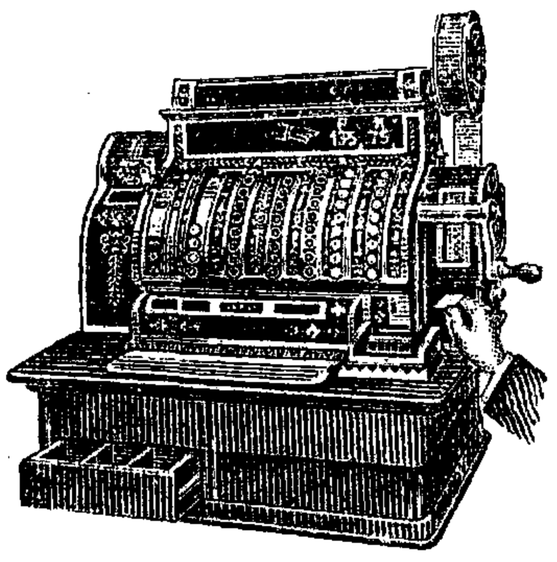


Фиг. 4.

проходя мимо опущенной клавиши (такой момент показан на фиг. 3), собачка *23* упирается своим концом в опущенную клавишу, повертывается вокруг своей оси и втискивает защелку *14* в один из десяти прорезов *16* станины, одновременно расцепляя полушестерню *15* от сектора *12*, почему в дальнейшем сектор двигается уже порожнём, а полушестерня останавливается. Такой останов, а следовательно и дуга поворота полушестерни, м. б. различен, в зависимости от того, какая из клавиш *2* нажата, а вследствие этого будут повернуты на различный угол, соответствующий опущенной клавише, контрольный счетчик *20* и суммирующий *19*, т. е. на них будут выставлены и отсчитаны те числа, которые выставлены на клавишах. В конце своего порожнего хода сектор *12* давит на рычаг *7*, опуская его и производя, т. о., действие, аналогичное действию клавиши *9*, как было описано выше, вследствие чего нажатая клавиша *2* приподнимается. Одновременно с началом движения полушестерни *15* против часовой стрелки происходит следующее: а) при помощи эксцентрика включается суммирующий счетчик *19*; б) появляется на контрольном счетчике *20* выставленное на клавишах *2* число; в) чехол *21* приподнимается, и число становится видимым; г) механизмы контрольного и суммирующего счетчиков запираются.

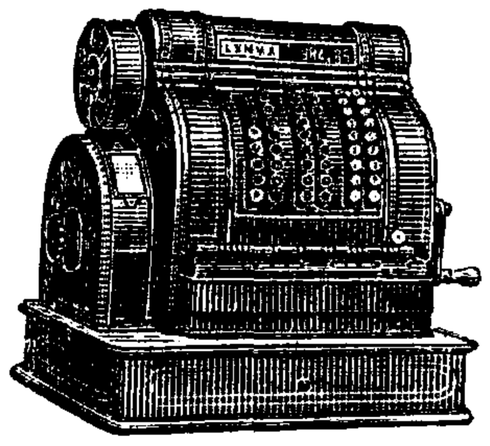
На фиг. 4 представлена схема суммирующего счетчика *19*. Цифровое колесо единиц *24* приводится в движение вводимой эксцентриком в нужный момент в зацепление промежуточной шестерней *25*. В момент перенесения десятков, т. е. когда на цифровом колесе единиц стоит «9» и надо, чтобы на колесе десятков *26* появилась «1», вступает в действие имеющийся на колесе *24* выступ *27*, который, проходя мимо хвоста собачки *28*, поднимает ее, освобождая храповик от действия защелкивающей собачки; в этот момент под действием эксцентриковой шайбы рычаг *30* (фиг. 3) толкает рычаг с собачкой *29* и переводит храповичок на 1 зуб ($^1/_{10}$) оборота; это движение передается цифровому колесу десятков *26*. Вращение ручки от руки или помощью электромотора вызывает следующие действия: а) указывается выставленное на клавишах число; б) регистрируется выставленное число на счетчике или на счетчиках; в) открывается выдвижной ящик; г) раздается сигнальный звонок. Цифровые колеса устроены т. о., что выставленная сумма м. б. одновременно прочтена как с передней, так и с задней стороны К. а. Выставленное число переносится на печатающее приспособление, с него— на контрольную ленту, двигающуюся внутри аппарата, и одновременно на чековую ленту, от к-рой автоматически отрезаются и выбрасываются готовые чеки. В крупных К. а. около каждой суммы отпечатываются буквы, обозначающие обслуживаемое кассой отделение или продавцов, а также знак для обозначения рода торговых операций (наличные, кредит, размен и т. п.). На обратной стороне чека может помещаться любая реклама. Постановка на нуль счетчика производится при помощи особого ключа.

Если касса обслуживает несколько отделений, обороты к-рых должны учитываться особо, в ней устраивают, кроме общего (главного) счетчика, отдельные (вспомогательные) счетчики. Кроме того, в кассе м. б. устроены отдельные выдвижные ящики для каждого вспомогательного счетчика, открывающиеся и учитывающие порознь каждого продавца, или каждое отделение; чтобы было открыто нужное отделение, при установке суммы, выставляют клавишу, соответствующую определенному продавцу. На фиг. 5 представлена регистрационная касса с тремя отдельными клавишами для обозначения рода продажи (наличный расчет, кредит, обмен) с одним главным счетчиком, четырьмя отдельными вспомогательными счетчиками, четырьмя отдельными выдвижными ящиками, с различными по тону сигналами.



Фиг. 5.

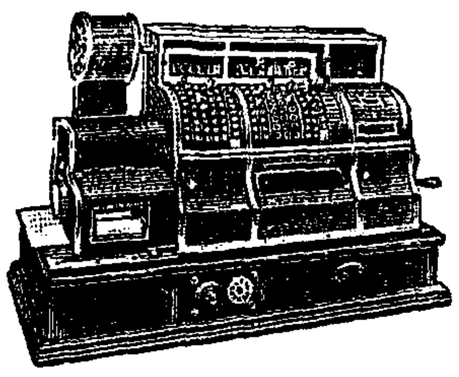
На фиг. 6 представлена касса, служащая для больших торговых оборотов, имеющая 45 клавиш для цифр и пять клавиш для вида оборота (наличные, кредит, обмен и пр.). Касса имеет двусторонний контрольный счетчик, один суммирующий счетчик, печатающее приспособление для контрольной ленты и чека. Кроме вышеуказанных особых пяти клавиш, м. б. еще клавиши для указания вида товара. Чтобы зарегистрировать сумму, нажимают сначала на клавишу сумм и вслед за этим на особую клавишу, находящуюся слева. При нажиме на моторную клавишу



Фиг. 6.

включается электромотор, и операция производится. Отпечатывается и выскакивает чек, звонит звонок, и открывается ящик. После производства операции мотор автоматически останавливается. После того как ящик закрыт, касса снова готова к операции. Если надо обменять деньги или испробовать ход машины, то нажимают только клавишу обмена, при чем в этом случае машина работает, как обычно, но с регистрацией «обмен 00,00». При нажатых клавишах с цифрами клавиша обмена не м. б. нажата; если клавиша с цифрой не нажата, то специальные клавиши нажать нельзя. При невозможности пользоваться электрическим током касса вместо мотора может быть приводима в действие вручную. Ошибочно нажатая клавиша гасится при помощи особой подачи или клавиши. Касса, кроме главного счетчика, имеет пять счетчиков вспомогательных. Установка на нуль главного счетчика производится при помощи особого ключа, установка на нуль вспомогательных счетчиков производится независимо от главного, при помощи особого ключа, при чем на нуль ставятся они все сразу. Кроме вспомогательных счетчиков, кассы снабжаются еще счетчиками для подсчета числа оборотов главного или вспомогательных счетчиков. Такие счетчики дают возможность контролировать, сколько раз был сброшен на нуль счетчик.

На фиг. 7 представлена бухгалтерская кассовая машина, построенная применительно к нуждам страховых касс. Обслуживание крайне просто. Машина может печатать записи в книгу. Карточка личного счета клиента закладывается в машину, приводится при помощи нажатия на клавишу в движение, и на ней механически записывается следуемая сумма. После удаления карточки в печатающее приспособление закладывается книга или квитанция, в которых сумма также пропечатывается. В тот же момент машина может отпечатать сразу еще два документа. После второго отпечатывания установочные рычаги освобождаются и д. б. сброшены на нуль.



Фиг. 7.

В современных условиях работы учреждений применение К. а. очень разнообразно. Кроме магазинов, отелей, ресторанов, они применимы в банках, налоговых управлениях, страховых кассах, газетных экспедициях и пр. Везде при применении касс повышается надежность контроля, и получается экономия рабочего времени. **Ф. Дроздов.**

КАСТОРОВОЕ МАСЛО, Oleum Ricini, жирное масло из семян *клещевины* (см.). За границей в продаже обращаются гл. обр. семена трех сортов клещевины—американской, индийской (из Бомбея) и итальянской; эти семена различаются как по форме, так и по окраске. Индийские семена, наименьшие по величине и наиболее светлые по окраске, дают наименьший выход К. м. Содержание масла в заграничных семенах колеблется в пределах от 50 до 70%. В СССР клещевина разводится гл. образом на С. Кавказе и в Ср. Азии; масличность союзной клещевины (Ср. Азии) 43—49%. В 1928 г. в СССР добыто К. м. из своей клещевины 5 500 *т*.

Для получения К. м. плоды снимают недозрелыми; для дозревания их складывают в кучи, затем в слое в 10 *см* подсушивают на солнце, при чем коробочки раскрываются; после этого семена очищают, сортируют, освобождают от кожицы, измельчают и прессуют. Лучше всего применять закрытые прессы и прессовать на холоду (см. *Маслобойное производство*). Измельченные жмыхи, содержащие еще ок. 7% масла, подвергаются экстрагированию бензином или другими растворителями. Остаток идет как удобрительный тук. К. м., полученное от первого прессования, применяется гл. обр. как смазочное масло для авиационных двигателей, для фармацевтическ. целей и как прибавка к лакам; масло второго и третьего прессований, а равно экстракционное К. м., применяется почти исключительно в текстильной и мыловаренной промышленности.

Характерной особенностью К. м. является его способность смешиваться в любых отношениях с абсолютным спиртом и с ледяной уксусной к-той. При 15° 1 ч. К. м. растворяется в 2 ч. 90%-ного и в 4 ч. 84%-ного спирта. Нейтральное К. м. практически нерастворимо в петролейном эфире и лигроине. По сравнению с другими маслами К. м. обладает значительно более высоким уд. в. (0,946—0,966) и очень высокой вязкостью. Данные, характеризующие К. м., следующие: число омыления 176—183,5, иодное число 81,4—90,6, число Момене 46—47; особенно характерным и типичным для К. м. является его ацетильное число 149,9—150,5; коэффициент преломления 1,4783—1,4789 при 20°. С.-кавказское К. м. первого прессования имеет: уд. в. 0,963, кислотное число 0,45, число омыления 177,7, иодное число 84,9; *масло второго прессования*—уд. вес 0,963, кислотное число 1,16, число омыления 179,0, иодное число 85,7. Чистое К. м. хорошо сохраняется и долго не горкнет, что Левкович приписывает действию *при рафинации горячей воды, разрушающей* фермент К. м. Применяемое для медицинских целей К. м. бесцветно и прозрачно; техническ. условия для медицинского К. м.: уд. вес 0,963, иодное число не выше 85,8, кислотное число 0,8 в градусах Кётстёрфера (Kötstörfer). Техническое К. м. имеет зеленовато-желтый оттенок.

Главную составную часть К. м. составляет глицерид рицинолевой к-ты—ненасыщенной жирной оксикислоты

$$CH_3 \cdot (CH_2)_5 \cdot CH(OH) \cdot CH_2 \cdot CH : CH \cdot (CH_2)_7 \cdot COOH,$$

к-рая и обусловливает особые свойства К. м., отличающие его от других жиров и масел. Кроме рицинолевой к-ты, в К. м. в числе жирных к-т установлено присутствие стеариновой и диоксистеариновой к-т. Далее, в семенах клещевины был найден жирорасщепляющий гидролитический фермент—л и п а з а, применяемый в технике для омыления жиров и масел. Физиологическое действие семян клещевины, повидимому, обусловливается гл. обр. присутствием особого токсина—р и ц и н а. Кроме того, из семян был выде-

лен алкалоид, относимый позднейшими исследователями к производным пиридина.

К. м. кипит при 265° с разложением, при чем образуются: акролеин, энантол, ундециленовая к-та и вода. При дальнейшем нагревании получается целый ряд различных продуктов полимеризации, и, если нагревать достаточно долго, остается масло, к-рое, в противоположность самому К. м., нерастворимо в спирте и ледяной уксусной к-те, но смешивается в любых количествах с минеральными маслами и углеводородами парафинового ряда; этот продукт обращается в продаже под названием флорицина. В нем установлено Томсом и Фендлером наличие глицерида двуосновной триундециленовой к-ты, к-рый при дальнейшем нагревании переходит, с выделением акролеина и воды, в ангидрид триундециленовой кислоты. При продувании воздуха в нагретое до 150° К. м. происходит его дальнейшее загустение, сопровождаемое возрастанием уд. в.

Гидрированием К. м. получают жирные оксикислоты, из к-рых 12-оксистеариновая к-та, получаемая в наибольшем количестве, обладает способностью к образованию эстолидов. Под этим термином понимают продукты этерификации карбоксила жирной к-ты спиртовым гидроксилом жирной оксикислоты:

$$CH_3\cdot(CH_2)_5\cdot CH\begin{cases}OH\\ CH_2\cdot CH{:}CH\cdot(CH_2)_7\cdot COOH\end{cases}+$$
$$+HOOC\cdot(CH_2)_7\cdot CH{:}CH\cdot CH_2\cdot CH(OH)\cdot(CH_2)_5\cdot CH_3=$$
$$=CH_3\cdot(CH_2)_5\cdot CH\begin{cases}O\cdot CO\cdot(CH_2)_7\cdot CH{:}CH\cdot CH_2\cdot CH(OH)\cdot(CH_2)_5\cdot CH_3\\ CH_2\cdot CH{:}CH\cdot(CH_2)_7\cdot COOH\end{cases}+H_2O$$

эстолид

Эстолиды являются в настоящее время наиболее высокомолекулярными соединениями, получаемыми синтетически. Теоретически они интересны тем, что т. о. можно получать комплексы с мол. весом от 12 000 до 20 000, соответственно числу молекул, использованных для эстолидного образования. Технический способ их получения осуществляется нагреванием соответствующей к-ты до желаемой степени и затем этерификацией глицерином. Эти операции производятся в присутствии катализаторов. Подобный продукт, обладающий ценными технич. свойствами, выпущен в продажу под названием полинола (Polynol).

При обработке касторового масла концентрированной серной кислотой получается целый ряд продуктов, главным образом кислый сложный эфир серной кислоты и глицерида рицинолевой кислоты. Кроме того, концентрированная серная кислота может присоединяться по месту двойной связи, образуя моноэфир серной кислоты и диоксистеариновой кислоты:

$$CH_3\cdot(CH_2)_5\cdot CH(OH)\cdot(CH_2)_2\cdot\underset{\displaystyle OSO_3H}{\underset{|}{CH}}\cdot(CH_2)_7\cdot COOH$$

Серная к-та может действовать и окисляюще с образованием низкомолекулярных продуктов. Наконец, она одновременно действует на глицериды, расщепляя их, что вызывает образование свободной рицинолевой кислоты и эстолидоподобных соединений.

К. м. находит широкое применение в технике. Вследствие своей высокой вязкости оно пригодно для целей смазки—или в обычном виде, или в виде упомянутого выше флорицина, или в смесях с минеральными маслами. В текстильной промышленности К. м. применяется в виде нейтрализованного сульфированного продукта, известного под названием *ализаринового масла* (см.), при крашении ализарином и различными другими красителями. Из сульфированного К. м. приготовляют также ряд препаратов, имеющих значение при различных процессах обработки тканей в текстильной промышленности, в особенности там, где употребляется жесткая вода, напр. в смеси с хлорозамещенными углеводородами (мыло «монополь» или «тетраполь»). Применение нейтрализованного сульфированного К. м. в виде различных моющих препаратов, а также в смесях с жировым мылом или растворителями объясняется тем, что мыла́ из сульфированного К. м. в жесткой воде не осаждаются кальциевыми и магниевыми солями. Сульфированное К. м. находит применение при изготовлении т. н. растворимых в воде минеральных масел для смазки станков (автоматов), в аппретуре тканей, при изготовлении нитроцеллюлозных и ацетилцеллюлозных лаков, а также фенольных смол.

Крепкой щелочью К. м. омыляется на холоду; полученное мыло—белого или зеленовато-белого цвета, аморфно, просвечивает, обладает достаточной твердостью, в воде легко растворяется, равно как и в слабых растворах щелочи и соли. При мыловарении касторовое масло применяется только как небольшая добавка к другим жирам, для придания мылу мягкости, нежности и некоторой прозрачности.

Лит.: «Маслобойно-жировое дело», М., 1929, *1*; Leffl K., Technologie der Fette und Öle, Brschw., 1926; Hefter G., Technologie der Fette und Öle, B. 3, 10 Aufl., B., 1921; Handbuch der Chemie und Technologie der Öle und Fette, hrsg. v. L. Ubbelohde u. F. Goldsmidt, B. 4, Leipzig, 1926; Bauer K., Fette und Öle, Berlin, 1928. **Г. Петров.**

КАТАЛИЗ, изменение (в обычном понимании—увеличение) скорости химич. реакций в присутствии посторонних веществ, т. н. катализаторов (Ктр.), остающихся после завершения реакции в массе (макроскопически) неизмененными. К.—чрезвычайно распространенное явление. Известно очень мало реакций, ход к-рых не зависит от присутствия посторонних веществ. Соли, к-ты, щелочи, порошкообразные металлы, окислы, стенки сосуда, влага, среда, в к-рой идет реакция,—все это оказывает влияние на скорость последней, так что практически «чистые» случаи химической кинетики (см. *Кинетика химическая*) встречаются как исключение. Часто термином К. объединяют все явления возрастания скорости реакции, каковы бы ни были причины этого ускорения. Вследствие множественности причин, вызывающих явления К., нет общей теории К., к-рая была бы применима ко всем реакциям: механизм, пригодный для объяснения одной реакции, часто неприменим для дру-

гой. Обычно сводят действие Ктр. к образованию промежуточных легко распадающихся веществ, или же функцию Ктр. усматривают в том, что благодаря его присутствию реагирующие вещества переходят в нек-рое особое состояние, облегчающее ход реакции. Современное состояние вопроса о К. таково, что в нек-рых случаях б. или м. известен механизм реакции, но это знание скорее индуктивное, и на основании его нельзя количественно предвидеть ускоряющее действие того или иного вещества на реакцию. Явления К. имеют большое значение в химии, т. к. они 1) охватывают значительный круг реакций, 2) необходимы для уяснения природы химич. взаимодействия и 3) имеют большое применение в технике, где зачастую осуществление процесса в промышленном масштабе сводится к подысканию подходящего катализатора.

К. и термодинамика. Основным вопросом К. является следующий: можно ли при любых заданных условиях ($t°$, давление и концентрации исходных веществ) найти Ктр., к-рый ускорил бы реакцию в желательном направлении, прямом или обратном. Согласно 2 принципу термодинамики, химич. реакции идут в сторону уменьшения свободной энергии системы (или в сторону возрастания энтропии) до тех пор, пока не будет достигнуто нек-рое конечное состояние равновесия между исходными и результирующими веществами. С момента достижения этого состояния концентрации перестают изменяться, и тогда система веществ находится в динамическом стационарном (в смысле концентраций) равновесии (см. *Действующих масс закон*), характеризуемом для каждой $t°$ константой равновесия, т. е. определенным соотношением концентраций всех входящих в реакцию веществ. При химич. ур-ии типа

$$nA + mB \rightleftarrows uC + rD$$

в простейшем случае, когда вещества подчиняются законам идеальных газов, имеем:

$$\frac{[A]^n[B]^m}{[C]^u[D]^r} = K, \qquad (1)$$

где K—константа равновесия, а величины в скобках — концентрации соответственных веществ при равновесии. Значение K как ф-ии $t°$ определяется термодинамич. ур-ием изохоры реакции

$$\frac{d\ln K}{dT} = \frac{Q}{RT^2}, \qquad (2)$$

где T — абс. темп-ра, Q — тепловой эффект реакции, R—газовая константа, отнесенная, как и Q, к *г*-молю и равная 1,98 cal/*г*. При Q=Const (что верно лишь в небольшом $t°$-ном интервале) ур-ие (2) дает:

$$K = Pe^{-\frac{Q}{RT}}, \qquad (3)$$

где P—константа, введенная интегрированием. Течение реакции направлено в сторону достижения таких концентраций, при к-рых выполняется ур-ие (1). Теория К. должна считаться с постоянством константы K, т. к. возможность нескольких значений K при одной $t°$ противоречит 2-му принципу, являясь случаем perpetuum mobile 2-го рода. Химическая кинетика показывает, что K есть отношение констант скоростей обратной (k_2) и прямой (k_1) реакций: $K=\frac{k_2}{k_1}$. Если скорости этих взаимно противоположных реакций обозначить через v_1 и v_2, то

$$\left.\begin{aligned} v_1 &= k_1 C_A^n C_B^m \\ v_2 &= k_2 C_C^u C_D^r \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

где обозначения C с индексами показывают соответствующие концентрации. С течением времени последние принимают такие значения, что, при данных k_1 и k_2, v_1 становится равным v_2. Это приводит к выражению:

$$\frac{[A]^n[B]^m}{[C]^u[D]^r} = \frac{k_2}{k_1} = K. \qquad (5)$$

Функция Ктр. заключается в том, что в его присутствии реакция скорее доходит до состояния равновесия. Термодинамика дает возможность найти приближенное значение K из теплового эффекта, теплоемкостей и химич. констант. Если расчет (напр. по приближенному ур-ию Нернста) показывает, что намеченная реакция связана с уменьшением свободной энергии, то имеет смысл искать какого-нибудь Ктр. для ускорения реакции. Возможность кажущегося изменения константы равновесия от количества внесенного Ктр. (напр. при гидролизе этилацетата в присутствии соляной к-ты) объясняется тем, что Ктр. влияет на коэфф-ты активности (см. *Диссоциация электролитическая*) составных частей, так что реальные концентрации (активные массы) в присутствии Ктр. и в его отсутствии могут быть различными. Реакция протекает и без Ктр., приводя к тому же количественному соотношению, но на это требуется больше времени. При наличии веществ в концентрациях, находящихся в равновесии, Ктр. не может оказывать какого-либо влияния. Увеличивая константу скорости прямой реакции k_1, Ктр. должен увеличить соответственно и k_2, что вытекает из неизменности отношения $k_2:k_1$. Один и тот же Ктр. может ускорять либо прямую либо обратную реакцию, в зависимости от того, с какой стороны реакция подходит к равновесию. Платина или палладий, употребляемые при гидрогенизации бензола в циклогексан, применяются при $t°$ выше 200° для ускорения противоположной реакции, т. е. для превращения циклогексана в бензол; первичные и вторичные спирты, получаемые путем гидрогенизации альдегидов и кетонов при 150—180° с медью или никелем в качестве Ктр., регенерируются при $t°$ 250—300° в присутствии того же Ктр.

К. и химическая кинетика. Теория химич. кинетики приводит к следующему выражению для константы скорости:

$$\left.\begin{aligned} k_1 &= P_1 e^{-\frac{Q_1}{RT}} \\ k_2 &= P_2 e^{-\frac{Q_2}{RT}} \end{aligned}\right\} \qquad (6)$$

Сопоставляя ур-ия (6) с ур-ием (3), находим:

$$Q = Q_2 - Q_1; \quad P = \frac{P_2}{P_1}. \qquad (7)$$

В константу скорости входят факторы: кинетич. (P_1, P_2) и энергетический (Q_1, Q_2). Поскольку реакция осуществляется при столкновениях молекул, ее скорость должна за-

виселъ от числа последних, от расстояний, на к-рые должны подойти друг к другу молекулы для наступления реакции, от средней скорости движения молекул и от характера их соударения (двойное, тройное и т. д. столкновение). Все эти факторы находят отражение в члене P_1 и соответственно P_2. Факторы Q_1 и Q_2 выражают энергию активации прямой и обратной реакций. Опыт показывает, что в каждый данный момент только незначительная часть из общего числа молекул способна к реакции (например, для случая распада пятиокиси азота, N_2O_5, только одна молекула из 10^{17} является активной), при чем число таких активных молекул быстро возрастает с $t°$. В связи с этим считают, что молекула должна в процессе реакции пройти через нек-рое промежуточное состояние, получая при этом избыточную энергию активации, к-рая уменьшает ее сопротивляемость, облегчая внутримолекулярную перегруппировку или распад. Длительность этого промежуточного состояния—порядка 10^{-8} ск. Согласно современным представлениям о строении материи, атомы и молекулы могут существовать в ряде стационарных (квантовых) состояний разной степени устойчивости и разной вероятности взаимных переходов. В случае атомов—наиболее устойчивым (соответственно минимуму запаса потенциальной энергии) является такое состояние, при к-ром электронные орбиты наиболее близки к ядру атома. Сообщая атомам энергию, отвечающую т. н. резонансным потенциалам, можно заставить электроны перейти на более далекие орбиты. Аналогичные явления (в усложненной форме) имеют место, как показывают спектральные исследования, и в молекулах. Активация молекулы, т. е. вызванный поглощением энергии переход электронов на более высокий квантовый уровень, влечет за собой особое состояние метастабильности, когда прочная, нормальная связь составных частей молекулы ослаблена. Это состояние (предиссоциация) могло быть изучено фотохимически для ряда молекул благодаря тому, что активация, или возбуждение, м. б. вызвана поглощением света определенной длины волны. Причиной активации может явиться столкновение молекул, движущихся с большими скоростями. При этом м. б. учтена кинетич. энергия не только прямолинейного движения, но и вращательного и колебательного. Механизм реакции с активацией мыслится по схеме:

$$n \rightleftarrows a \rightarrow \begin{cases} a' \rightarrow n' \\ a'' \rightarrow n'' \end{cases} \qquad (8)$$

Нормальная молекула n в результате столкновения или другим путем получает энергию активации и переходит в возбужденное, активное состояние a. У образовавшейся активной молекулы есть две возможности: 1) она может столкнуться с молекулой исходного вещества n: тогда энергия активации рассеивается, распределяясь между двумя молекулами, и происходит дезактивация (процесс, обратный активации); 2) она может самопроизвольно распасться на два активированных продукта реакции a' и a''; последние, сталкиваясь с нормальными исходными молекулами, отдают им свою избыточную энергию и сами превращаются в нормальные молекулы конечных продуктов; за счет отданной энергии исходные молекулы активируются, и реакция продолжается прежним путем; такой механизм называется цепным механизмом и, возможно, имеет место в большинстве каталитич. процессов. В нек-рых случаях звеньями реакционной цепи м. б. атомы, образующиеся при активации. Причина активации может также заключаться в поглощении света (радиационная теория).

Увеличение константы скорости при наличии Ктр. может произойти либо при возрастании P_1 либо при уменьшении Q_1 (ур-ие 6). P_1 может увеличиться в том случае, когда реакция высокого порядка, т. е. требующая одновременного столкновения нескольких молекул, может осуществляться в присутствии Ктр. через промежуточн. реакцию низшего порядка. При нормальных условиях число тройных столкновений примерно в 1 000 раз меньше числа двойных; если реакция 3-го порядка протекает с помощью Ктр. по ур-ию 2-го порядка, то при прочих равных условиях ее скорость будет значительно больше. P_1 может также возрастать, если увеличивается радиус столкновения. В случае обыкновенных электронейтральных молекул взаимодействие их обнаруживается лишь при сближении на расстояние порядка молекулярных размеров ($\sim 10^{-8}$ *см*). В случае же ионов — силы притяжения растут и сказываются на больших расстояниях; вследствие этого на беспорядочное движение молекул налагается новое условие, и число столкновений возрастает. Фактор Q_1 может уменьшиться, например, в том случае, когда промежуточная реакция протекает при меньшей энергии активации. Чем меньше избыток энергии, требуемый для приведения молекулы в активное состояние, тем больше число молекул, могущих активироваться при столкновении. Если распад молекулы AB по ур-ию $AB \rightarrow A + B$ требует энергии активации Q_1, если, далее, AB легко и быстро дает с Ктр. C комплекс ABC, распад к-рого $ABC \rightarrow A + B + C$ идет с энергией активации $Q_1 - a$, то при одинаковых условиях комплекс ABC распадается быстрее в $e^{\frac{a}{RT}}$ раз. При средних значениях $T \cong 500°$ и величине $a \cong$ 20 000 cal на *г*-моль (во многих опытах имеют место именно такие условия для ряда реакций на поверхности Ктр.) скорость возрастает в десятки млн. раз. Уменьшение Q_1 может происходить при адсорбции, когда молекулы, налетая на поверхность адсорбента, становятся реакциеспособными. В табл. 1 приведен ряд случаев, когда реакция идет в присутствии Ктр. и без него; в первых случаях энергия активации значительно ниже.

Различают К. гомогенный—когда Ктр. находится в одной фазе с реагирующими веществами, и гетерогенный. Последний приобрел большое технич. значение. В этом случае реакция чаще всего происходит на поверхности твердого Ктр. Обычно Ктр. действует в незначительн. количестве: 1 *г*-атом платинового золя оказывает ката-

Табл. 1.—Энергия активации нек-рых простейших реакций (Q_1 — в cal на $г$-моль).

Реакция	Q_1 без Ктр.	Q_1 в присутствии Ктр.	Катализатор
Распад N_2O .	58 500	32 500	Платина
			Золото
» HJ .	44 000	25 000	Золото
» NH_3	70 000—80 000	39 000	Вольфрам
Образование H_2S	51 400	25 750	Кислород

литич. действие на $7 \cdot 10^7$ $л$ перекиси водорода; присутствие 10^{-13} $г$ нормального раствора $CuSO_4$ ускоряет окисление сульфита натрия в сульфат; часто роль Ктр. играют малейшие следы воды и других веществ.

В качестве Ктр. в лабораторной и заводской практике употребляются восстановленные металлы (гл. обр. магний, алюминий, марганец, никель, железо, медь, серебро, золото, платина, палладий, осмий), металлоиды (сера, фосфор, хлор, бром, иод), окислы, минеральные к-ты, щелочи и многие другие неорганич. и органич. соединения. Способ приготовления Ктр. влияет на их эффективность; существ. значение здесь имеет характер поверхности, способ получения (мокрым или сухим путем, из тех или иных соединений данного элемента), $t°$ обработки, сушки, прокаливания, наличие примесей. При гетерогенном К. обычно наносят Ктр. на подходящую основу, или подкладку, выбирая для этого вещество с сильно развитой поверхностью (кизельгур, активированный уголь, пемза, силикагель и др.); в частности, подкладкой может служить вещество, из к-рого готовится Ктр. При гидрогенизации над никелем получают хорошие результаты, когда исходная окись его восстановлена не нацело: т. о., здесь Ктр. является никель, распределенный на зернах его окиси. В целях получения Ктр. в наиболее раздробленном состоянии пользуются их коллоидными растворами (золями); вследствие малой устойчивости последних употребляют обычно золи, защищенные обратимыми (лиофильными) коллоидами. Золи Pt и Pd, защищенные лизальбиново- или протальбиновокислым натрием, нашли большое практич. применение (Ктр. Пааля, см. *Гидрирование*). Связанное с защитой обволакивание частичек Ктр. увеличивает и длительность его действия, понижая, однако, интенсивность последнего. При гомогенном К. известен ряд случаев, когда скорость реакции пропорциональна концентрации Ктр. (напр., скорость разложения диазосоединений в водном растворе пропорциональна концентрации водородных ионов, являющихся Ктр.); однако, как общее правило, эта зависимость более сложна. В гетерогенном катализе главными факторами являются строение, характер и специфичность поверхности. Физико-механическ. условия—скорость пропускания вещества над Ктр., перемешивание, способ наложения Ктр. на подкладку, размещение Ктр. в реакционном пространстве, скорость диффузии—имеют большое значение. Платина в виде черни, пластинок, тампона, сетки действует по-разному, при чем форма, пригодная для одной реакции (напр. для окисления сернистого газа), не пригодна для другой (напр. окисления аммиака). Эти факторы затрудняют точную воспроизводимость опытов. Макроскопически Ктр. после реакции остается таким же, каким был до начала; наблюдаются изменения лишь поверхностной структуры, напр. появление налетов каталитич. пыли. Общей характеристикой Ктр. является то, что его количество не находится в стехиометрич. связи с количеством прореагировавшего вещества. Это не исключает возможности промежуточных образований, в особенности если принять во внимание цепной механизм К. или быстрое активирование на поверхности. При выборе Ктр. на практике исходят не только из учета его ускоряющей способности (одна и та же реакция м. б. ускорена разными Ктр.), но также принимают во внимание дешевизну, легкость получения, чувствительность и капризность Ктр. к изменению условий. При синтезе аммиака уран, напр., дает хорошие выходы, но обладает недостатком — чувствительностью к влаге, понижающей его действие; поэтому практически удобнее дешевое и более постоянно действующее железо, несмотря на меньший выход продуктов, получаемых при работе с этим Ктр. В начале действия Ктр. выходы растут, постепенно достигая максимума, но с течением времени изменение структуры, пористости, деформация поверхности от температурных влияний, загрязнения — влекут за собой понижение эффективности катализа.

Действие поверхности при К. В случае гетерогенного К. существенны явления, имеющие место при столкновении молекул с Ктр. Принято считать, что при этом происходят изменения физико-химич. порядка, в результате к-рых молекулы становятся более реакциеспособными. Действие Ктр. связано с *адсорбцией* (см.) и м. б. весьма многообразным. Изучение процессов, происходящих при ударе молекул жидкости или газа о твердую поверхность, должно помочь выяснить природу К. 1) Удар о поверхность может произойти так, что молекула ориентируется, приближаясь к Ктр. одной своей частью (полярной) и отталкиваясь—другой. Ориентация может иметь место для молекул, обладающих электрич. моментом. Поскольку молекулы состоят из электронов и положительных ядер, возможна структура, при к-рой центры тяжести положительных и отрицательных зарядов не совпадают. Такие молекулы дипольны (см. *Диполь молекулярный*), т. е. имеют электрический момент $\neq 0$. При адсорбции молекула лежит на поверхности своей полярной группой. Такая ориентация может способствовать К. При дегидрогенизации алкоголей последние прилегают к Ктр. своей группой CH_2OH, при чем в этом месте происходит ослабление связей, активация и отщепление водорода. 2) Действие силового поля поверхности может вызвать деформацию адсорбированной молекулы, т. е. смещение ее электрич. зарядов (поляризацию), в результате чего получается дополнительный электрический момент; такое нарушение нормального состояния способствует активации. Ориентационное и поляризационное взаимодействие

может рассматриваться как проявление сил вторичной валентности. 3) При адсорбции незначительных количеств вещества может выделяться много энергии (экзотермичность адсорбции). Так, при поглощении углем первых порций кислорода выделяется 220 000 cal на *г*-молекулу O_2. Это количество превышает теплоту горения твердого угля (96 000 cal) и близко к энергии горения газообразного углерода (около 150 000 cal), вычисляемой из теплоты его возгонки. Это указывает на то, что поверхностные атомы могут удерживаться слабо и быть в полусвободном состоянии. Выделяющееся тепло может служить источником активации. 4) Действие поверхности Ктр. может заключаться в ионизации. Легкость и быстрота взаимодействия ионов хорошо известны. При адсорбции кислорода на платине, повидимому, происходит переход электрона от металла на адсорбируемое вещество. Термоионный эффект (работа вырывания электронов) для платины равен 126 500 cal на *г*-атом; сродство молекул кислорода к электронам равно 80 500 cal. Если адсорбция заключается в ионизации кислорода за счет электрона платины, то требующаяся энергия составляет 46 000 cal, что близко к опытному инкременту энергии ≅50 000 cal. Такое же соотношение наблюдается и при адсорбции на вольфраме. Ионизируются не все молекулы, ударяющиеся о поверхность Ктр., а только часть их. 5) Адсорбция на Ктр. может сопровождаться диссоциацией адсорбированного вещества на атомы; последние являются мощными активаторами. Тепловые эффекты реакций, если при расчетах исходить из атомов, значительно превышают энергию, выделяющуюся при взаимодействии молекул. Это объясняется значительной энергией, необходимой для диссоциации молекул (напр., $H_2 \rightarrow 2H$ — —102 000 cal). 6) Силы, действующие между Ктр. и реагирующими молекулами, принципиально не отличимы от химич. сил. Вследствие неровностей и выступов поверхности Ктр., его поверхностные атомы не имеют окружения, соответствующего внутренним атомам, и могут рассматриваться как образования с ненасыщенными валентностями. При адсорбции могут образоваться временные «адсорбционные» соединения—комплексы, к-рые не всегда поддаются обнаружению химико-аналитич. путем, вследствие малой длительности их существования и быстрого перехода в устойчивые продукты реакции. Действие металлическ. Ктр. при реакциях с водородом и азотом может итти через образование гидридов и нитридов, существование к-рых доказано спектроскопич. методами. 7) Время пребывания молекулы в адсорбированном состоянии на поверхности Ктр. м. б. достаточно продолжительным. Это дает возможность другим молекулам, налетающим на поверхность, также вступать в реакцию. Такая фиксация молекул на Ктр. увеличивает число столкновений. 8) Специфичность действия Ктр. связана с его химич. структурой. Так, при бромировании этилена активными оказываются такие Ктр, у которых в состав молекулы входит кислород (стекло, стеариновая к-та, цетиловый алкоголь и др.); на парафине скорость реакции в 17 раз меньше, чем на стекле. Введение пропилового спирта на парафиновую поверхность при хлорировании приводит к возрастанию скорости. 9) В связи со сложным рельефом поверхности (трещины, впадины, «пики» атомов) и с активностью не всех, а только части общего числа адсорбированных молекул высказана теория, согласно к-рой на поверхности Ктр. активными являются только некоторые точки (активные центры), при чем места, катализирующие одну реакцию, оказываются инертными для другой. Нагревание, связанное со скольжением атомов и с нивелированием поверхности, уменьшает число активных центров. На одних участках протекает химическая реакция, а на других—лишь обратимая адсорбция. При гидрогенизации этилена эффективна 0,01 поверхности никеля. Количество N молекул, налетающих в ск. на $см^2$ поверхности Ктр., дается уравнением:

$$N = 43{,}75 \cdot 10^{-6} \frac{p}{\sqrt{MT}}, \qquad (10)$$

где p—давление в барах ($\sim 10^{-6}$ Atm), T—абсолютная темп-ра, M—молекулярный вес. Большое значение характера поверхности обусловливает тот факт, что скорость реакции в присутствии Ктр. не определяется однозначно величиной энергии активации, как видно из разложения $H \cdot COOH$ на CO_2 и H_2, при различных Ктр. (табл. 2).

Табл. 2.—Энергия активации и константы скоростей разложения H·COOH.

Катализатор	Энергия активации в cal на *г*-молекулу H·COOH	Константы скоростей при 200°
Стекло	24 500	$2{,}5 \cdot 10^{-7}$
Золото	23 500	$9{,}2 \cdot 10^{-6}$
Серебро	31 000	$1{,}3 \cdot 10^{-5}$
Платина	22 000	$4{,}4 \cdot 10^{-4}$
Родий	25 000	$2{,}4 \cdot 10^{-3}$
Палладий	39 000	$1{,}0 \cdot 10^{-3}$

Действие платины и родия эффективнее, чем стекла и золота, хотя энергия активации остается того же порядка. 10) Ктр. оказывает специфич. влияние на ход реакции, обусловливая переход последней через промежуточные стадии. В связи с этим различные Ктр. по-разному ускоряют одну и ту же реакцию. Реакция образования CO_2 и H_2 из CO и H_2O протекает при 200—300° в присутствии меди; при 400—450° действует лучше окись железа. Причина—та, что в первом случае процесс идет через образование $H \cdot COOH$, а во втором—CO окисляется за счет окиси железа. Чередование окислительного и восстановительного процессов на поверхности Ктр. часто способствует сильному каталитич. действию. Обусловливая неодинаковое течение промежуточных реакций, различные Ктр. могут приводить и к неодинаковым конечным продуктам. Разложение $CH_3 \cdot CO.OC_2H_5$ в зависимости от применяемого Ктр. протекает разными путями по ур-иям:

I. $CH_3 \cdot CO \cdot OC_2H_5 = CH_3 \cdot CO \cdot OH + C_2H_4$ (Ктр.—TiO_2);
II. $CH_3 \cdot CO \cdot OC_2H_5 = C_3H_8 + CO_2$ (Ктр. — измельч. Ni);
III. $2CH_3 \cdot CO \cdot OC_2H_5 = CH_3 \cdot CO \cdot CH_3 + C_2H_5 \cdot OH + C_2H_4 + CO_2$ (Ктр.—ThO_2).

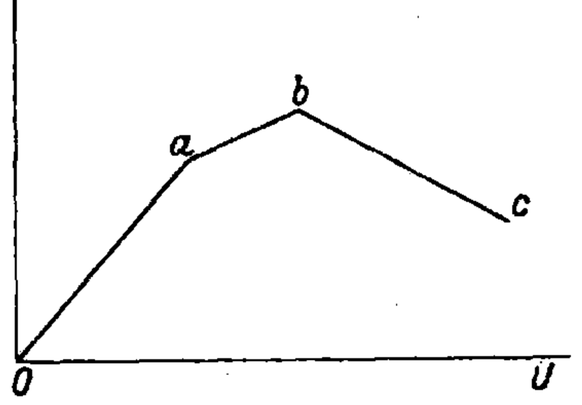
Точное экспериментальное определение энергии активации при гетерогенном К. затруднено вследствие изменения характера поверхности и степени адсорбции при изменениях $t°$. В тех случаях, когда имеются основания полагать, что занята вся поверхность Ктр., энергия активации вычисляется из $t°$-ного коэфф-та. Как и в случае гомогенного К., активация может происходить за счет кинетич. или внутренней энергии молекул, ударяющихся о поверхность, за счет тепла адсорбции и т. д.

Изучение порядка реакции и влияния концентрации на ее скорость позволяет выяснить характер активации. Если для реакции необходимы молекулы A и B, то возможен случай, когда адсорбируется только молекула A и процесс идет при ударе молекулы B о молекулу A, находящуюся уже в адсорбированном состоянии. Это—реакция первого порядка, определяемая количеством ударов молекулы B, поскольку адсорбционное равновесие между Ктр. и молекулой A устанавливается очень скоро (процесс не зависит от скорости адсорбции). Если обе молекулы, A и B, реагируют в адсорбированном состоянии, то скорость зависит от возрастающей концентрации, но когда последняя становится такой, что вся поверхность оказывается покрытой (т. е. когда достигается предел адсорбции), дальнейшее повышение давления уже не меняет концентрации молекул на поверхности Ктр. и не влияет больше на скорость, т. е. реакция идет по ур-ию нулевого порядка. Этот случай имеет место при гидрогенизации на поверхности металлов, а также в нек-рых реакциях ферментативного характера.

К. в растворах зависит от растворителя, от прибавленных электролитов и от их ионов. Повидимому, в растворах происходит образование промежуточных комплексов. Скорость реакции зависит в этом случае не только от концентрации, но и от специально вводимых коэфф-тов активности веществ, участвующих в реакции. Этими коэфф-тами выразится поправка на отклонение от законов идеальных газов в применении к растворам. Наряду с ускоряющим действием ионов установлено также и влияние недиссоциированных молекул, при чем ион и молекула характеризуются неодинаковыми константами скорости. Для случаев разбавленных растворов электролитов коэфф-ты активности вычисляются из законов электростатики и молекулярной статистики (закон Больцмана). Специфич. влияние оказывает на энергию активации и растворитель, как это видно на примере реакции между анилином и бромацетофеноном (энергия активации приведена в cal на $г$-моль).

Растворитель	Энергия активации
C_6H_6	8 000
$CHCl_3$	10 700
$C_6H_5NO_2$	13 470
$C_6H_5 \cdot CH_2 \cdot OH$	14 290
$C_2H_5 \cdot OH$	13 900

Работа катализатора. Если V—объем газов, проходящих через Ктр. в $сек.$, S—объем Ктр. (расчет ведется по объему в виду невозможности количественно учесть величину поверхности), то выражение $U = \frac{V}{S}$ даст количество вещества, соприкасающегося с единицей объема Ктр. в 1 ск. Если из проведенного через реакцию количества U прореагировала часть α, то выход будет равен αU. При небольших скоростях пропускания газов реакция успевает за время их соприкосновения с Ктр. дойти до состояния равновесия. С возрастанием U растет до некоторого предела и αU, поскольку длительность контакта оказывается достаточной и величина α—постоянна. На фиг. 1 (ось абсцисс—U; ось ординат—αU) эта часть соответствует отрезку Oa. Точка a соответствует максимальному выходу при статических условиях реакции, когда отсутствует циркуляция газов. При дальнейшем росте U начинается падение α, так как вследствие увеличивающейся скорости потока газов через катализатор успевает прореагировать меньшая часть вещества. Выход αU все же возрастает, так как уменьшение α компенсируется увеличением U (отрезок ab). Точка b указывает наибольший выход при динамическом проведении реакции (при непрерывном потоке газов). В случае еще бóльших значений U время контакта становится столь малым, что величина α быстро падает. Это ведет к уменьшению выхода (отрезок bc). Слишком медленное пропускание газов через Ктр. практически неудобно; в первые моменты соприкосновения реакция протекает быстро, и дальнейшее задерживание газов над Ктр. мало эффективно. Напр., при продолжительности контакта NH_3 и O_2 с платиной в течение 0,05 ск. выход достигает 96,1%; увеличение времени контакта в 12 раз (0,6 ск.) дает лишь незначительный прирост выхода в 0,2%. Поэтому технически оказывается выгодным, в известных пределах, увеличивать скорость протекания реакционной газовой смеси, не взирая на происходящее от этого незначительное падение % выходов, но увеличивая зато нагрузку Ктр. Скорость газового потока нередко устанавливают в несколько $м/сек$. Необходимо также добиваться равномерного наполнения реакционного пространства катализатором во избежание образования свободных каналов, через к-рые газы могли бы проникнуть, не вступая в соприкосновение с ним. Состав пропускаемой газовой смеси определяется различными условиями, в зависимости от стоимости того или иного компонента и от влияния его избытка на конечный результат реакции. В тех случаях, когда реакция сильно экзотермична, но когда при этом повышение $t°$ выше определенного предела нежелательно (как, наприм., при контактном окислении аммиака), к смеси реагирующих газов примешивают такой избыток воздуха или другого газа, который поглощал бы излишнюю теплоту реакции. Зная тепловой эффект Q реакции и теплоемкости c всех



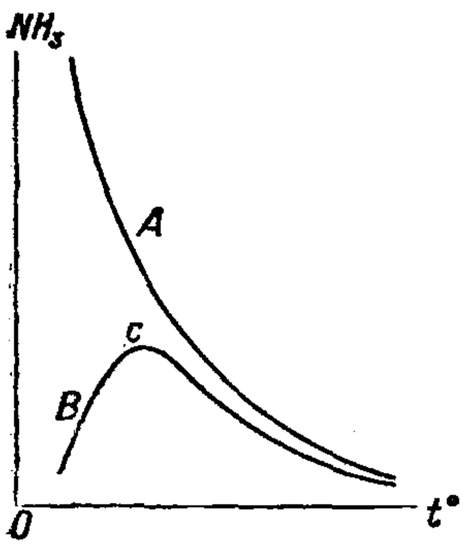
Фиг. 1.

составных частей, подбирают такой состав газовой смеси, чтобы отношение $\frac{Q}{\Sigma c}$ не превосходило желательной $t°$.

К. и температура. Практически реакция ведется при $t°$ наибольшего выхода. В экзотермич. контактных реакциях типа:

$N_2+3H_2=2NH_3$	$+22000$ cal
$2SO_2+O_2=2SO_3$	$+45200$ cal,
$2NH_3+{}^5/_2\,O_2=2NO+3H_2O$	$+107300$ cal,
$4HCl+O_2=2H_2O+2Cl_2$	$+29400$ cal,
$H_2+Cl_2=2HCl$	$+44000$ cal

повышение $t°$ способствует реакции, увеличивающей содержание тех веществ, образование к-рых сопровождается поглощением тепла, т. е. при повышении $t°$ получается сдвиг равновесия справа налево. Т. о., при высоких $t°$ достижение равновесного состояния невыгодно в отношении выхода, т. к. это состояние характеризуется значительной диссоциацией NH_3, SO_3 и т. д. Несмотря на это, проведение реакций при низких $t°$ тоже практически невыгодно, так как с понижением $t°$ быстро падает скорость процесса (см. *Кинетика химическая*); поэтому в последнем случае хотя и могут быть достигнуты большие выходы (вычисленные из константы равновесия), но самый ход реакции будет крайне медленным, аналитически неопределимым. Таким образом, $t°$ реакции не д. б. ни слишком высокой (что связано с непроизводительным распадом образующегося полезного продукта) ни слишком низкой. Практически при проведении реакции в ограниченное время выход при низких $t°$ мал; далее, с ростом $t°$ он увеличивается, достигая максимума, и при дальнейшем повышении $t°$ снова падает вследствие неблагоприятных условий равновесия (увеличение диссоциации). На фиг. 2 по оси абсцисс отложена $t°$, по оси ординат—% выхода NH_3 при синтезе из N_2 и H_2 в заданной начальной смеси. Кривая A дает концентрацию NH_3 при равновесии как функцию $t°$; кривая B—выход при наличии Ктр. Максимум c показывает оптимальную $t°$ наибольшего выхода. Если Ктр. может с одним из реагирующих веществ давать соединение определен. состава, то $t°$-ные условия зависят от равновесия между Ктр. и данным веществом. К такого рода случаям относится контактное окисление SO_2 в присутствии окислов, характеризуемых более высокой оптимальной $t°$ действия, чем платина (см. *Серная кислота*). Напр., присутствие Fe_2O_3 в качестве Ктр. ведет к образованию сульфата $Fe_2(SO_4)_3$, к-рый находится в равновесии с SO_3 (продуктом своего распада), SO_2 и O_2; каждой $t°$ отвечает своя упругость пара SO_3 над твердым $Fe_2(SO_4)_3$. Проведение реакции с избытком SO_3 в газовой смеси способствует образованию сульфата; при высоких $t°$ повышается диссоциация SO_3, упругость паров последнего становится незначительной, и сульфат распадается. Оптимальной является та $t°$ реакции, при к-рой концентрация SO_3 в равновесной смеси отвечает упругости паров SO_3 над $Fe_2(SO_4)_3$. При этих условиях действие Ктр. может мыслиться как непрерывное чередование 2 процессов: образования связанного с Ктр. SO_3, затем отделения его и ухода из сферы реакции. Этими обстоятельствами объясняется то, что при начальном составе смеси из 7% SO_2+10% O_2+83% N_2 оптимальная $t°$ каталитического действия Fe_2O_3 лежит около 625°, т. е. выше оптимума для платины. В связи с этим изучение диссоциации гидридов, нитридов и других соединений должно дать возможность предвидения соответствующих условий К.



Фиг. 2.

Активаторы (ускорители, промотеры); смешанные катализаторы (впервые открытые В. Ипатьевым). При одновременном действии двух Ктр. общий эффект иногда бывает равен сумме эффектов каждого Ктр. в отдельности (влияние солей Pt и Au на распад H_2O_2), но в большинстве случаев такой аддитивности не наблюдается: два или несколько Ктр. могут при совместном действии дать эффект, иногда превышающий сумму эффектов тех же Ктр., но взятых в отдельности. Вещества, присутствие которых усиливает уже проявляющееся каталитич. действие, называются активаторами, или промотерами (promoteurs); в качестве таковых применяются различные металлы, их окислы и другие вещества. Влияние промотеров нередко сказывается на скорости реакции даже тогда, когда они присутствуют в следах, едва обнаруживаемых химич. анализом. Промотеры, взятые в отдельности, могут и не проявлять того каталитич. действия, к-рое присуще основному Ктр. При введении в Ктр. промотеров в б. или м. значительн. количествах получаются т. н. смешанные катализаторы. Промотеры и смешанные Ктр. находят широкое применение в технике, где они дают возможность увеличивать выходы, комбинируя дешевые, легко доступные вещества. Примером промотеров являются примеси к Ктр.—железу при окислении NH_3: при работе с чистым Fe выход равен 83,5%; Fe+Bi дает 94,6%; Fe+Cu 92%; Fe+Ce 90%; Fe++W 89,3%; Fe+Th 87,3%. С увеличением концентрации промотера выходы растут, проходят через максимум и затем падают. Если Ктр. лежит на промотере, то малые количества последнего значительно влияют на скорость реакции. Если Ктр. и промотер равномерно распределены на подкладке,—влияние концентрации сказывается слабее. Возрастание константы скорости в процессе реакции может означать, что образующиеся вещества сами проявляют каталит. действие (автокатализ). При этом возможно возникновение ступенчатых реакций, протекающих с неодинаковой скоростью. Прибавление продукта, лишь медленно образующегося в начальной стадии реакции, равно как и введение дополнительного Ктр., ускоряющего одну из промежуточных реакций, протекающую с малой скоростью, дает увеличение выхода. Ускорение м. б. вызвано также посторонними газами, молекулы к-рых, сталкиваясь с активированными продуктами реакции, снимают с них избыточную энергию, превращая их в нормальные конечные продукты. Такие случаи имеют место при

тройных столкновениях, когда две реагирующие частицы легче взаимодействуют, если в момент их столкновения присутствует третья молекула, поглощающая выделенную энергию и этим предотвращающая обратную реакцию.

Причины активирующего действия промотеров многообразны. 1) Если К. вызывается веществом A, то введение тела B, на поверхности которого A способно адсорбироваться, усиливает эффект. 2) Смешанный Ктр. может оказывать селективное действие, при чем процесс, начинающийся на первом Ктр., завершается на втором. Напр., при реакции между CO и H_2, приводящей к образованию метана, Ктр.—никель дает промежуточное вещество, CH_3OH, к-рое дегидратируется на промотере ($CH_3OH \rightarrow H_2O + H_2C<$), после чего из групп CH_2 и H_2 образуется конечный продукт. 3) Промотер может ускорять образование промежуточного продукта, разлагаемого затем катализатором. 4) Соединение промотера с одним из реагирующих веществ или адсорбция последнего промотером увеличивают концентрацию данного вещества на поверхности. Зависимость между возрастанием коэффициента адсорбции и скоростью реакции сложна и мало изучена; известны случаи, когда в присутствии промотера адсорбция увеличивается на 20%, скорость же возрастает в десятки раз. 5) Действие промотера может заключаться в уменьшении чувствительности Ктр. к ядам (см. ниже), к-рые вызывают остановку реакции. 6) Ктр. и промотер могут активировать не одни и те же компоненты реакции; в известных случаях возможна и последовательная активация. 7) Подкладка может служить промотером, поглощая реагирующие вещества и являясь резервуаром, из к-рого Ктр. черпает материал для реакции.

Замедлители (ингибиторы); каталитические яды. Незначительные примеси нек-рых веществ либо замедляют реакцию (ингибиторы) либо практически прекращают ее (каталитические яды). Наличие 0,00002% PH_3 лишает платину каталитич. свойств при окислении аммиака; $5 \cdot 10^{-8}$ г-мол. HCN уменьшают скорость распада H_2O_2 вдвое. Различают яды временные и постоянные. Первые действуют лишь тогда, когда они присутствуют в реагирующих веществах; в этом случае продувание через Ктр. воздуха или другого инертного газа восстанавливает его действие. Таковы CO на платине при реакции между H_2 и O_2 или следы H_2O при синтезе NH_3 из элементов. Постоянные яды могут химически видоизменять поверхность Ктр., при чем для регенерации последнего требуется уже химич. обработка. H_2S отравляет Ктр.—железо, образуя с ним FeS. Один и тот же яд м. б. постоянным или временным в зависимости от природы Ктр. На поверхности, отравленной для одной реакции, может протекать другая. CS_2 отравляет коллоидальную платину, служащую Ктр. при гидрогенизации дипропилкетона, но не влияет на некоторые другие реакции, катализируемые той же платиной. Замедлителями м. б. и сами продукты реакции, адсорбируемые и задерживаемые на Ктр. Так, при окислении SO_2 на платине образующийся серный ангидрид SO_3 замедляет реакцию, так как последняя ставится в зависимость от скорости диффузии реагирующих веществ через слой SO_3, лежащий на платине и мешающий их проникновению к поверхности Ктр. Иногда примеси, уменьшающие выход, все же не являются ядами; так, ядами иногда называют вещества, которые сами действуют в качестве Ктр., но с той разницей, что они дают меньший выход или характеризуются более высокой оптимальной $t°$ сравнительно с обычно употребляемыми Ктр. Это относится, напр., к мышьяку, к-рый считают ядом при контактном получении SO_3 с Ктр.—платиной; в действительности же As_2O_5 для данной реакции сам является катализатором, но с пониженным (по сравнению с Pt) выходом. Для Fe_2O_3 при 625° выход SO_3 составляет 75%; для $FeAsO_4$ при 650°—63% и для As_2O_5 при 675°—50%. Ядом для контактного процесса является вода, к-рая с SO_3 дает H_2SO_4, адсорбируемую на поверхности Ктр. Это имеет место и при высокой $t°$ в согласии с тем фактом, что небольшие количества адсорбированных веществ очень прочно удерживаются поверхностью. Создание условий, благоприятных для обратной реакции, вызывает замедление прямого процесса.

Действие ядов заключается гл. обр. в их адсорбции на поверхности и в уменьшении числа активных центров Ктр. Иногда присутствие яда может повлечь за собой даже изменение хода реакции. В связи с этим встречаются случаи полезного отравления, когда яд мешает итти побочной, нежелательной реакции. Наприм., при разложении спирта $C_2H_5 \cdot OH$ на меди присутствие воды увеличивает выход альдегида $CH_3 \cdot CHO$; безводный же спирт дает больше побочных газообразных продуктов (CH_4, CO_2 и CO) в качестве примесей к водороду. Объясняется это тем, что в безводном спирте идет побочная реакция: $CH_3 \cdot CHO \rightarrow CH_4 + CO$; вода, являясь ядом для этой реакции, защищает образующийся альдегид от распада.

Причины замедляющего влияния ингибиторов м. б. различными. 1) Роль замедлителя (A) при реакции в растворе может сводиться к уменьшению концентрации Ктр. (B), если происходит образование комплекса по ур-ию $A + B \rightleftarrows AB$ и устанавливается равновесие между A, B и AB. Тогда увеличение концентрации A вызывает уменьшение концентрации B (по закону действия масс). Таково, напр., действие воды при этерификации к-т в алкогольных растворах или при разложении щавелевой к-ты водными растворами H_2SO_4. 2) Замедлитель может уменьшать концентрацию реагирующего вещества. При наличии иона в качестве реагента прибавление веществ, уменьшающих диссоциацию, действует замедляющим образом. Таково влияние HBr на гидролиз бромянтарной кислоты. В ряде случаев, когда само образующееся вещество действует замедляющим образом (автозамедление),—скорость реакции обратно пропорциональна концентрации возникшего вещества и выражается ур-ием

$$\frac{dx}{dt} = \frac{k_1(a-x)}{x},$$

где a—начальная концентрация, x—прореагировавшее количество ко времени t и k_1—константа. Примером может служить действие HCl, HBr, HJ на гидролиз галоидозамещенных кислот. 3) В случае цепных реакций разрыв цепи может вызвать замедление; так же действует и дезактивация промежуточных продуктов. Образование HCl из H_2 и Cl_2 на свету идет так, что на один квант поглощенного света образуется 10^6 молекул HCl. Это—цепная реакция, вызванная первичным возбуждением, к-рое затем передается последовательной активацией:

$$Cl + H_2 = HCl + H; \quad H + Cl_2 = HCl + Cl, \text{ и т. д.}$$

Введение O_2, к-рый активируется хлором и дает с водородом H_2O, разрывает цепь; аналогично действуют NH_3 и нек-рые органич. вещества. Малые количества замедлителей могут оказывать очень большое влияние; напр., 1 мол. гидрохинона на 40 000 мол. акролеина делает аутооксидацию, *автоокисление* (см.), последнего незначительной. Возможно, что этот процесс идет через образование перекисей соответствующих веществ A и последующее восстановление их при помощи вещества B, согласно ур-иям:

$$A + O_2 = A(O_2); \quad A(O_2) + B = A(O) + B(O);$$
$$A(O) + B(O) = A + B + O_2.$$

Сопряженные реакции (см.), заключающиеся в том, что реакция между веществами A и C, идущая медленно, ускоряется при одновременном протекании реакции между A и B,—представляют со стороны химическ. кинетики аналогию с явлениями К. и автокатализа. Так как механизм сопряженных реакций обычно может быть прослежен, то изучение их дает косвенные указания относительно механизма реакций гомогенного катализа.

Я. Сыркин.

Катализ в технике.

Каталитич. реакции играют в настоящее время весьма большую роль как в науке, так и в технике. Значительная часть процессов химич. промышленности, заводских и лабораторных синтезов базируется именно на каталитич. реакциях. Т. к. применение катализаторов (Ктр.) позволяет осуществлять химич. превращения с достаточной скоростью при $t°$ более низких, чем в отсутствии Ктр., то это дает экономию в топливе, а кроме того, нередко способствует повышению выхода и чистоты получаемого продукта.

Начало 20 в. ознаменовалось важными открытиями в области каталитич. реакций, в скором времени обратившими на себя внимание промышленных кругов. Исследования в области катализа, предпринятые одновременно и независимо друг от друга во Франции Сабатье и Сандереном и в России В. Ипатьевым, начиная с 1901 г., обогатили науку такими новыми методами, к-рые в скором времени произвели переворот в химич. технологии как органических, так и минеральных веществ. В связи с этим многие старые методы производства оказались невыгодными и подверглись коренным изменениям; многие каталитич. реакции, известные уже давно, нашли себе широкое применение в технике (синтез аммиака из элементов, поверхностное горение, окисление аммиака в азотную к-ту и т. д.), но главным стимулом развития каталитич. индустрии явилась война 1914—18 гг., когда Германия была отрезана от внешних ресурсов и сумела в крупном масштабе наладить каталитическое производство аммиака, серной и азотной кислот, отверждение жиров и пр. Послевоенный период дал в области технического К. ряд новых блестящих достижений.

Катализаторы. Различные Ктр. обладают различной активностью, к-рую можно выразить нек-рой величиной K, показывающей, во сколько раз один Ктр. трансформирует энергии больше, чем другой. Ипатьев выводит величину K на основании своих опытов со спиртами. Он считает, что если идет разложение в бомбе при нагревании, то простая пропорциональность $p = p_0(1 + \alpha t)$ нарушается, и нарастание давления будет итти пропорционально $T \cdot \frac{dp}{dt}$. Самая характерная величина, определяющая ход разложения, есть $\left(\frac{dp}{dt}\right)_{max}$, так как в это время посторонние факторы влияют менее всего. Если скорость разложения уменьшится, то время, в течение к-рого достигается $\left(\frac{dp}{dt}\right)_{max}$, увеличится, т. е.

$$\left(\frac{dp}{dt}\right)_{max} \cdot T = R.$$

Величина R изменяется для спиртов в зависимости от Ктр.; для Fe она почти вдвое больше, чем для Al_2O_3. Если R—константа одного Ктр., а R_1—другого, то $\frac{R}{R_1} = K$, где K—величина, указывающая на активность катализатора.

Активность Ктр. зависит в значительной степени от содержащихся в нем (или на его поверхности) примесей. Последние делятся на две группы. 1) Антикатализаторы (замедлители, каталитич. яды) ослабляют активность Ктр. или сводят ее к нулю («отравление» Ктр.). Типичными каталитическими ядами являются: галоиды, соединения серы, фосфора, мышьяка, HCN, CO и т. д. Так как ничтожной примеси этих веществ достаточно, чтобы парализовать действие Ктр., то материалы, подвергаемые контактным реакциям, должны быть совершенно чистыми, что значительно удорожает производство: напр., при синтезе аммиака по Габеру расходы по очистке водорода составляют 75% всей стоимости аммиака. В нек-рых случаях отравленный Ктр. можно «оживить» действием высокой $t°$ или веществ, переводящих антикатализатор в летучее или индифферентное к Ктр. вещество. Отравленный Ктр. иногда пригоден для другой реакции. Так, Розенмунд, получая альдегиды из хлорангидридов, путем прибавления антикатализаторов к металлич. Ктр. выработал условия, при к-рых он мог по желанию останавливаться на любой стадии реакции:

$$C_6H_5COCl \rightarrow C_6H_5 \cdot COH \rightarrow C_6H_5CH_2OH \rightarrow C_6H_5 \cdot CH_3.$$

2) Активаторы (промотеры, акцелераторы) повышают активность Ктр., а следовательно, и скорость реакции. Например, равновесие

$$N_2 + 3\,H_2 \leftrightarrows 2\,NH_3$$

в присутствии Fe достигается медленно, но прибавление к последнему ничтожных ко-

личеств Mo, W или U значительно ускоряет реакцию. Ипатьев, впервые обративший внимание на это явление, нашел, что амилен в медной трубке с CuO при 300° и 200 *atm* дает 30% пентана через 28 час., в то время как в железной трубке с CuO пентан образуется количественно через 12 час. Современная техника широко пользуется промотерами, так как они делают каталитич. процессы еще более экономичными.

Подбор пар Ктр. должен был бы производиться по определенным признакам, но это вопрос будущего; теперь они подбираются экспериментально. Особенно много проб со смешанными Ктр. было сделано при синтезе метилового спирта из водяного газа (см. ниже), где применялись смеси из двух, трех и четырех компонентов.

Все огромное количество применяемых Ктр. можно разбить на следующие группы: 1) Ктр. для окисления—Pt, Rh, Ir, Pd, Os, Au, Ag, Fe_2O_3, Cr_2O_3, MnO_2, CuO, Ni_2O_3, Co_2O_3, UO_2, V_2O_5, WO_3, соединения Mo, редкие земли; 2) Ктр. для восстановления—металлы группы платины, Ni, Co, Cu, Fe и их окислы, а также все Ктр., применяемые для дегидрирования; 3) дегидратирующие Ктр.—ThO_2, Al_2O_3, WO_3, алюмосиликаты, окиси металлов Cr, Si, Ti, Be, Zr, U, Mo, Fe, Ni, Zn, $ZnCl_2$, к-ты, ангидриды и т. д.; 4) конденсирующие Ктр.—$AlCl_3$, $FeCl_3$, $CrCl_3$, $TiCl_4$, $SnCl_4$, $SbCl_5$, Al_2O_3, $MgCl_2$, $ZnCl_2$, $CaCl_2$, NH_3, уксусный ангидрид, органич. основания и т. д.; 5) переносчики галоидов—J, JCl, S, древесный и костяной уголь, хлориды Mo, P, Sb, Fe, Sn, Tl, V, U, Al, Zn. Переносчиками брома и иода являются бромиды и иодиды металлов, обладающих переменной валентностью.

Классификация каталитических реакций. Все огромное количество каталитич. реакций неорганической и органической химии удобнее всего классифицируется по след. схеме: 1) окислительный К., 2) восстановительный К. (гидрогенизация), 3) дегидрогенизация, 4) гидратация, 5) дегидратация и расщепление, 6) конденсация и полимеризация, 7) галоидирование, 8) отрицательный катализ.

1) Окислительный К. Процессы окисления, осуществляемые с помощью Ктр., подразделяются на две группы: а) окисление свободным кислородом или воздухом, б) окисление посредством окислителей, содержащих связанный кислород.

Процесс Дикона—получение хлора из HCl при помощи каталитич. действия $CuCl_2$. При этом процессе необходимо, чтобы HCl не содержал паров серной к-ты, к-рая действует губительно на Ктр. Реакция ведется при $t° \geqslant 400°$; газообразный HCl в смеси с воздухом проводится через башни, наполненные битым кирпичом, пропитанным раствором $CuCl_2$. Процесс Рейхлера и Уайльда аналогичен диконовскому, но вместо $CuCl_2$ Ктр. служит сухая смесь $MgCl_2$, $MgSO_4$ и $MnCl_2$.

Процессы получения камерной серной кислоты и олеума—окисление сернистого газа в серный ангидрид при помощи окислов азота или платинового и других Ктр.—также относятся к окислительным каталитич. реакциям (см. *Серная кислота*).

Процесс окисления аммиака в азотную кислоту, разработанный теоретически В. Оствальдом, имеет большое научное значение и широкое применение в технике. Имеется несколько технич. методов ведения этого процесса. А) Метод Кайзера: Ктр. состоит из 4 отдельных слоев сетки из сплава Pt с небольшими количествами Pd и Ir. Кайзер первым стал применять Pt в виде сетки, т. к. это увеличивает поверхность контакта и тем самым повышает выходы. По методу Кайзера работал з-д в Шпандау (Германия). В России И. И. Андреевым, с нек-рыми изменениями в методах, был построен такой же з-д около Харькова. Б) Метод Франка и Каро: смесь воздуха с 12,5% NH_3 подогревается в специальных подогревателях до 200°, после чего пропускается над Ктр. при темп-ре $\sim$ 800°. Ктр. служит платиновая сетка (1 000 отверстий на 1 $см^2$) общего веса 333 *г*. Вследствие чистоты поступающих газов активность Ктр. не уменьшается даже после полугода работы. В) Способ фирмы Байер (в Леверкузене) значительно отличается от предыдущих. Реакция ведется при 700—800°; Ктр. являются неблагородные металлы; точный состав Ктр. неизвестен; он состоит из Fe_2O_3 с промотерами (вероятно, Cr_2O_3 и Mn_2O_3) и $BiCl_3$ в виде гранул. Выходы по этому способу несколько ниже и достигают 80—85%. Камерные газы при описанных процессах заключают в себе около 10% NO, которую окисляют воздухом в NO_2 и затем действием воды переводят в к-ты:

$$2NO + O_2 = 2NO_2;\ 2NO_2 + H_2O = HNO_2 + HNO_3;$$
$$3HNO_2 = HNO_3 + 2NO + H_2O.$$

Т. к. полного поглощения полученных окислов азота водой достигнуть нельзя, то применяется последующее поглощение щелочью, к-рая превращает остаток окислов в смесь нитрита и нитрата:

$$2NO_2 + 2KOH \rightarrow KNO_3 + KNO_2 + H_2O.$$

Поверхностное горение сопряжено с полным окислением молекулы горящего тела. Разработка этого явления принадлежит Bone, McCourt и др. (1902—14 гг.) в Англии, а также Шнабелю в Германии, которые применили этот принцип для технич. целей. Если какой-либо горючий газ в смеси с воздухом, взятым в количестве, достаточном для полного окисления, продувать через пористую пластинку из огнеупорного материала, то после зажигания газа, прошедшего через поры, происходит ровное беспламенное горение в поверхностном слое пластинки, и последняя раскаляется добела. Ускорение сгорания зависит от физич. условий и от химической природы поверхности. Степень ускорения сгорания растет с повышением $t°$ поверхности, так что поверхности, мало активные в холодном состоянии, при разогревании дают эффект, равный действию высокоактивной поверхности. Ускорение поверхностного горения зависит от адсорбции (окклюзии) горючего газа, при чем горение происходит не во всей массе, но в слое глубиной не более 4—7 *мм*. Во время горения пластинка электрически заряжается вследствие потери электронов раскаленной массой. На принципе поверхностного горения

построено много приборов, обладающих большой экономичностью: кухонные плиты, печи для нагрева реторт и тиглей, трубы для нагрева паровых котлов. В последнее время появились приборы поверхностного горения, где пористая пластинка заменена пористыми шарами различного диаметра, что еще удобнее. Паровые котлы поверхностного горения сконструированы так, что трубы котла набиты кусками огнеупорного материала (кальцинированная магнезия или карборунд). Котлы эти были установлены впервые на заводах Skiningrove Iron Works в 1911 г. и имели кпд ок. 90%. На принципе поверхностного горения и каталитич. действия поверхности основаны также друммондов свет, горелки Ауэра и т. д. Каталитич. реакции поверхностного окисления нашли применение и в военном деле, для перевода CO в CO_2 (см. *Гопкалит*, *Противогазы*).

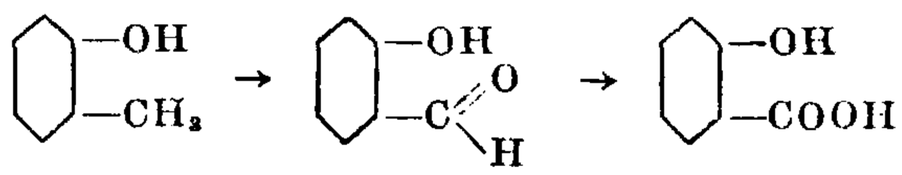
Частичное окисление применяется гл. обр. в органических синтезах; при его помощи разрешается проблема превращения углеводородов в более ценные соединения—спирты, кетоны, альдегиды и к-ты. Методика окисления в общих чертах заключается в проведении паров окисляемого тела, в смеси с воздухом, через слой Ктр. при нагревании. Непредельные углеводороды (олефины) при подобном окислении в присутствии WO_3 и MoO_3 дают формальдегид:

$$CH_2 : CH_2 + O_2 = 2H \cdot CHO.$$

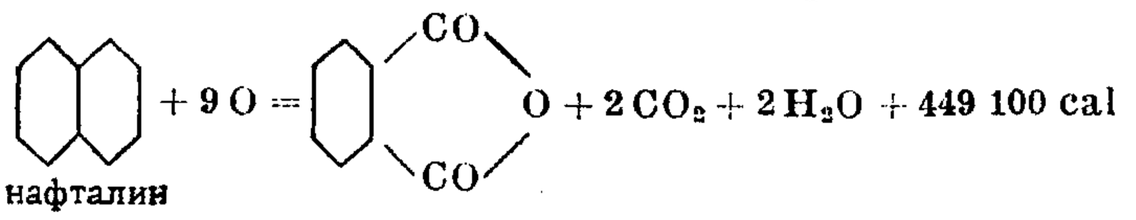
Ацетилен с $AuCl_3$ в водном растворе окисляется в глиоксаль и далее в щавелевую кислоту, с выходами до 80—85%:

$$CH : CH + 2O_2 = (COOH)_2.$$

Довольно крупное технич. значение имеет окисление высших парафиновых углеводородов в к-ты. Для этого процесса используют твердый парафин, который окисляют сжатым воздухом при нагревании в присутствии раствора соды. Ароматич. углеводороды в присутствии Ктр. (лучшие: V_2O_5, MoO_3, Al_2O_3) дают разнообразные продукты окисления. Н. Е. Орлов и другие получали над платиной из толуола бензальдегид, из ксилолов—смесь метилбензальдегида, фталальдегида и различных к-т; *о*-крезол при окислении над металлич. Ктр. образует салициловый альдегид и салициловую к-ту:



Многочисленные патенты выданы на окисление нафталина или тетралина (тетрагидронафталина) во фталевый ангидрид:



нафталин

Большое технич. значение имеет окисление антрацена в антрахинон при 450° в присутствии V_2O_5 или $B(OH)_3$ и H_3PO_4 с 2% воздуха; выход доходит до 80%. При более энергичном окислении ароматич. углеводороды расщепляются. Бензол при постепенном окислении дает последовательно хинон и малеиновый ангидрид, к-рый далее распадается с образованием CO_2 и H_2O. Каталитическим окислением спиртов можно получать альдегиды, кетоны и к-ты. Первичные спирты жирного ряда с Ктр. Ag дают 70—90% альдегидов, вторичные спирты окисляются труднее, но выходы кетонов достигают 90%. Третичные спирты в этих же условиях разлагаются на формальдегид, кетон и воду:

$$(CH_3)_3COH + O_2 = H \cdot C\langle{}^{O}_{H} + CH_3 \cdot CO \cdot CH_3 + H_2O.$$

Ароматич. спирты при окислении над платиновой чернью дают альдегиды: бензойный, коричный и т. д. Окислением изоэвгенола в технике получают ванилин. Борнеол с Cu при 200° дает 80% камфоры. Далее, альдегиды и кетоны легко переводятся каталитическим окислением в кислоты. При окислении карбоновых кислот чаще всего отщепляется CO_2 с образованием низших кислот, например:

$$CH_3 \cdot COOH + 3O = CO_2 + H_2O + H \cdot COOH.$$

2) Гидрогенизация (гидрирование). Эти реакции известны довольно давно, но всестороннее изучение их, выработка методики и приложение к технике относятся к успехам новейшей химии (см. *Гидрирование*). Способы гидрогенизации без давления разработали Сабатье, Сандерен, Майль, Мюра, Броше, Вильштеттер, Пааль, Скита и др. В России Ипатьев создал совершенно особый метод гидрогенизации под давлением. Гидрогенизация без давления заключается в пропускании паров гидрируемого вещества вместе с водородом над Ктр. Согласно Сабатье, Ктр. для этой цели являются Ni, Co, Pt, Fe и Cu (расположены в порядке уменьшения активности). Гидрогенизация ведется при различных темп-рах, в зависимости от вещества, но *t*° выше 300—350° мало применимы, т. к. при этом выходы уменьшаются; особенно важна чистота водорода, т. к. Ктр. очень чувствителен даже к следам ядов. Вильштеттер разработал метод гидрирования с Pt- и Pd-чернью, внося их во взвешенном состоянии в раствор реагентов и взбалтывая, при одновременном пропускании водорода. Этот метод гидрогенизации очень точен и позволяет останавливаться на любой стадии восстановления. Впервые он был применен Фокиным при гидрировании олеиновой к-ты в стеариновую к-ту. Пааль и Скита применяют метод гидрирования, стоящий на грани между К. гомогенным и гетерогенным. Ктр. здесь служат коллоидные растворы Pt и Pd, полученные по Бредигу и стабилизованные защитными органич. коллоидами; гидрогенизация ведется обычно в водных, водноспиртовых или уксуснокислых растворах. Метод Келле позволяет применять коллоидные Os и Ir. Способ Броше занимает среднее место между гидрированием под давлением и без давления. Броше пользуется автоклавом с мешалкой; реагирующая смесь наливается в него на $^2/_3$, вводится 5% Ктр. и водород под давлением 15—20 *atm*; водород добавляется по мере его израсходования.

Гидрогенизация под давлением (метод Ипатьева) производится в бомбе Ипатьева — специально сконструированном им аппарате для высоких давлений (рис. см. в ст. *Гидрирование*). Последний состоит из

прочной стальной цельнотянутой трубы (емкостью от 250 *см*³ до 2 *л*), к которой болтами присоединяется головная часть с манометром и впускным вентилем. При достаточном количестве водорода гидрирование считается законченным, когда при постоянной $t°$ давление перестает уменьшаться. Реакция протекает тем скорее, чем теснее соприкосновение реагентов со всей массой Ктр.; размешивание значительно ускоряет процесс. Ипатьев применяет для гидрирования в качестве Ктр. чаще всего NiO (металлические Ni в этих условиях действует слабее), которая хорошо гидрирует ароматические кольца; для гидрирования ненасыщенных боковых цепей без гидрирования ядра применяется CuO.

При помощи гидрирования можно ввести водород в самые разнообразные органич. соединения. Этиленовая связь при гидрировании легко превращается в простую. Этилен при полном гидрировании дает этан, но при недостатке водорода получаются масла, по свойствам близкие к нефти. Гидрогенизация по месту двойной связи имеет огромное промышленное значение в процессе отверждения жиров (см. *Гидрогенизация жиров*). Первое технич. осуществление этого процесса (с Ктр. Ni) было сделано Лепренсом и Севеком в Германии (1900 г.) и Нордманом в Англии (1900 г.). В России Фокин успешно гидрировал жиры, применяя Pd- и Pt-чернь. Ипатьев (1907 г.) произвел серию исследований с самыми разнообразными жирами и маслами; он нашел, что при 120° с Ni и при 250° с Ni_2O_3, под давлением всего лишь в 25—30 *atm*, гидрирование идет хорошо, при чем жиры можно брать и неочищенные. Бедфорд и Эрдман (1909 г.) предложили для технических целей NiO на кусках пемзы при 170—200°, с прибавлением разнообразных промотеров (Zn, Ti, Ce, La, Mg и т. д.). Этим способом пользуется Баденская анилиновая ф-ка (BASF). Кроме этих способов, существует громадное количество патентов с предложением самых разнообразных Ктр., как то: разнообразные металлы, окислы и их смеси, никельсодержащие мыла, никелевые соли жирных к-т, ацетаты Fe, Ni, Co и других металлов, оксалаты, никель-карбонил, соли пикриновой к-ты. Лучшими Ктр. являются благородные металлы—Pt и Pd; например, 1,7 *г* Pt в течение 3—4 часов превращает 10 *кг* жира в твердое состояние. Очень интересным Ктр. для гидрирования на холоду (по Леману) является четырехокись осмия, OsO_4.

При крекинге нефти (см. *Крекинг-процесс*) и других минеральных масел непредельные соединения, получающиеся при разрыве более сложных молекул, путем гидрирования можно превратить в предельные бензины. Из ароматич. углеводородов толуол превращается в метилциклогексан, ксилол—в диметилциклогексан, дифенил—в дициклогексилметан и т. д. Все сполна гидрированные ароматич. углеводороды представляют собою в большинстве случаев жидкие масла, довольно инертные по отношению к кислотам и щелочам, почему они и находят применение в технике как хорошие растворители. Углеводороды с конденсированными циклами при гидрировании внедряют водород сначала в одно кольцо, затем в другое. Гидрированием нафталина без давления или, лучше, под давлением получают тетрагидронафталин и декагидронафталин, известные в технике под названиями тетралин и декалин. Тетралин в настоящее время получается тысячами *m* и находит разностороннее применение. Для получения его нафталин очищают от примеси сернистых соединений, перегоняют и гидрируют под давлением с никелевым Ктр. В 1928 г. был применен совершенно новый метод гидрирования углеводородов действием сплава натрия с калием (Na, K) и гидрюра натрия (NaH_2). По этому способу 1 000 ч. нафталина в смеси с 70 ч. кизельгура, 27 ч. натрия и 93 ч. калия при 15 *atm* и 230° через 2 часа дают 95%-ный выход тетралина. Альдегиды и кетоны при гидрировании превращаются в первичные и вторичные спирты (над никелем при 180°), при чем кетоны редуцируются несколько труднее альдегидов:

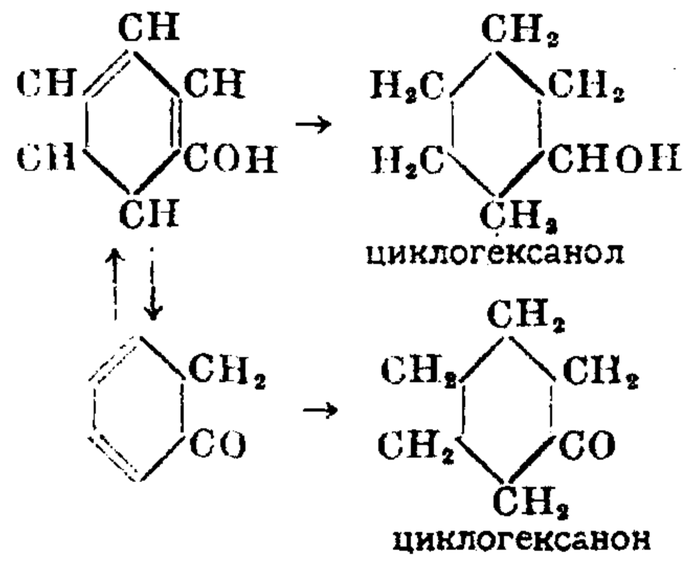
$$R \cdot C\begin{matrix}O\\H\end{matrix} + H_2 \rightarrow R \cdot CH_2OH;$$

$$R \cdot CO \cdot R + H_2 \rightarrow R \cdot CH(OH) \cdot R.$$

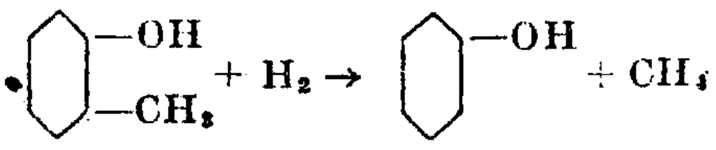
Формальдегид при этой реакции дает плохой выход метилового спирта, т. к. восстановление идет дальше до образования метана:

$$H \cdot C\begin{matrix}O\\H\end{matrix} + 2H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O.$$

Ипатьев при гидрировании альдегидов и кетонов под давлением 100 *atm* и 250° получал хорошие выходы соответствующих спиртов. Лучшими Ктр. являются NiO и CuO. Фенолы при гидрировании легко присоединяют водород, переходя в алициклические соединения; например, гидрирование обыкновенного фенола дает смесь циклогексанола и циклогексанона. Образование этих двух продуктов Ипатьев объясняет существованием кето-энольной *таутомерии* (см.) фенола.



Гораздо удобнее получать циклогексанол гидрированием салициловой к-ты, так как в этом случае ему не сопутствует циклогексанон, от которого очень трудно освободиться. При пропускании высших фенолов в токе водорода над Ni, Cu, Ag, Pt, а особенно над $NiCrO_4$, происходит отщепление боковых цепей:



Т. о. из крезолов м. б. получен технически ценный фенол. Высшие фенолы, например ксиленолы, переводятся этой реакцией, в конечном итоге, тоже в фенол. Фенолы можно

восстановить далее в углеводороды при пропускании их над углем с железом при 430°:

$$C_6H_4\begin{matrix}OH\\CH_3\end{matrix} + C \rightarrow C_6H_5 \cdot CH_3 + CO.$$

Фенолы можно превратить в углеводороды и обычным гидрированием. Первичные смолы (Uhrteer), к-рые получаются при перегонке углей при низких $t°$, дают превосходное тяжелое топливо для дизелей, но присутствие в нем фенолов крайне вредно для моторов. Вместо выделения фенолов гораздо рациональнее превращать их гидрированием в углеводороды, пригодные в качестве моторного топлива. Ф. Фишер редуцирует фенолы в смоле, пропуская последнюю через нагретую железную внутри луженую трубку в токе водорода или водяного газа. Нитросоединения, ароматические и жирные, при гидрировании дают хорошие выходы соответствующих аминов:

$$R \cdot NO_2 + 3H_2 \rightarrow R \cdot NH_2 + 2H_2O.$$

В случае нитробензола анилин получается лишь при малоактивном Ктр., т. к. он легко гидрируется далее в циклогексиламин. На способы получения анилина из нитробензола взято много патентов. Лучшими являются способ Броуна и Генке (при 230° с Sn, SnO и SnO_2) и способ Пома и Пеллегрини, которые ведут реакцию в смеси нитросоединения с водой при 4—5 *atm* и 50—60° с 0,5% Ктр. (Ni, Co, Cu, Fe) на индифферентном субстрате из угля, пемзы или кварца.

Синтезы из водяного газа. Среди разнообразных синтезов, основанных на реакциях гидрирования, к-рыми располагает и пользуется современная химич. индустрия, важное место занимают синтезы из водяного газа и других газов, являющихся отбросами заводских процессов. При помощи Ктр. из малоценных газовых смесей удается получать такие ценные вещества, как жидкое моторное топливо, высшие спирты и кетоны, углеводороды и т. д. Первые попытки соединения CO и H_2 в жидкие продукты производили Лозанич и Иовичич (1897 г.), подвергавшие смесь этих газов действию электрич. разрядов. При этом ими был получен формальдегид, к-рый конденсировался в маслянистые продукты. Ацетилен с CO в тех же условиях дает светлокоричневую твердую массу, этилен—желто-красное масло, а бензол—густую темную жидкость. Сабатье действием водорода на CO при 250° получил нацело метан; выше этой $t°$ идет уже процесс разложения CO:

$$CO + 3H_2 = H_2O + CH_4 \quad (t° \leqslant 250°);$$
$$2CO = CO_2 + C \quad (t° > 250°).$$

Метан пробовали также получать прямым гидрированием угля; найдено, что без Ктр. эта реакция идет только при 1 200°, но в присутствии Ni и Co — при более низких $t°$. Ипатьев из $CO+H_2$ при 510—525° под давлением получил лишь 6,5% CH_4. Восстановление CO_2 идет в первой фазе до CO, а затем приводит к образованию CH_4. В настоящее время разработаны технич. методы получения CH_4 из CO и CO_2 при помощи К.

Синтезы из $CO+H_2$. В 1908 г. Орлов получил из смеси $CO+H_2$ при 100° ненасыщенные углеводороды, пользуясь Pt и Pd на асбесте. Ф. Фишер и Тропш в 1913—14 гг., работая с водяным газом, содержащим избыток водорода, получили смесь углеродистых соединений, названную синтолом; эта смесь в качестве горючего с успехом может заменять керосин. Синтол получают при циркуляции газов под давлением 150 *atm* при 410—450° над содержащим щелочь Ктр. Согласно данным анализа, синтол представляет собою сложную смесь, которая содержит: 29% алкоголей, альдегидов и кетонов и 48% масла, летучего с паром, содержащего высшие спирты, альдегиды и кетоны. Кроме того, в условиях опыта получения синтола образуется: 10% различных органич. к-т и 2% конденсатов, не летучих с паром. Синтол—светложелтая жидкость, не темнеющая при стоянии, уд. в. 0,8289, начинает застывать при —30°, окончательно затвердевает при —90°. Синтол, освобожденный отмыванием от органич. кислот, представляет собою топливо с теплотворн. способностью 7 500—8 200 Cal (керосин дает 11 000 Cal). Выход—3 *кг* из 10 $м^3$ газа. Авторы метода полагают, что во время реакции сначала получается растворимая в воде смесь спиртов, альдегидов, кетонов и кислот (просинтол), которая при дальнейшей конденсации образует нерастворимый в воде синтол. Процесс образования синтола протекает, вероятно, по следующей схеме:

$$CO + 2H_2 = CH_3OH;$$
$$CH_3OH + CO = CH_3COOH;$$
$$2CH_3COOH = CH_3COCH_3 + CO_2 + H_2O;$$
$$CH_3COOH + H_2 = CH_3COH + H_2O;$$
$$CH_3COH + H_2 = CH_3CH_2OH;$$
$$CH_3CH_2OH + CO = CH_3CH_2COOH, \text{ и т. д.}$$

При нагревании в автоклаве под давлением (в отсутствии CO) синтол отщепляет воду и переходит гл. обр. в нафтеновые углеводороды с ясно выраженным нефтяным запахом (вероятно, высшие алкоголи переходят с отщеплением воды в олефины, а последние, с замыканием кольца,—в нафтены). Этот нефтеподобный продукт превращения синтола называется синтином. Несомненно было бы значительным успехом, после экстракции из угля первичной смолы, газифицировать полукокс, от него переходить к водяному газу и из последнего получать синтол. Этот метод таит в себе большие перспективы для стран, богатых углем и бедных нефтью.

Синтез нефти. Фишер и Тропш действием различных Ктр. на водяной газ получили в небольших размерах синтетич. нефть. Авторы заметили, что применение в качестве Ктр. Fe и ZnO увеличивает количество нефтяных углеводородов, применение же Fe_2O_3 и Cr_2O_3 дает смесь, богатую твердыми парафинами. Для реакции необходим Ктр., содержащий щелочь, так как щелочи значительно активируют процесс. Из большого числа испытанных Ктр. лучшими оказались Co и Pd; активаторами, повышающими выходы, являются ZnO, BeO, $Mg(OH)_2$, $Mn(OH)_2$, Cr_2O_3+Pd, Cu, Fe_2O_3 и следы щелочей. Синтез ведется при 250° под нормальным давлением. В числе продуктов получаются: 1) газоль, горючий газ, состоящий гл. обр. из смеси C_2H_6, C_3H_8, C_4H_{10}; 2) синтетич. бензин (20%) с $t°_{кип.}$ 30—170°, гораздо более чистый, чем пенсильванский; 3) керосинообразный продукт (22%) с $t°_{кип.}$ 170—

330°; 4) чистый твердый парафин с $t°_{пл.}$ около 61°. Образование углеводородов авторы объясняют промежуточным возникновением карбидов; например, для Ктр. Co реакция м. б. представлена так:

$$CO + H_2 + Co = CoC + H_2O;$$
$$CoC + H_2 = Co + CH_2;$$
$$nCH_2 = (CH_2)_n;$$
$$(CH_2)_n + H_2 = CH_3(CH_2)_{n-2}CH_3.$$

Способ этот, наравне с синтольным методом, вероятно, вскоре разовьется, т. к. при помощи его можно будет успешно превращать бесполезные топочные газы в жидкое топливо, являющееся пульсом современной промышленности.

Синтезы метилового спирта. Попытки получения метанола из водяного газа делались давно; первых положительных результатов достиг в 1921 г. Кальверт (с выходами до 80%). Согласно Кальверту (подробного описания метода не имеется), водяной газ можно получать из всяких отбросов—коксовой и угольной пыли, древесных опилок и т. д., благодаря чему синтетич. метанол д. б. гораздо дешевле древесного. По патенту Леша (Lush), водяной газ быстро пропускается под давлением над Ктр., состоящим из 4 ч. Ni, 1 ч. Cu и 5 ч. Al_2O_3; этот метод дает, однако, наряду с метанолом много формальдегида и продуктов его полимеризации. Наилучших результатов достиг Г. Патар: путем циркуляции водяного газа или смеси CO с избытком H_2 над Ктр. достигается полное превращение их в метанол:

$$CO + 2H_2 \rightarrow CH_3OH + 27\,000\ cal.$$

Восстановление идет лучше всего при 400—420° под давлением 150—250 *atm*, в присутствии ZnO, осажденной на асбесте. Из 300 $м^3$ газа получается 100 *л* 80%-ного метанола. Митташ, Пиер и Винклер на заводе BAMAG производили те же опыты, но с др. Ктр., состоящими из окислов металлов с разнообразными активаторами ($ZnO + Cr_2O_3$, $ZnO + V_2O_5$, $CdO + Cr_2O_3$, и т. д.). Им удалось добиться прекрасных результатов при давлении 50—100 *atm* и 400°. Для получения синтетич. метанола нет необходимости иметь чистый водяной газ. Варианты в составе исходной газовой смеси м. б. очень разнообразны, при условии отсутствия каталитич. ядов; присутствие азота даже в избытке лишь несколько замедляет реакцию. В случае избытка CO или H_2 против стехиометрической пропорции синтез идет со скоростью, пропорциональной парциальным давлениям. Необходимыми условиями при синтезе метанола являются: 1) отсутствие в материалах аппаратуры Ni и Fe, каталитически превращающих спирт в метан, и 2) полное отсутствие щелочности в Ктр., так как иначе наступает синтолообразование. Аппаратура изготовляется поэтому из меди, серебра, алюминия или их сплавов; для мелких частей применяют сплавы цинка, сурьмы и свинца. Лучшим материалом являются специальные сорта стали: V2A Круппа, викрометалл и т. д. Синтез метанола, являющийся новым производством, быстро развивается: в 1927 г. в Германии получали уже свыше 20 *т* метанола в сутки. В последнее время появилось много патентов на варианты синтеза Патара. Напр., Вудфуд (Woodfood) и Блофилд (Blowfield) проводят газы при давлении 140 *atm* (2 000 фн/дм.²) при 385—420° над Ктр. из окисей Zn, Cr, Fe; особенно рекомендуется ими $ZnCl_2$. Compagnie de Béthune применяется хромоникелевый Ктр. при давлении 800 *atm* и 300°; выход около 75%. Société Française de Catalyse Généralisée применяется Ктр. из смеси Sr и Zn с PbO или Bi_2O_3 при давлении 200 *atm* и 300°; выход метанола количественный.

Синтезы аммиака. Мировая азотная промышленность растет с каждым годом, благодаря значению ее главным образом для производства удобрений и взрывчатых веществ. Все государства покровительствуют этой отрасли промышленности, т. к. природные запасы селитры истощаются и приходится переходить на синтетич. методы. Синтез азотной к-ты по Эйде и Биркеланду и синтез цианамида кальция по Франку и Каро завоевали себе прочное положение в промышленности, но сильным конкурентом их является синтетич. аммиак, получаемый непосредственно из элементов при помощи различных Ктр. (см. *Аммиак*). Остин (1788 г.), Деви (1800 г.), Генри (1809 г.) установили, что при пропускании электрич. искры через смесь трех объемов водорода с одним объемом азота образуется два объема аммиака. Девиль (1865 г.) показал, что реакция

$$N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3$$

обратима. Лавати предложил синтезировать аммиак пропусканием смеси азота с водородом через сосуд, наполненный смесью титановой земли с платиной на пористом субстрате. Шарль Телье (псевдоним Dufregue) взял несколько патентов на синтетич. аммиак; он получал его в значительных количествах, пропуская смесь N_2 и $3H_2$ над губчатым железом при яркокрасном калении, при чем им были разработаны технич. детали с применением давления до 10 *atm*. Дю-Мотай (Tessié du Mottay) взял патент на синтез аммиака из элементов при помощи нитрида титана при $t°$ красного каления. Ле-Шателье вывел теоретически, что синтез NH_3 возможен лишь при высоком давлении в присутствии Ктр.; экспериментальные исследования его были прерваны случившимся взрывом. Честь детальной разработки технич. синтеза NH_3 принадлежит Габеру, Нернсту и Оордту, Ле-Россиньолю и Гринвуду. После долгих исследований и усовершенствований аппаратуры, с 1910 г., при поддержке BASF была осуществлена техн. эксплоатация способа Габера. Несмотря на различные затруднения, Габер при помощи д-ра Боша с блестящим успехом сумел поставить свой синтез в грандиозном масштабе. Первый з-д их появился в 1913 г., в Оппау; в 1927 г. заводы Леуна у Мерзебурга уже дали 340000 *т* NH_3.

а) В процессе Габера и Боша смесь газов готовится по способу Боша, применяемому BASF: в газогенераторных печах, питаемых коксом, получается смесь CO и N_2, которая смешивается с водяным газом, полученным по методу BAMAG; эту смесь пропускают с избытком водяного пара над Ктр. из активированной окиси железа. После поглощения полученного CO_2 адсорберами с водой под давлением смесь содержит N и H

почти в стехиометрич. пропорции (N_2:H_2 = =1:3 по объему). После последующей очистки и сушки смесь поступает в контактные аппараты. Удаление CO (являющейся ядом для Ктр.) путем промывания газов аммиачным раствором закиси меди—неудовлетворительно, так как при этом отлагается медь и разъедается железная аппаратура. Несколько лучше действует закисная аммиачно-медная соль муравьиной к-ты, но поглощение CO получается неполное. В Оппау газы пропускают для очистки через стальные бутыли, под давлением 200 *atm*; в первых восьми бутылях циркулирует указанный выше формиат меди, а в последующих—едкий натр при 260°. Для осушения газы пропускают над амидом натрия, $NaNH_2$. Для предохранения Ктр. от возможности отравления CO очень рекомендуется ставить «протектор» с Ктр., чаще всего с Fe или Ni, при условиях, обычно применяемых для гидрирования. Синтез NH_3 выполняется при давлении 200 *atm* и *t*° ок. 500°. В аммиак практически превращается 7—9% смеси на каждую контактную единицу; общий выход достигает 80% теории. Первоначально реакционные бомбы нагревались снаружи, но этот способ в настоящее время оставлен, т. к. водород при высокой *t*° декарбонизует сталь. Новые типы аппаратов строятся из специальных сталей с малым содержанием углерода. Для начала реакция требует предварительного подогревания смеси или Ктр., после чего она поддерживается собственным теплом. Полученный аммиак сжижается в конденсаторах, а непрореагировавшая смесь возвращается в цикл.

б) Способ Клода характерен «сверхдавлением» в 1 000 *atm*, отчего получается лучший выход, т. к. для 1 000 *atm* и 550° равновесие отвечает содержанию 41% NH_3 (вместо 13% у Габера). Аппаратура построена из никельхрома или специальных сплавов «ATG», Vichronic. Оболочка катализаторной бомбы имеет толщину стенок 64 *мм* и длину ок. 2 *м*. Трубка с Ктр. привинчена снаружи, так что ее можно переменить в 10 мин. Контактных аппаратов четыре: через первые два газ идет параллельно, через два последних—последовательно. Смесь нагнетается сверхкомпрессором при 1 000 *atm* и через подогреватели подходит к «протектору» с Ктр., который улавливает яды (гидрирует CO в CH_4 и O в H_2O). За протектором стоит холодильник, где конденсируются следы воды; чистые газы затем проходят через подогреватель, две первые бомбы с Ктр. и затем, после охлаждения и подогревания, через две последние бомбы. Непрореагировавшая смесь (ок. 20%) возвращается обратно, а полученный аммиак сжижается. Выход равняется 5 *m* сухого аммиака в день на 1 производственную единицу описанного типа.

в) Способ Казале отличается от способа Габера применением бóльших давлений; при этом выход NH_3 достигает 20%. В большинстве установок системы Казале пользуются электролитическим водородом, к-рый освобождают от примеси кислорода каталитическим сжиганием соответствующего количества $2H_2+O_2$ в воду. Процесс синтеза NH_3 ведется при 750—800 *atm* и 400°. Темп-ра Ктр. поддерживается теплотой реакции после предварительного подогрева. Ктр. служит железо или окись его с различными активаторами (Co, Ni, Mn, Mo, W, U), а также с углем или окисями легких металлов (Mg, Al, Ca), которые являются одновременно и субстратом и активатором.

г) В способе Фаузера азот очищается от остатков кислорода и от примесей NO пропусканием над медью при 400°. Смесь проходит при 250 *atm* и 500° через восемь контактных башен. Ктр.—окись железа с добавкой 4—5% активаторов. Продукция—до 10 *m* в день на производственную единицу.

д) В способе Мон-Сени (Mont-Cenis) смесь нагнетается в Ктр. под давлением ок. 80 *atm*, при чем 10—20% азота переводится в аммиак. Ктр.—железо с комплексными алюможелезосинеродистыми солями (точный состав его держится в секрете), отличающийся особой активностью. Темп-ра реакции—около 400°. Так как и давление и температура реакции низки, то аппаратура может быть изготовлена из обычной сименс-мартеновской стали.

е) Способ Цедербурга (Norsk Hydro-Electrisk) применяет в качестве Ктр. комплексные ферроцианиды со щелочными металлами.

Сейчас известно, кроме перечисленных, еще много способов синтеза NH_3, но все они являются только вариантами указанных. Углекислота, к-рая в процессе Габера и Боша при очистке газов поглощается в скруберах (на 1 *m* NH_3 получается 45 000 фт.³ CO_2), находит применение для получения аммонийных солей.

В настоящее время синтезы аммиака в мировой азотной промышленности занимают доминирующее место. Мировая добыча связанного азота по отдельным отраслям промышленности распределяется так (в %):

	1913 г.	1926 г.	1927/28 г.
Связанный азот из воздуха	7,1	55,8	55,9
Аммиак из каменного угля	36,7	23,6	16,5
Чилийская селитра	56,2	20,6	27,6

Принимая во внимание все строящиеся заводы, можно считать, что на 1930/31 г. будет получено синтетич. методами 2,2 млн. *m* связанного азота. Германия по синтезу аммиака занимает первое место, т. к. способ Габера и Боша в ней используется еще и для других целей, требующих высоких давлений: в Леуна и Оппау на габеровских установках работают з-ды искусственного бензина. В виду своей относительной простоты синтез аммиака в настоящее время обходится дешевле всех остальных методов получения связанного азота. Каро указывает, что цианамидный способ может итти наравне со способом Габера лишь при наличии дешевой электроэнергии. В настоящее время во всех странах промышленность синтетич. аммиака широко развертывается. Крупнейшими азотными синдикатами являются: I. G. в Германии, Азотный синдикат Каро и концерн Кульмана во Франции, Nitram Ltd. в Англии, Dupon de Nemour в Соединен. Штатах Америки, концерн Монтекатини в Италии. Продукция связанного азота из воздуха на 1927 г. составляла (в *m*):

Германия . .	450 000	Англия . . .	14 400
Франция . . .	43 000	Бельгия . . .	12 000
Италия	34 500	Испания . . .	6 000
С. Ш. А. . . .	32 450	Швейцария .	2 200
Япония . . .	27 000		

3) Дегидрогенизация (дегидрирование). Для процессов дегидрогенизации Ктр. являются те же вещества, что и для гидрогенизации. Обычно дегидрогенизация наступает при более высокой $t°$, чем гидрирование. Ипатьев, Сабатье и др. показали, что в случае альдегидов, кетонов и спиртов существует равновесие, когда скорости гидрогенизации и дегидрогенизации взаимно уравновешиваются. Дегидрогенизация органич. соединений с открытой цепью обычно протекает сложно, с образованием многочисленных продуктов, расщеплением цепей и выделением угля. При этом одновременно имеют место два основных процесса: а) распадение сложных молекул на более простые и б) полимеризация обрывков цепей в высокомолекулярные продукты. Разложение ацетилена над Ni, изученное Сабатье, приводит при 150° к образованию сложных керосиноподобных смесей жирных, жирно-ароматич. и ароматич. углеводородов.

Крекинг нефти. Дегидрогенизация имеет в технике большое значение для получения из высококипящих масел более низкокипящих продуктов разложения, которые заменяют бензины. Это было впервые отмечено в 1792 г. Мердоком, к-рый при нагревании тяжелого масла получил смесь горючих газов. Расщепление масел при крекинге доводится до образования лишь жидких продуктов; при дальнейшем повышении $t°$ происходит дальнейшая дезаггрегация цепей, с образованием газов и угля. Последние процессы называются пирогенезом. Обычно крекингу (см. *Крекинг-процесс*) подвергают не сырую нефть, а нефтяные погоны—пиронафт, соляровые масла—с целью получения из них бензинов. При 600—900° наступает пирогенез с образованием газов; поэтому крекинг ведут при 300—600°, при чем получается смесь предельных и непредельных углеводородов. В имеющихся условиях непредельные соединения обычно полимеризуются и дают смолистые продукты, к-рые в свою очередь распадаются, давая в числе продуктов уголь и водород. Крекинг нередко ведут в присутствии Ктр.; Ипатьев нашел, что хорошим Ктр. для этой цели является глинозем. Ипатьев в 1907 г. и Сабатье в 1909 г. соединили крекинг с гидрогенизацией—для перевода непредельных углеводородов крекинга в предельные. Сабатье с Ni при 150° или с Fe при 400° получил до 75% предельного бензина. Шпиндлер в 1928 году описал интересный способ получения насыщенных и ненасыщенных цепных и кольчатых углеводородов путем пропускания этилена через различные Ктр. (Fe, Ni, Co, Cu, Cr, V, Ce, Pt, Pd) при 500° и давлении 1 000 *atm*. Действием пламенной дуги при 1 300° и 650 *atm* на CH_4, C_2H_6, C_3H_8 и т. д. в присутствии Se, Te, Th, силикагеля, активированного угля—эти углеводороды м. б. целиком разложены на ацетилен и водород.

Крекинг под давлением дает меньший % газов и смол и бóльшие выходы бензина. Крекинг бакинской нефти с $t°_{кип.}$ 360—420° под давлением 420—450 *atm* дает (из 500 *л*): 50—100 *л* газов (80% CH_4+20% непредельных углеводородов), 320 *л* масла (90% с $t°_{кип.}$ до 280°) и 50 *л* пека. При новейших способах крекинга применяются невысокие давления порядка 10 — 15 *atm* при темп-ре 500—600°. В год крекируется ок. 10 млн. $м^3$ нефтяных погонов. Введение вместе с нефтью паров воды уменьшает нагар и образование кокса, т. к. вода окисляет уголь в CO, давая водяной газ. Часто крекинг ведут с водородом и Ктр. в условиях, напоминающих бергинизацию (см. *Жидкий уголь*).

При крекинге углеводородов с открытыми цепями получаются всегда и кольчатые углеводороды, очень стойкие к нагреву. Ароматич. углеводороды в этих условиях уплотняются в многоядерные или конденсированные циклы. На этом принципе основаны заводские способы получения дифенила из бензола, дитолила из толуола, а также различные конденсации, связанные с дегидрогенизацией, напр., переход дибензила в фенантрен, дифенилметана во флуорен, и т. д. При помощи этого метода получаются трудно доступные: флавантрен, бензодиантроны, перилен, бензантрон, нафтодиантрон, виолантрен, различные дериваты пирантронов и т. д., представляющие собою сложные системы из 5—10 конденсированных бензольных колец. Дегидрирование простых циклич. соединений с 1 — 2 шестичленными кольцами, насыщенными водородом, идет легко при пропускании их паров через трубку с Ктр. В качестве последнего особенно пригодны Ir, Rh, Pt, Pd. Обычно процесс идет несколько глубже, и, вследствие частичного разрушения колец, образуются также газы.

Исследование процессов дегидрирования с благородными металлами в качестве Ктр. принадлежит Сабатье и Сандерену, к-рые вели реакцию при 400° и не наблюдали при этом распада бензольных колец. Зелинский на основании опытов Ипатьева применил более доступный Ктр.—$Ni(NO_3)_3$ с алюминатом натрия [или $Al_2O_2(OH)_2$ с 50% Ni]; дегидрогенизация идет количественно без разложения при 300°. В технике способ дегидрогенизации циклич. соединений применяется для ароматизации нефти, т.е. для получения бензольных углеводородов путем отнятия водорода от нафтенов.

Водород как продукт разложения органических соединений получается иногда в больших размерах; каталитич. процессы имеют и здесь технич. значение. Carboneum-Gesellschaft получает водород разложением ацетилена под действием электрич. искровых разрядов, при чем одновременно получается хорошая ламповая копоть. BASF получает водород пропусканием паров масла над Ктр., состоящим из MgO с 5% Ni, при 800—1 000°. Ринклер и Вольтер впрыскивают в нагретые генераторы смолу или масло и получают водород и уголь; вдувая затем пары воды, они получают из отложившегося кокса и воды водяной газ.

Дегидрогенизация спиртов применяется в промышленности для получения альдегидов по реакции:

$$C_2H_5 \cdot OH = CH_3 \cdot CHO + H_2.$$

Первое количествен. исследование этой реакции принадлежит Ипатьеву, к-рый нашел, что при пропускании паров спирта через трубку при $t° \geqslant 700°$ идет двоякое разложение: 1) дегидратация и 2) дегидрогенизация.

$$CH_3 \cdot CH_2OH \nearrow C_2H_4 + H_2O$$
$$\searrow CH_3 \cdot CHO + H_2$$

Выход альдегида—не выше 30%, т. к. часть его разлагается по ур-ию:

$$CH_3 \cdot CHO = CO + CH_4.$$

В присутствии Ктр. (лучшими являются Zn, Fe и Cu) темп-ра реакции снижается, и при 200—500° наблюдается значительный сдвиг равновесия в сторону образования альдегида, при чем этиленовое разложение можно свести к нулю. С Zn можно получать 60—75% альдегида, с Fe и Cu—до 50%. Вторичные спирты, при дегидрогенизации по Ипатьеву, дают кетоны с аналогичными выходами; третичные спирты разлагаются при этих условиях на воду и непредельные углеводороды. Все сказанное относится также и к ароматич. спиртам. Путем пропускания метилового и этилового спиртов над различными Ктр. получают в заводских масштабах формальдегид и уксусный альдегид (Кот д'Ор, Бургундия, Шампань, Ганновер и т.д.). При применении тех же Ктр. под давлением характер распада спиртов меняется и, по терминологии Ипатьева, наступает «парафиновое» разложение, т. е. получаются предельные углеводороды с выходами в 40—70%.

4) Гидратация. Каталитич. присоединение воды к непредельным соединениям этиленового и ацетиленового ряда идет по следующим ур-иям:

$$CH_2 : CH_2 + H_2O = CH_2CH_2OH;$$

$$CH : CH + H_2O = CH_3 \cdot C\begin{matrix}O\\H\end{matrix}.$$

Теоретически по приведенным схемам можно ожидать получения спиртов и альдегидов. Получение винного спирта из этилена и из ацетилена в настоящее время производится в заводском масштабе. В Англии из этилена, доставляемого газами коксовых печей, пропусканием его через серную к-ту, содержащую 5% CH_2O и нек-рое количество ртутной соли, получают до 50 млн. галлонов этанола в год. В основе получения этанола из ацетилена лежит реакция Кучерова, к-рый наблюдал, что при пропускании ацетилена в растворы солей ртути образуется уксусный альдегид. Пользуясь этой реакцией, Нейман, Шнейдер и др. осуществили заводское получение этанола из карбида кальция: ацетилен пропускают через башни или ванны с H_2SO_4, содержащей 0,5—1,0% $HgSO_4$. Альдегид получается с выходами до 90%, после чего его гидрируют над Ni, по Сабатье, в этанол. В качестве Ктр. применимы также H_2MoO_4, H_3PO_4 и др.

5) Дегидратация. В качестве водоотщепляющих Ктр. применяются самые разнообразные вещества: минеральные к-ты, их соли и ангидриды, хлориды металлов, окиси, органич. кислоты и их ангидриды, а также некоторые металлы. Дегидратация органич. соединений ведет к образованию непредельных углеводородов, эфиров и полимерных продуктов. В промышленности имеют значение главн. образом реакции образования олефинов и эфиров. Реакции дегидратации алкоголей под влиянием Ктр. открыты Ипатьевым. Для получения олефинов из спиртов применялась ранее цинковая пыль, дающая выход до 50%. Ипатьев нашел, что куски графита с глиной и примесью железа являются хорошим Ктр., который при 500—600° превращает этиловый спирт в этилен почти нацело, но лучшим Ктр. для этого процесса является глинозем, Al_2O_3, к-рый дает выходы этилена в 98% без примеси альдегида. Аналогично распадаются все жирные первичные одноатомные спирты. Ароматич. спирты дают продукты глубокого уплотнения углеводородного характера; фенолы при действии Al_2O_3 дают сперва алюминаты, которые при повышенной $t°$ разлагаются с образованием эфиров:

$$2\,C_6H_5 \cdot OH \rightarrow 2\,C_6H_5 \cdot O \cdot C_6H_5 + H_2O.$$

Лучшие выходы аромат. эфиров достигаются с ThO_2; этот Ктр. применяют в заводских синтезах. Терпеновые и алициклич. спирты при дегидратации дают олефиновые углеводороды. Гликоли действием дегидратирующих Ктр. под давлением превращаются в окиси, которые затем изомеризуются в альдегиды или кетоны:

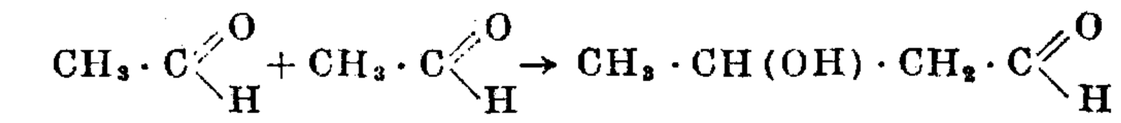
$$\begin{matrix}CH_2OH\\|\\CH_2OH\end{matrix} \rightarrow \begin{matrix}CH_2\\|\\CH_2\end{matrix}\!\!>\!O \rightarrow \begin{matrix}CH_3\\|\\CHO\end{matrix}$$

Циклогексанол дает циклогексен, борнеол—камфен, ментол — смесь ментенов. Вторичные спирты, равно как и третичные, дают лишь этиленовые углеводороды. Механизм дегидратации металлами и окислами объяснить трудно; нек-рые авторы полагают, что Ктр. в условиях реакции имеет тенденцию к соединению с элементами воды. По этому представлению дегидратация спиртов идет в две фазы: сперва образуется эфир, к-рый далее теряет молекулу воды, превращаясь в олефин:

$$2\,C_2H_5OH \rightleftarrows (C_2H_5)_2O + H_2O;$$
$$(C_2H_5)_2O \rightarrow 2\,C_2H_4 + H_2O.$$

В атмосфере водорода под давлением спирт при 400° расщепляется на эфир и воду; при 490° начинает образовываться этилен. Вторичные спирты разлагаются быстрее, третичные—эфира не дают. Сабатье и Майль, применяя ThO_2, получали со спиртом комплексы вида $ThO(OR)_2$, от которых действием NH_3, HCl и H_2S можно переходить к аминам, галоидопроизводным и меркаптанам. Выходы эфиров с ThO_2 достигают 50%. При пропускании смесей паров фенолов со спиртами при 390—420° над ThO_2 получаются смешан. жирно-ароматич. эфиры. Обычные способы получения сложных эфиров из к-т со спиртами также основаны на каталитич. ускорении реакции этерификации, что достигается действием сильных к-т (гомогенный К.) или пропусканием паров спирта и к-ты через нагретую трубку. Здесь Ктр. служат некоторые металлич. окислы, способные давать нестойкие соединения со спиртами; на 1 молекулу кислоты берется до 12 молекул спирта; выходы достигают 80—90%. На описанных реакциях базируется современное производство простых и сложных эфиров.

6) Полимеризация и конденсация. Среди многочисленных реакций полимеризации, проводимых при помощи Ктр., технич. значение имеет альдольная конденсация двух частиц уксусного альдегида в присутствии HCl или $ZnCl_2$:



При нагревании ацетальдегида до 100° со стружками Zn получается кротоновый альдегид, $CH_3 \cdot CH{:}CH \cdot CHO$. Бензальдегид при нагревании со спиртовым раствором KCN образует бензоин:

$$C_6H_5 \cdot COH + COH \cdot C_6H_5 \rightarrow C_6H_5 \cdot CH(OH) \cdot CO \cdot C_6H_5.$$

Совершенно аналогично получается анизоин из анизилальдегида, куминоин из куминового альдегида и фуроин из фурфурола. Вероятно, большое техническ. значение приобретет реакция, впервые открытая Бутлеровым,—полимеризация формальдегида во фруктозу под каталитич. действием извести:

$$6\,CH_2O \rightarrow CH_2OH(CHOH)_2 \cdot CO \cdot CH_2OH\ .$$

Если пропускать пары метилового спирта в смеси с CO над ThO_2, TiO_2, Zn, Mn при 175—260°, то получается уксусная кислота. Очень интересны патенты Дрейфуса, к-рый получает уксусную к-ту из метана и CO_2 в присутствии солей Co и Ni. По другому способу того же автора, CO барботируют через теплый метанол, и парообразную смесь пропускают под давлением при $t°$ 300—350° через зерненый Ктр. (SnO_2, ZnO, Al_2O_3 или Cr_2O_3); получается уксусная к-та, а при избытке метанола—ее метиловый эфир.

Реакции конденсации имеют большое техническ. значение в производстве искусственных смол, получаемых конденсацией формальдегида с фенолами, кровью, фурфуролом, кумароном, инденом и друг. (см. *Смолы искусственные*). Применение разнообразных Ктр., к-рые в данном случае называют модификаторами, позволяет получать смолы различной окраски, мягкости, плавкости и твердости.

7) Галоидирование. Введение галоида в органич. соединения в присутствии Ктр. имеет технич. значение при хлорировании метана. При пропускании смеси CH_4 и Cl_2 над $CuCl_2$, распределенной на пемзе, при 435°, получается смесь, состоящая из 5,4 ч. CCl_4, 4 ч. $CHCl_3$, 22 ч. CH_2Cl_2 и 0,6 ч. CH_3Cl. Хлорирование этана и высших парафинов может производиться с J, P, Sb, Mo, $AlCl_3$ и $FeCl_3$. Хлорированием в присутствии $FeCl_3$, Fe_2O_3, $FeCO_3$, $FeSO_4$ спирт легко переводится в хлорал. При бромировании ароматич. углеводородов, в качестве Ктр. можно брать $AlBr_3$, $FeBr_3$, Fe и друг. Присоединение галоидоводородных кислот к непредельным соединениям без Ктр. идет плохо даже при 150—200°; лучшими Ктр. для этой цели являются $BiCl_3$ и $BiBr_3$, к-рые позволяют вести реакцию даже при обыкновенной $t°$, а при 120—150° проводят ее очень быстро. Вибо (Wibaut) получал хлористый этил из светильного газа (в к-ром всего лишь 1—2% этилена), действуя на него HCl в присутствии $BiCl_3$.

8) Отрицательный К. Отрицательные Ктр. имеют практич. применение лишь в целях «стабилизации» продуктов, когда необходимо предотвратить или замедлить химич. изменение вещества. Вода, к-рая в малых количествах играет роль положительного Ктр. для большинства химич. реакций, в больших количествах нередко оказывает отрицательное действие, замедляя, например разложение аммиака, а также и обратный процесс синтеза его из элементов. Многие соединения изменяются вследствие *автоокисления* (см.); сюда относится, напр., окисление альдегидов при их хранении. Предотвратить этот процесс можно прибавлением небольших количеств фенола, к-рый каталитически тормозит автоокисление. Тиомочевина, гидрохинон, фенол и другие вещества предохраняют многие тела от полимеризации, разложения или окисления: такие отрицательные Ктр. носят название стабилизаторов; те из них, к-рые специфически замедляют окислительные процессы, называются также *антиоксигенами* (см.). 30%-ная перекись водорода (пергидрол) разлагается довольно быстро, но прибавление барбитуровой к-ты, фенацетина или некоторых производных мочевины значительно замедляет процесс, так что продукт выдерживает перевозку и хранение. Хлороформ предохраняют от разложения прибавлением спирта, выцветающие краски стабилизируют фенолом. Защита металлич. поверхностей от окисления и коррозии достигается применением $CrCl_3$, к-рый защищает железо от действия воздуха и слабых к-т; таким же образом действуют хроматы и бихроматы. Соли железа предохраняют медь от коррозии.

Большое значение имеют отрицательные Ктр. в области двигателей внутреннего сгорания, где в настоящее время широко применяются т. н. *антидетонаторы* (см.), прибавляемые в небольших количествах к жидкому горючему. В качестве антидетонаторов применяются: диэтилселенид, $(C_2H_5)_2Se$, диэтилтеллурид, $(C_2H_5)_2Te$, тетраэтилсвинец, $(C_2H_5)_4Pb$ и другие вещества.

Лит.: Ипатьев В., Роль окислов в явлении катализа, «Ж», 1907; его же, Каталитические реакции при высоких температурах и давлениях (докт. диссерт.), СПБ, 1907; Учение о катализе, сборник «Новые идеи в химии», *8*, Л., 1924; Джоблинг Е., Катализ и его применение в технике, М.—Л., 1925; Сыркин Я. К., Катализ, «ЖХП», 1926, т. 3, стр. 1034, 1116, 1197; Челинцев В. В., Контактно-каталитич. процессы в области органических соединений, Л., 1927; Рабинович А. И., О механизме гетерогенных реакций, «Сообщения о научно-технич. работах в Республике», вып. 22, Л., 1927; Woker G., Die Katalyse, Die chemische Analyse, hrsg. v. B. M. Margosches, B. 11—12, Stuttgart, 1910, B. 21—22, Stuttgart, 1915; Henderson G., Catalysis in Industrial Chemistry, L., 1921; Mailhe A., État actuel de la catalyse. Les actualités de chimie contemporaine, publ. par A. Haller, séric 1, Paris, 1922; Falk K. O., Catalytic Action, N. Y., 1922; Pascal P., Synthèses et catalyses industrielles, P., 1925; Rideal E. and Taylor H., Catalysis in Theory and Practice, L., 1926; Mittasch A., Bemerkungen z. Katalyse, «B», 1926, Jg. 59, p. 13; Structure et activité chimiques. Rapports et discussions, Institut International de Chimie Solvay, Paris, 1926; Sabatier P., Die Katalyse in d. organischen Chemie, 2 Aufl., Lpz., 1927; Rideal E., Catalytic Action, «Chemical Review», Baltimore, 1928, v. 5, p. 67; Brönsted I., Acid and Basic Catalysis, ibid., p. 231—338; Homogeneous Catalysis. Discussion, «Trans. of the Faraday Soc.», L., 1928, v. 24, p. 545—696; Frankenburger W., Neuere Forschungen auf d. Gebiete d. heterogenen Katalyse, «Z. ang. Ch.», 1928, Jg. 41, p. 523, 561; Green B. J., Industrial Catalysis, L., 1928; Hilditch T., Catalytic Processes in Applied Chemistry, L., 1929. **В. Ипатьев.**

Каталитические процессы в технике.

В. Янковский.

Катализаторы, выделенные жирным шрифтом, употребляются предпочтительно перед остальными; к этим же катализаторам относятся и приводимые условия процесса ($t°$ и давление). Запятые между ф-лами веществ, стоящими внутри скобок, означают «или».

№	Реакции	Употребляемые или предложенные катализаторы	Условия процесса		Вещества, активирующие катализатор («активаторы»)	Вещества, отравляющие катализатор («каталитич. яды»)	Автор метода
			$t°$	давление, *atm*			
	I. Восстановление, гидрогенизация						
1	Синтез аммиака из азота и водорода ($N_2+3H_2 \rightarrow 2NH_3$)	**Fe**, Ni, **Os**, Mn, Cr, Mo, W, U, Ce; Pd + Mo; **Fe** + (**Mo**, W, U, Co, Ni, Cr, Mn, Ti, MgO, CaO, Al_2O_3, SiO_2); карбиды и нитриды тяжелых металлов; **карбид U**; Li_3N + + (MgO, CaO); $Fe+AlFe(CN)_6$ (?)	400—600	80—1000	Окиси тех же металлов; K_2O; MgO; Al_2O_3; SiO_2; ZrO_2	S, Se, Te, P, As, B и их соединения; CO; углеводороды	Haber, Bosch, Mittasch, Claude, Casale
2	Гидрирование непредельных органическ. соединений	Pt, Pd; Ni, Co, Cu, Ag, Au, Ca; CuO; CuO+Fe	0—250	1	—	—	Sabatier и др.
	То же	Cu+(CuO, Cu_2O)	270—300 (для алифатич. соединений)	$\geqslant 1$	NaOH, KOH, LiOH, BaO, SrO, CaO, MgO, ZnO; карбонаты, фосфаты и бораты щелочных металлов	CO	—
3	Гидрирование (отверждение) жиров	**Ni**; Ni_2O_3; NiO; соли Ni	190—250	$\geqslant 1$	Mg, Zn, La, Ti, Ce	Cl_2; HCl; H_2S; SO_2; CS_2; CO; HCN; белки	Normann, Erdmann, Lush
	То же	Ni	120—200				
	» »	**Ni_2O_3**; NiO; CuO	230—300	20—35	—	—	Ипатьев
	» »	**Pd**, Pt, Fe, Cu; (Pd, Pt) + (Mg, Ni, Co, их окиси, карбонаты и другие соли); окиси, гидроокиси и соли Pd и Pt	20—80	1—3	Mg; MgO	S, P; As; минеральные к-ты; углеводороды; $CHCl_3$; Zn, Al, Sn, **Pb**, Bi, Fe, Cu, Ag	Paal, Skita, С. Фокин
4	Гидрирование ароматич. соединений (получение тетралина, декалина, гидроароматических спиртов, аминов, кислот и т. п.)	**Ni**; Pt, Pd; соли Ni; **Ni+Al_2O_3**; **Ni_2O_3**; NiO; Co_2O_3; Fe_2O_3; CuO; Ni, Fe, Cu	150—260 250—400	1—40 100—150	Al_2O_3; Fe_2O_3 » »	HCN; HCl; S; As; Hg »	Sabatier, Schroeter, др. Ипатьев
5	Фенол + $3H_2 \rightarrow$ циклогексанол $C_6H_{11}\cdot OH$	Ni	140—190	$\geqslant 1$	—	—	Sabatier
6	Восстановительный крекинг нефтяных фракций или продуктов их пирогенизации в атмосфере $H_2 \rightarrow$ бензин	Ni	150—200	$\geqslant 1$	—	—	Sabatier
7	Ацетилен + $3H_2 \rightarrow$ искусственная нефть	Fe, Co, Ni	180—300	$\leqslant 1$	—	—	Sabatier et Senderens; Andry-Bourgeois
8	Гидрирование карбонильных соединений: (альдегиды, кетоны и т. д.) + $H_2 \rightarrow$ первичные и вторичные спирты и т. д.	**Ni**, Co, Fe, Pt, Cu	100—200	1—15	—	Cl, Br, J; S; P, As	Sabatier, Senderens
9	Ацетальдегид + $H_2 \rightarrow$ этиловый спирт	**Ni**, Co; FeO	150—180	1	—	Cl, Br, J; S; P; As; $CH_3\cdot COOH$	Sabatier et Senderens
	То же	Cu—пыль	200—220	1	—	—	Armstrong
10	Альдоль + $H_2 \rightarrow$ нормальный бутиловый спирт	Cu	180—200	1	—	—	Steimmig, Ulrich
11	Восстановление кубовых красителей ронгалитом (гидросульфит + формалин)	Соли Fe, Ni, Sn; антрахинон; пурпуровый индулин	20—100	1	—	—	Baumann, Wilhelm
12	$CO+H_2 \rightarrow$ формальдегид CH_2O	Ni+Cu+Al_2O_3	150—300	10	H_2O	—	Lush

13	$CO+2H_2$→метиловый спирт	**ZnO**; CdO	400—420	150—250	—	—	Patart, Colvert
	То же	$ZnO+(V_2O_5, Cr_2O_3, W_2O_5, UO_2, CuO)$; $MgO+Mo_2O_5$; $CdO+(V_2O_5, Cr_2O_3)$; $CeO_2+Mn_2O_3$ и другие смеси окисей металлов II и VI или VII групп	400—450	50—200	—	Fe; щелочи	Mittasch и др.(BASF)
13а	$(CO, CO_2)+(2\div3)\ H_2$→ метиловый спирт	**Cu**+(Ag, Ce, Th, Cr, U, Mn, Co); $CuO+(Ag_2O, UO_2)+(Cr_2O_3, Mn_2O_3)$; хроматы, вольфраматы, молибдаты Cu и Ag и их смеси; Cu+Zn+ZnO	220—260	70—150	Соли Na	Fe	Schmidt u. Ufer (BASF) и др.
	То же	Ni(восстановленный при 500—600°)	380—430	~ 200	—	—	Woodruff & Bawnister
14	$CO+H_2$→спирты, кетоны и т. п. (синтол)	**Fe+(K_2CO_3, KOH)**; Ni	400—450	100—150	—	HCl	F. Fischer u. Tropsch
14а	$(CO, CO_2)+H_2$→высшие спирты, эфиры, альдегиды, кетоны и т. п.	Cu, Ag, Zn, Pb, Cr, Mn, **Co**; **ZnO** + Cr_2O_3 + (K_2O, BaO, PbO, K_2CO_3, BaO_2H_2); (**ZnO**; Al_2O_3; PbO. V_2O_5, Cr_2O_3, MoO_2, W_2O_5, UO_2, Mn_2O_3, CuO, Ag_2O)+(хроматы, молибдаты, вольфраматы, манганаты, уранаты и ванадаты Na, K, Rb, Ba)	450—500	180—200	Щелочи	—	Mittasch и др. (BASF); Patart
15	$CO+3H_2$→метан	**Ni**, Co, Fe; Ni+(Al_2O_3, C); MnO	230—290	1	Al_2O_3; Fe_2O_3; CeO_2; V_2O_5	HCl	Sabatier et Senderens, Neumann
16	CO_2+4H_2→метан	**Ni**; Ni+Al_2O_3	300—400	1	Al_2O_3; Fe_2O_3; CeO_3; V_2O_5	»	Sabatier et Senderens, Neumann
17	$CO+H_2$→углеводороды (искусственная нефть)	**Co**+Cr_2O_3; (Fe, Co, Ni, Pd, Cu)+ +(Fe_2O_3, Co_2O_3, Mn_2O_3, MnO, Cr_2O_3, UO_2, U_3O_8, окиси редких земель, Al_2O_3, ZnO, MgO, BeO, KOH, NaOH, SiO_2, акт. уголь); (Fe, Co)+Cu; Fe+Co+Fe_2O_3+Co_2O_3	250—300	1	Окиси и карбиды тех же металлов	HCl; S и ее соединения	F. Fischer u. Tropsch
17а	То же—из $CO+(0,3\div0,5)\ H_2$	Ni+(ZnO, Co_2O_3, OsO_2)+(KOH, NaOH)	300—400	~ 100	—	—	BASF
18	Ароматич. нитросоединения + $+xH_2$→амины первичные	**Cu**; Au; FeO; Fe_3O_4; Sn и его соединения	180—400	1	—	—	Sabatier et Senderens и др.
18а	То же (в жидкой фазе)	Ni, Co, Fe, Cu и их окиси	50—120	4—10	—	—	Poma e Pellegrini
19	Восстановление нитробензола в анилин (действием Fe+HCl или $CH_3 \cdot COOH$)	$FeCl_2$ (образ. из введенного Fe)	100—120	1	—	—	Laurent
20	Нитробензол+ $3H_2$→анилин	**Cu**+(Zn, Mg, Fe, Ag); FeO; Fe_3O_4	300—400	1	—	—	BASF
	То же	Коллоид. **Pd**, Pt, Os, Ir	60—85	≈ 1	—	PH_3; H_2S; CS_2; CO; C_2H_4; $(C_2H_5)_2O$	Зайцев, Paal, Skita
	То же	Sn; SnO; SnO_2	~ 230	1	—	—	Brown & Henke
	То же	TiO_2	~ 280	1	—	—	Etsel
21	Ароматич. нитросоединения + +(1,5—3) H_2→азокси-, азо-, гидразо- или аминосоединения	Pb, Bi, Ta	200—260	1	—	—	Brown & Henke
22	Получение фенола $C_6H_5 \cdot OH$ из его гомологов+H_2	Ni, Pt, Cu, Ag; **$NiCrO_4$**	~ 400	1	Cr_2O_3	—	Schmidt u. Seydel, BASF
	II. Окисление, дегидрогенизация						
1	Поверхностное сжигание газообразного топлива	Материал диафрагмы (MgO, карборунд, силикаты, алюмосиликаты)	800—2 000	1	—	—	Bone, Schnabel, Lucke
2	Камерное производство серной к-ты (SO_2→H_2SO_4)	Окислы азота (кроме N_2O)	30—90	~ 1	—	—	Clément, Desormes и др.
3	Контактное производство серной к-ты (SO_2→SO_3)	Губчат. **Pt**, Rh	400—525	1	Fe; Al; SiO_2	Hg, Pb, P, As, Sb, Se и их соединения; HCN; J	Winkler, Knietsch и др.
	То же	**Fe_2O_3** (колчеданные огарки)	550—650	1	—	H_2O	—
	То же	**V_2O_5**; ванадаты Fe, Co, Cr, Ag;	425—525	1	Соли K, Ce, Th	—	—

(Продолжение.)

№	Реакции	Употребляемые или предложенные катализаторы	Условия процесса		Вещества, активирующие катализатор («активаторы»)	Вещества, отравляющие катализатор («каталитич. яды»)	Автор метода
			$t°$	давление, *atm*			
4	Окисление CO в CO_2 свободным кислородом	Губчат. Pt, Pd, Au; MnO_2+CuO (гопкалит)	Обыкн.	1	—	H_2O	—
5	Получение водорода из $CO+H_2O \rightarrow CO_2+H_2$	**Fe_2O_3**, Co_2O_3; **Fe**, Ni; Pd; Fe_2O_3+MnO_2	300—600	$\geqslant$ 1	Щелочи; Al_2O_3; Cu	—	Bosch (BASF), Maxted
6	Получение хлора из $4HCl+O_2 \rightarrow 2H_2O+2Cl_2$	**$CuCl_2$**; $NiCl_2$, $FeCl_3$, $PtCl_4$; Pt; Cr_2O_3; $CuCl_2$+другие хлориды; $MgCl_2$ + $MnCl_2$ + $MgSO_4$	450—470	1	—	SO_2; SO_3; As_2O_3	Deacon, Hurter
7	Получение свободной серы из $2H_2S+O_2$	**Fe_2O_3**; **актив. уголь**; силикагель; боксит; велдоновский ил; уголь+NH_3	100—400	1	—	—	Claus, Chance
8	Контактное окисление аммиака: $NH_3 \rightarrow NO$ (NO_2, N_2O_3)	**Pt**; **Fe_2O_3**	600—800	$\geqslant$ 1	Окислы тяжелых металлов (Cr, Mn, Bi)	К-ты; Cl_2, Br_2, J_2; HF, HCl, HBr, HJ; C_2H_2; S, P, Si и их соединения; щелочные металлы	W. Ostwald и др.; Frank u. Caro; «F. Bayer & Co.»
	То же	Rh, Ir; W, U; Be, Zn; Cu; Co_2O_3, Ni_2O_3, MnO_2, Cr_2O_3, V_2O_5, CeO_2, ThO_2, PbO_2, CuO, Ag_2O; $MgPbO_3$; (**Fe_2O_3**, Co_2O_3) + (**Bi_2O_3**, Cr_2O_3, WO_3, MnO_2, CeO_2, ThO_2, CuO); **Pt+Rh**; $Co(VO_3)_2$	200—825	1—6	Окислы тяжелых металлов (Cr, Mn, Bi)		
8а	Контактное окисление аммиака: $NH_3 \rightarrow HNO_3$ или нитрат	$BaPbO_3$+$BaMnO_4$ (нитроксан)	300—450	1	—	CO_2; S; органич. вещества	Kassner
9	Гидроароматич. и нафтеновые углеводороды→ароматич. углеводороды+H_2	**Ni**; Co, Fe, Cu; Pt, Ir, Pd, Rh; **Ni+Al_2O_3**	250—360	1	—	—	Зелинский
10	Метан+O_2→формальдегид	**Cu**, Ag; пемза, асбест	500—600	1	CuO; Cu_2O	—	Glock
	То же	CuO, Fe_2O_3, Cr_2O_3, Mn_2O_3; CuO+Mn_2O_3; Fe_2O_3+Cr_2O_3	450—500	$\geqslant$ 1	Окиси, гидроокиси и карбонаты щелочных и щелочноземельных металлов	—	Kaiser
11	Метиловый спирт+0,5 O_2→формальдегид	Фарфор, кирпич, кокс	500—600	1	—	—	—
	То же	Pt	200—300	$\leqslant$ 1	Щелочи	—	Hofmann, Trillat
	» »	**Cu**	450—490	1	—	Pb	Tollens, Loew, Орлов
	» »	**Ag**, Au; Ag+(Pt, Rh)	360—400	$\leqslant$ 1	—	—	C. Фокин, Moureu
	» »	V_2O_5	~ 275	1	—	—	Baillay & Craver
12	Метиловый эфир $CH_3 \cdot O \cdot CH_3$ + O_2→формальдегид	Cu, Ag	~ 350	1	—	—	Ernst u. Sponsel
13	Этиловый спирт+0,5 O_2 → ацетальдегид	Ag	300—350	1	—	—	Holzverkohl-Ind. Act. Ges.
14	Вторичные спирты+0,5 O_2 → кетоны	Cu, Ag	~ 500	1	—	—	Moureu; Seth Bliss-Hunt
15	Спирты→альдегиды или кетоны+H_2	**Zn**; латунь; Fe, Co	500—650	1	Окиси тех же или других металлов	—	Ипатьев
	То же	**Cu**; Pt, Pd	200—350	$\leqslant$ 1	Окиси тех же или других металлов	—	Sabatier, Bouveault
	» »	CdO, ZrO_2, SnO, V_2O_3, MoO_2, U_3O_8, MnO	250—400	$\leqslant$ 1	—	—	Sabatier, Mailhe
16	Циклич. спирты (борнеол, гераниол и др.)→циклическ. кетоны (камфора, цитрал и др.)+H_2	**Cu**, Zn; Fe, Co; Pt	150—300	$\leqslant$ 1	Щелочи; окиси металлов	—	Sabatier et Senderens и др.
17	Этиловый спирт+O_2→уксусная кислота	Pt; V_2O_5; Cu—пыль	100—270	1	—	—	Dreyfus, Mailhe и др.

18	Ацетальдегид + $0{,}5O_2$ → уксусная кислота	**V_2O_5**; соли Mn; соли Co + (соли Cr, Cu); окислы Ce, U, Mn, Fe; кизельгур, каолин	40—100	⩾1	—	—	Dreyfus «Fr. Bayer & Co.», «Griessheim-Elektron» и др.
19	Этилен + O_2 → формальдегид	H_3VO_4; H_2MoO_4	450—500	1	—	—	Schmidt, Seydel и др. (по Willstätter'y)
	То же	(H_3BO_3, H_3PO_4) + (SiO_2, глина, шамот, MgO_2H_2, карбонаты)	∽ 375	1	—	—	Mittasch и др.
20	Ацетилен + $2O_2$ → щавелевая к-та	(NO, NO_2) + H_2SO_4 [в растворе — H_2SO_4]	40—60	1	—	—	Wacker u. Gruber
21	(Сахар, крахмал) + HNO_3 → щавелевая к-та	V_2O_5; окислы и соли Mo	20—40	1	—	—	Naumann, Kolsky
22	Толуол + O_2 → бензальдегид	**Fe_2O_3**, Ni_2O_3, Al_2O_3, CuO	250—280	1	—	—	Woog и др.
	То же	ZnO, V_2O_5, Cr_2O_3, Mo_2O_5, UO_3; **ZnO + Cr_2O_3**; $Bi(VO_3)_3$; ванадаты Fe, Cr, Ag	350—500	1	—	—	Weiss, Downs, Mittasch и др.
	То же	H_2MoO_4, H_3VO_4, H_3PO_4, H_3BO_3	480—500	1	—	—	Schmidt, Seydel, Ufer
23	Толуол + $1{,}5O_2$ → бензойная к-та	(Уголь, кокс) + Fe_2O_3; V_2O_5; $Sn(VO_3)_4$	150—300	1	—	—	Dennstedt; Woog
24	Антрацен + $1{,}5O_2$ → антрахинон	V_2O_5; ванадаты Sn и Bi	375—450	1	—	—	Gibbs; Maxted
	То же	H_3PO_4, H_3BO_3, H_3VO_4	400—500	1	—	—	Mittasch и др.
25	Бензол + $4{,}5O_2$ → малеиновый ангидрид	V_2O_5; $Sn(VO_3)_4$	290—450	1	—	—	Weiss & Downs
26	Нафталин + $4{,}5O_2$ → фталевый ангидрид	**V_2O_5**; Al_2O_3; ванадаты Sn и Bi	300—500	1	—	—	Wohl; H. Gibbs
27	Нафталин + конц. H_2SO_4 → фталевый ангидрид	**$HgSO_4$**; $CuSO_4$; $HgSO_4 + CuSO_4$	200—250	>1	—	—	Sapper, BASF
28	Анилиновое масло + окислитель ($C_6H_5 \cdot NO_2$) → фуксин	Fe; $FeCl_2$; $(NH_4)_2HVO_4$	160—190	1	—	—	—
29	Диметиланилин + $KClO_3$ или O_2 → → метилвиолет	$CuCl_2$, $CuSO_4$; **соли $Cu^{++} + C_6H_5 \cdot OH$**	∽ 60	1	—	—	Lauth
30	Соли анилина + окислители → → анилиновый черный	**V_2O_5**; OsO_4; соли V, Cu, Ce, U, Fe, Cr; $K_4Fe(CN)_6$, $K_3Fe(CN)_6$	20—40	1	—	—	Witz
31	Соли анилина + O_2 → анилиновый черный	(*n*-фенилендиамин, *n*-аминофенол) + соли Cu^{++}	20—40	1	—	—	Grün
32	Затвердевание (высыхание) олифы	Сикативы: MnO_2, PbO_2, Pb_3O_4, ZnO, V_2O_5, органич. соли Co, Mn, Pb; скипидар, канифоль	Обыкн.	1	—	—	—

III. Галоидирование, обмен заместителей

1	$SO_2 + Cl_2$ → хлористый сульфурил SO_2Cl_2	**Актив. уголь**; камфора	0—20	1	—	—	Nelsens, Pope и др.
2	$CO + Cl_2$ → фосген $COCl_2$	**Актив. уголь** (древесный, животный, костяной); $SbCl_5$; Pt	100—400	1—5	—	—	Schiel, Paterno
3	Присоединение галоида (Cl_2, Br_2) по двойной или тройной связи	$FeCl_3$, $FeBr_3$; S_2Cl_2	—	—	—	—	—
4	Присоединение HCl (и HBr) по двойной связи	**$AlCl_3$**, $FeCl_3$, $MgCl_2$, $ZnCl_2$	15—100	10—60	—	—	Curmé, Suida
	То же	**$BiCl_3$**, **$BiBr_3$**; $NiCl_2$, $CoCl_2$	100—200	1	—	—	Wibaut и др.
5	Металептич. хлорирование органич. соединений	J_2, S, P, уголь; JCl; $FeCl_3$, $MoCl_5$, UCl_3, PCl_3, PCl_5, $SbCl_5$, $SnCl_2$, $AlCl_3$, $TlCl_3$, $ZnCl_2$, $AuCl_3$	—	—	—	—	—
6	Металептич. бромирование органич. соединений	J_2, S; $FeCl_3$, $FeBr_3$, $AlCl_3$, $AlBr_3$, $ZnCl_2$, $HgCl_2$, $HgBr_2$	—	—	—	—	—
7	Металептич. иодирование органич. соединений	AlJ_3, $FeCl_3$, FeJ_2; P, JCl, HJO	—	—	—	—	—
8	Хлорирование ароматич. соединений в боковых цепях	**PCl_5**, $AsCl_3$, $MnCl_2$	—	—	—	—	Silberrad
9	$CS_2 + 3Cl_2$ → четыреххлористый углерод CCl_4	**$FeCl_3$**, $AlCl_3$, $SbCl_5$; J_2	60—100	> 1	—	—	A. Hofmann
10	Фенолы + NH_3 → первичные ароматич. амины	**Al_2O_3**, ThO_2, TiO_2	400—450	1	—	—	Briner, Howald и др.
11	$CO + NH_3$ → синильная к-та HCN	**ThO_2**, Al_2O_3; окислы Ti, Zr, Ce, V, Mo, U, их карбиды и силициды	430—600	1	—	—	G. Bredig, Elöd и др.

(Продолжение.

№	Реакции	Употребляемые или предложенные катализаторы	Условия процесса		Вещества, активирующие катализатор («активаторы»)	Вещества, отравляющие катализатор («каталитич. яды»)	Автор метода
			$t°$	Давление, atm			
12	$CO_2+2NH_3 \rightarrow$ мочевина $CO(NH_2)_2$	Al_2O_3; NH_4Cl; $CaCl_2$, $Ca(NO_3)_2$, $ZnCl_2$, $AlCl_3$	80—165	> 1	—	—	Krase и др.
13	Замещение диазогруппы на Cl, Br, CN, NO_2, CNS, CHO и т. п.	CuCl, CuBr, CuCN; Cu—пыль	50—100	1	—	—	Sandmeyer, Gattermann и др.
		IV. Гидратация, гидролиз					
1	Этиленов. углеводороды $+H_2O \rightarrow$ спирты	H_2SO_4; $ZnCl_2$; соли Hg и Pb	Обыкн.	1	—	—	—
2	Ацетилен $+ H_2O \rightarrow$ ацетальдегид (в жидкой фазе)	H_2SO_4; сульфокислоты; HgO; $HgBr_2$; $HgSO_4+(H_2SO_4$, H_3PO_4, $CH_3 \cdot COOH)$; H_2MoO_4	30—80	1	—	—	Кучеров, Эльтеков, Wunderlich, Neumann
2а	Ацетилен $+ H_2O \rightarrow$ ацетальдегид (в парообр. фазе)	$Fe(OH)_3$; ZnO, NiO, FeO; Al_2O_3	300—400	1	—	—	—
	То же	$ZnO+(MgO$, CaO, Al_2O_3, $Mn_2O_3)+Cr_2O_3$	180—200	1	—	—	Mittasch и др., BASF
3	Галоидгидрины $+H_2O \rightarrow$ спирты	$CuSO_4$, $CdSO_4$, $ZnSO_4$, $ZnCl_2$; SiO_2	~ 250	$\geqslant 1$	—	—	Müller
4	Гидролиз сложных эфиров (в жидкой фазе)	Щелочи (OH'-ионы); кислоты (H'-ионы); коллоидальн. металлы; энзимы (эстеразы)	30—100	$\geqslant 1$	—	—	—
4а	То же (в парообразной фазе)	TiO_2, ThO_2, RhO_2	280—300	1	—	—	Sabatier et Mailhe
5	Омыление жиров: а) щелочное	$Ca(OH)_2$, $Mg(OH)_2$, ZnO; NH_3; NaOH, KOH	80—150	1—12	—	—	de-Miglie, Krebitz
	б) кислотное	Концентр. H_2SO_4; сульфокислота Твитчела; «контакт» Петрова	90—160	1	—	—	Twitchell, Г. Петров
	в) ферментативное	Липаза—из семян клещевины (Ricinus), чистотела (Chelidonium) и льнянки (Linaria)	20—40	1	$MnSO_4$, $MnCl_2$, $FeSO_4$, $CaSO_4$, $ZnCl_2$, $Al_2(SO_4)_3$, разб. к-ты	—	Connstein, Hoyer, Wartenberg, С. Фокин
6	Осахаривание (гидролиз) крахмала	Разбавл. H_2SO_4 и другие кислоты (H'-ионы)	100—120	$\geqslant 1$	—	—	Кирхгоф
6а	Осахаривание (гидролиз) древесной клетчатки	Конц. HCl; H_2SO_4	20—120	1—10	—	—	Willstätter и др.
		V. Дегидратация, этерификация					
1	Этиловый спирт $\rightarrow$ этилен $+H_2O$	Al_2O_3; алюмосиликаты, каолин, глина	360—520	1	Fe_2O_3	—	Ипатьев
	То же	ThO_2, TiO_2, SnO_2, ZnO, Cr_2O_3, W_2O_5, WO_3, Fe_2O_3; фосфаты и сульфаты Ca и Al	320—420	1	—	—	Sabatier, Mailhe, Senderens
2	Этиловый спирт $\rightarrow$ этилов. эфир $+0{,}5\ H_2O$	Al_2O_3	~ 240	1	—	—	Clark
	То же	$KAl(SO_4)_2$; $Al_2(SO_4)_3$	180—195	1	—	—	Moureu
	» »	H_2SO_4	140—145	1	—	—	—
	» »	$C_6H_5 \cdot SO_3H$, $CH_2(SO_3H)_2$ (метионовая кислота) и другие сульфокислоты	$\geqslant 100$	1	—	—	Krafft, Schrötter
3	Фенолы $\rightarrow$ простые эфиры (аро-	ThO_2	400—500	1	—	—	Sabatier et Mailhe

3а	Фенолы + спирты → простые эфиры (смешанные) $+H_2O$	ThO_2	390—420	1	—	—	Sabatier et Mailhe
4	Кислоты+спирты→сложн. эфиры$+H_2O$ (в жидк. фазе)	Сильные к-ты (H^+-ионы)	50—200	~1	—	—	—
4а	То же (в парообр. фазе)	**TiO_2**; ThO_2 (только для ароматич. к-т); BeO	280—310	1	—	—	Sabatier et Mailhe; Heuser, Klotz
	То же	Силикагель	~ 150	1	—	—	Reid и др.
5	Глицерин→акролеин$+2H_2O$	$KHSO_4$; **$KHSO_4+Na_2SO_4$**; $Al_2(SO_4)_3$	110—195	1	—	—	Moureu; Senderens
	То же	$MgSO_4$	330—340	1	—	—	Wohl

VI. Конденсация, алкилирование

1	Карбоновые к-ты (или их ангидриды)→кетоны	**Fe_2O_3**, Al_2O_3, FeO, MnO, **ThO_2**; окиси, гидроокиси и карбонаты металлов II, IV и VI групп	400—600	1	—	—	Mailhe и др.
2	Уксусная к-та→ацетон	**$CaCO_3$**, $SrCO_3$, **$BaCO_3$**, $MgCO_3$, $CeCO_3$; ZnO, ThO_2; **$Ba(OH)_2$**, $Sr(OH)_2$, $Ca(OH)_2$, $Mg(OH)_2$	320—580	1	—	—	Ипатьев, Squibb
3	Карбоновые к-ты + H·COOH→→альдегиды	**TiO_2**, ThO_2	280—300	1	—	—	Sabatier et Mailhe
4	Спирты+(NH_3, амины)→вторичные и третичные амины	**ThO_2**, ZrO_2, TiO_2, SiO_2; **Al_2O_3**; $ZnCl_2$	180—350	1	—	—	Sabatier et Mailhe; Rosenmund
4а	Фенолы + спирты + NH_3→смешанные амины (втор. и трет.)	**Al_2O_3**, ThO_2, TiO_2	350—450	1	—	—	Sabatier et Mailhe
5	Галоидопроизводн.+(NH_3, амины, фенолы)→(амины первич., втор. и трет.; эфиры фенолов)	**Cu**—пыль; CuJ; J_2	150—200	⩾1	—	—	Ullmann
6	CCl_4 + фенолы+щелочь→фенолокислоты	Cu—пыль	$=t°_{кип.}$ смеси	1	—	—	Ullmann
7	Цитраль+ацетон→псевдоионон	$Ba(OH)_2$	10—30	1	—	—	Tiemann
8	Розанилин + анилин→анилиновый синий	**C_6H_5·COOH**; CH_3·COOH	~ 180	1	—	—	—
9	Ортонитробензальдегид + ацетон→индиго	NaOH; $Ba(OH)_2$; NH_3	10—30	1	—	—	Baeyer
10	Формальдегид + фенолы→бакелиты и другие искусственные смолы	**Основания**; к-ты	100—140	4—7	—	—	Backeland
11	Бензальдегид+диметиланилин→→малахитовый зеленый	$KHSO_4$	60—100	⩾1	—	—	O. Fischer
12	Реакция Фриделя и Крафтса	**$AlCl_3$**, $AlBr_3$, $FeCl_3$, $FeCl_2$, $ZnCl_2$	50—100	1	—	—	Friedel, Crafts
13	Реакция Гриньяра (получение Mg-органич. комплексов)	$(C_2H_5)_2O$; C_6H_5·$N(CH_3)_2$ и другие третичные амины	15—35	1	J_2	—	Grignard и др.
14	Реакция Скраупа (синтез хинолина и его гомологов)	**Fe_2O_3**; $Fe_2(SO_3)_3$; $SnSO_4$	180—220	1	—	—	—

VII. Полимеризация

1	Диолефины (эритрен, изопрен, диметилэритрен)→синтетич. каучуки	**Na**, K, Ca, Sr, Ba; коллоидальные: Pt, Ag, Hg; S; озон; органич. коллоиды	0—80	⩾ 1	O_3; SO_2; CO_2; окислители	—	Matthews, Harries, Остромысленский
2	Альдегиды→альдоли	Основания; KOH, K_2S, K_2CO_3; $ZnCl_2$; к-ты	0—40	1	—	—	Würtz и др.
	То же	Zn; ZnO, Al_2O_3, $Al(OH)_3$, ThO_2, $Sb(OH)_3$, Fe_2O_3	80—100	⩾ 1	—	—	Bosshard и др.

(Продолжение.)

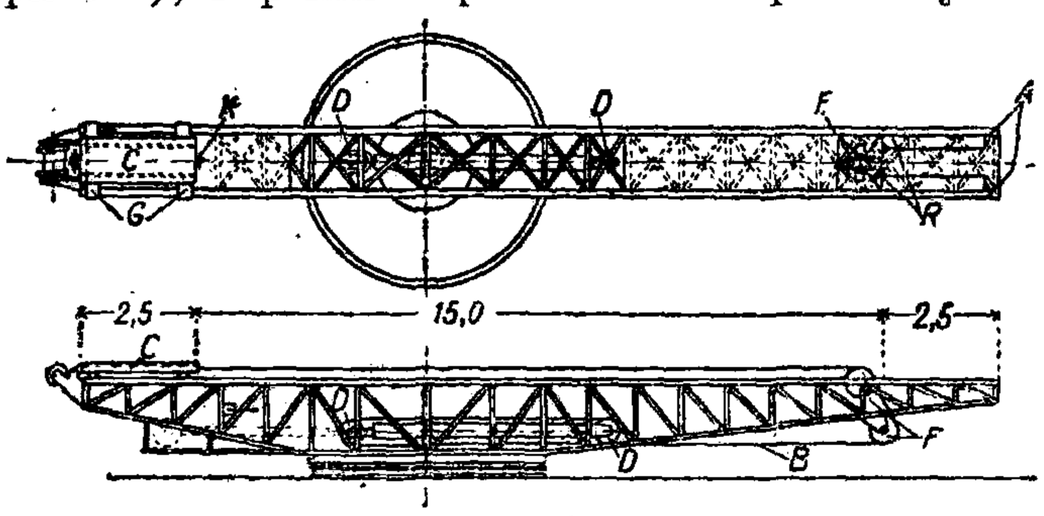
№	Реакции	Употребляемые или предложенные катализаторы	Условия процесса		Вещества, активирующие катализатор (активаторы)	Вещества, отравляющие катализатор (каталитич. яды)	Автор метода
			$t°$	Давление, *atm*			
	VIII. Изомеризация						
1	Гидразосоединения→бензидины	К-ты (H^+-ионы)	Обыкновенная	1	—	—	Зинин, Jacobson
2	Арил-гидроксиламины→аминофенолы (при восстановлении нитросоединений)	К-ты (H^+-ионы)	10—80	1	—	—	Gattermann
3	Псевдоионон→ионон (α-)	Разбавл. H_2SO_4, H_3PO	Слабое нагревание	1	—	—	Tiemann
4	Эвгенол→изоэвгенол (в производстве ванилина)	KOH	130—220	⩾1	—	—	Tiemann, Einhorn
5	Диазоаминосоединения→аминоазосоединения	Соли анилина и других аминов	20—50	1	—	—	Goldschmidt
	IX. Разложение, деполимеризация						
1	Каталитич. крекинг нефти и нефтяных фракций	Fe; $AlCl_3$	250—400	До 12	—	—	Sabatier и др.
2	Отщепление галоидоводорода от органических галоидопроизводных (с образованием кратной связи)	$BaCl_2$, $CdCl_2$, $AlCl_3$, $AlBr_3$, AlJ_3, $PbCl_2$, $FeCl_2$, $CoCl_2$, $NiCl_2$, $CuCl_2$, CuCl	250—400	1	—	—	Sabatier et Mailhe
	X. Синтезы при высоких $t°$						
1	Получение сульфата натрия по Гаргривсу и Робинсону ($2NaCl + SO_2 + O + H_2O \rightarrow Na_2SO_4 + 2HCl$)	Fe_2O_3; CuO	~500	1	—	—	—
2	Получение цианистых солей методом фиксации азота воздуха ($Na_2CO_3 + 4C + N_2 \rightarrow 2NaCN + 3CO$)	Fe, Co, Ni, Mn, Cr, Mo, W, Ti; Fe_2O_3	900—1 400	1	—	—	Berl и др.
3	Фиксация атмосферного азота по Серпеку ($Al_2O_3 + 3C + N_2 \rightarrow 2AlN + 3CO$)	Fe, Cu; H_2	1 500—1 800	>1	—	—	—
4	Получение кальций-цианамида из CaC_2 и N_2	$CaCl_2$, CaF_2	1 000—1 200	1	—	—	Polzenius, Carlson

КАТАЛИТИЧЕСКИЕ УДОБРЕНИЯ, вещества, внесение которых в небольших дозах в почву улучшает развитие с.-х. растений и повышает их урожайность. Действие К. у. с точки зрения современных знаний о питании растений остается необъясненным. К К. у. относят соединения Mn, As, Li и др. Их благоприятное действие на растения наблюдалось в физиологическ. (вегетационных) опытах (но не всегда); в полевых условиях положительное действие этих соединений констатировано еще реже. Для практич. применения К. у. пока нет достаточных оснований.

КАТАПУЛЬТА, приспособление для искусственного уменьшения взлетного разбега самолетов и сообщения им взлетной скорости, при заданном ускорении, за счет добавочной энергии двигателя К. Применяется для сбрасывания колесных самолетов с кораблей, не имеющих взлетных палуб, и для сбрасывания морских самолетов непосредственно с палуб, на ходу корабля, не останавливаясь для спуска их на воду для взлета; К. может быть применена для взлета с малых аэродромов быстроходных легких самолетов, имеющих приспособление для уменьшения посадочной скорости и перегруженных самолетов большого радиуса действия.

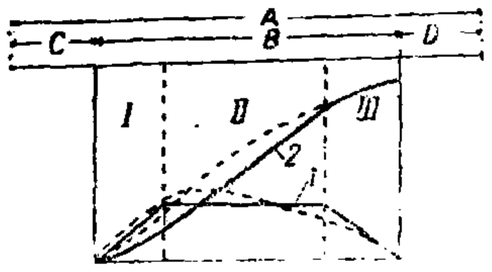
Конструкции К. состоят из следующих главных частей: тележки для установки самолета, дорожки, по которой происходит разбег, и механизма, сообщающего тележке с самолетом требующееся ускорение. Современные К. можно классифицировать след. обр.: а) по роду энергии, применяемой для сообщения самолету взлетной скорости, на: 1) пневматические, 2) пороховые, 3) инерционные; б) по конструкции на: 1) неподвижные, 2) поворотные и 3) поворотноперекатывающиеся.

К. пневматические состоят из фермы, (фиг. 1), верхние прогоны *A* к-рой служат



Фиг. 1.

рельсами для скольжения тележки *C* с самолетом. Конструкция фермы должна выдерживать вертикальные, боковые и инерционные нагрузки, получающиеся при вибрациях корабля и при спусках самолета на ходу. Запас прочности д. б. не меньше 4. Тележка перемещается на роликах *G* или салазках. Самолет удерживается на тележке от сдвига назад специальными крюками *K*. Торможение тележки в конце ее хода происходит при помощи пружинных, пневматических, гидравлич. или электрич. тормозов *R*, зажимающих специальные ножи тележки, врезающиеся между тормозными колодками. Нажим тормозов, как и освобождение стопора тележки, должен происходить одновременно и автоматически при повороте спусковой ручки К. Пневматический механизм К. состоит из рабочего, открытого с одной стороны, цилиндра, поршня и штока с ползунами, скользящими в параллелях, укрепленных к набору фермы. Шток поршня соединен с ним при помощи шарового подшипника, чем обеспечивается правильная работа ползунов в случаях неточной установки параллелей. На конце штока установлены шкивы *D* (2 или 3) подвижной обоймы талей; другая система шкивов *F* укрепляется неподвижно либо к головной части цилиндра либо к иной части набора фермы. Тяговой трос *B* крепится одним концом к ферме, обходит по шкивам талей через блоки в конце фермы и присоединяется к тележке. Ход поршня выбирается от $^1/_4$ до $^1/_6$ хода тележки К. Преобразование прямолинейного движения поршня в прямолинейное движение тележки осуществляется при помощи 4- или 6-шкивных талей, при чем приведение в движение систем неподвижных и подвижных блоков и троса составляет главную часть вредных сопротивлений, достигающих в этих типах К. около 30—40% всей работы механизма. Запас прочности троса и всех движущихся частей катапультного механизма не д. б. меньше 4. Воздух в рабочий цилиндр К. поступает из резервуара сжатого воздуха, располагаемого обычно вблизи рабочего цилиндра между стержнями фермы. Между цилиндром и резервуаром устанавливается клапан, открывающийся сжатым воздухом при повороте спусковой ручки К. и впускающий воздух в рабочий цилиндр. Чтобы избежать большого падения рабочего давления в цилиндре при расширении впущенного туда воздуха, объем резервуара выбирают не меньше 2,5—3 рабочих объемов цилиндра. Давление воздуха в резервуаре обычно бывает до 80—85 *atm*. Движение тележки во время пробега выгодно выбирать равноускоренным, так как при таком характере движения для сообщения тележке заданной скорости на заданной длине пути ускорения, а следовательно, и действующие усилия должны получиться наименьшими. Для избежания толчков в начале и в конце движения, к-рые получаются в случае внезапного возрастания и убывания величин ускорения, небольшие части пути в начале и конце движения тележки оставляют для плавного увеличения и убывания ускорения. Тогда весь путь тележки по характеру ее движения разобьется на три участка, при чем на первом (I) и последнем (III), коротких участках, происходит изменение ускорений по линейному закону, а на среднем (II), длинном участке, происходит возрастание скорости при постоянном ускорении. Теоретические кривые ускорений (*1*) и скоростей (*2*) показаны на фиг. 2, где пунктиром отмечены практические кривые; получить изменения ускорений по прямым практически очень трудно. На фиг. 2 *A* — полная длина, *B*—рабочая длина катапульты, *C*—длина тележки, *D*—длина торможения. Для постепенного увеличения ускорения тележки с момента, когда трогается вся система,

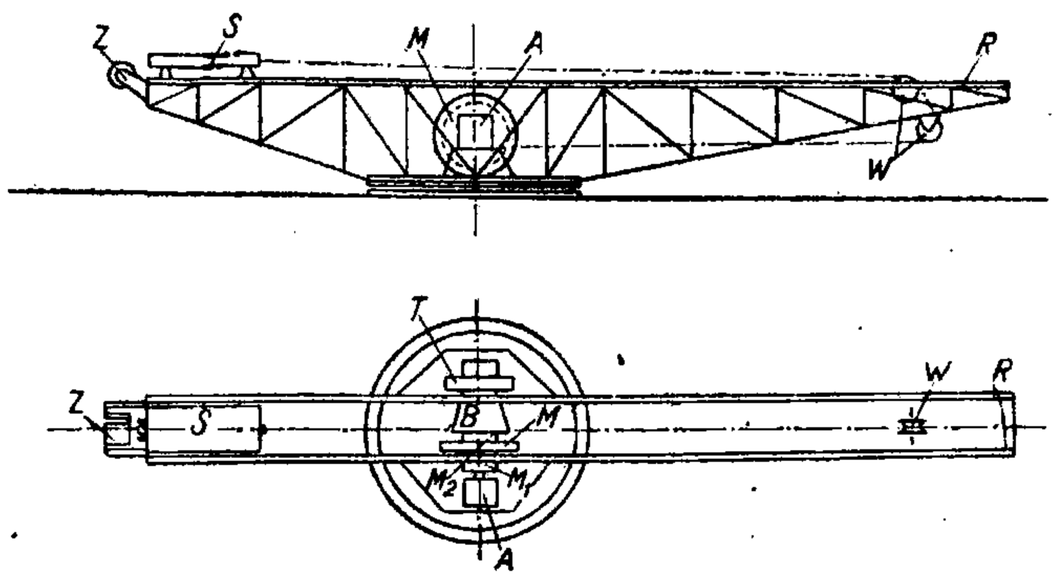


Фиг. 2.

до начала второго участка пути применяется устройство постепенно открывающегося воздушного клапана, которое дает постепенно нарастающее давление в цилиндре, или сам поршень при своем движении лишь постепенно открывает канал, через к-рый сжатый воздух поступает в цилиндр, причем полностью этот канал открывается к моменту начала второго участка пути. Второй способ регулировки поступления воздуха в рабочий цилиндр осуществляется помощью специально профилирован. штыря, устанавливаемого на донышке поршня и входящего в канал на головной части цилиндра, через который поступает воздух из резервуара. Изменение ускорений тележки К. на последней части пути производится выпусканием воздуха из рабочего цилиндра либо через специальный клапан, открывающийся автоматически в нужный момент, либо открытием окон в цилиндре, производимым самим поршнем. Давление в резервуаре устанавливают перед спуском в зависимости от полетного веса самолета, руководствуясь специальными таблицами.

Пороховые К. отличаются от пневматических устройством рабочих цилиндров и отсутствием резервуаров; тормозное и стопорное устройства м. б. также иные. Рабочим веществом являются медленно горящие пороха. Взрыв определенного заряда происходит в специальной камере, откуда газы поступают в газовый приемник и через каналы в рабочий цилиндр, или производится целый ряд малых взрывов, происходящих по мере движения поршня в цилиндре. Количество взрывчатого вещества меняется в зависимости от полетного веса самолета.

Инерционные К. работают энергией быстровращающегося маховика, преобразуя вращательное его движение в поступательное движение тележки при посредстве барабана специальной формы. Схема устройства показана на фиг. 3. Маховик M приводится во вращение мотором A (электрическим, бензиновым, паровым или пневматическим) через посредство разобщающейся муфты M_1, которую выключают после того, как маховик получит требуемую скорость вращения. При разобщении муфты M_1 автоматически включается электромагнитная, дисковая конич. или пневматич. муфта M_2, соединяющая барабан B с маховиком. Нажатие муфты M_2 должно происходить постепенно и автоматически, чтобы сначала обтянуть трос, а затем постепенно и без удара сообщить цилиндрич. барабану B ускоренное вращательное, а тележке поступательное движение, с заданными ускорениями. Если муфта M_2 служит только для присоединения барабана к маховику, то постепенность изменения ускорений тележки достигается соответственной формой барабана переменного диаметра. После того как барабан сделает определенное число оборотов, он автоматически разъединяется муфтой M_2 от маховика, и одновременно начинается его торможение автоматич. тормозом T. Торможение тележки производится в конце разбега, как и у других К. Весь механизм располагается внутри фермы и д. б. легко доступен для осмотра и проверки, а также хорошо защищен от проникновения в отдельные части его пыли, грязи и воды. Для проверки исправности всей установки перед спуском применяется специальный контрольный прибор Z, состоящий из небольшого маховика и барабана. Навернутый на барабан трос проходит через направляющие шкивы W и укрепляется перед пробой катапульты к тележке S. Затем производится спуск пустой тележки. Движущаяся по рельсам R тележка



Фиг. 3.

тянет за собой трос прибора и сообщает его барабану и соединенному с ним муфтой маховичку вращательное движение. При достижении тележкой конца своего хода маховичок автоматически отключается от барабана и продолжает вращаться, в то время как барабан автоматически тормозится. По числу об/м. маховичка, указываемого тахометром, получаем конечную скорость тележки и работу, произведенную К.

Для корабельных установок конструкция К. должна удовлетворять следующим главным требованиям: 1) работать при качке корабля; 2) иметь стопорное приспособление для любого положения К.; 3) иметь добавочные ходовые крепления самолета на тележке; 4) иметь удобное, надежное и быстрое поворотное самотормозящее устройство и устройство для перекатывания (если таковое предусматривается); 5) иметь удобный подвод воздухопровода от судовых магистралей, не мешающий повороту К.; 6) иметь удобные подножки и трапы для работы у К. и самолета; 7) иметь надежную смазку всех подвижных частей механизмов; 8) не иметь в конструкции частей из легко разъедаемых материалов; 9) допускать удобную и быструю разборку механизмов и замену их частей; 10) не требовать сложных манипуляций при обслуживании и уходе.

Сравнение различных типов К. а) Пневматическая К.: 1) требует компрессорной установки; 2) требует времени на подготовку и зарядку баллонов; 3) проста в конструктивном отношении и потому дешева в изготовлении; 4) не имеет быстро изнашиваемых частей, кроме троса, и потому дешева в эксплоатации; 5) имеет малый кпд; 6) не требует особого ухода; 7) допускает легкую регулировку величины взлетной скорости в пределах запаса мощности механизмов, путем изменения рабочего давления в резервуаре. б) Пороховая К.: 1) не требует никаких вспомогательных установок; 2) не требует времени на подготовку спуска; 3) более сложна в части конструкции цилиндра и дороже в изготовлении; 4) быстро изнашиваемые части взрывного устройства и трос удорожают эксплоатацию; 5) имеет малый кпд; 6) не требует особого ухода; 7) регулировка взлетной скорости возможна только с небольшой степенью точности в пределах наличия зарядов. в) Инерционная К.: 1) не требует вспомогательных установок; 2) требует времени на раскручивание маховика; 3) сложна в конструктивном отношении, имеет много частей, требующих точной пригонки и тщательного ухода; 4) быстрое изнашивание главных частей механизма; 5) работа троса более нормальна; 6) повышенный кпд благодаря отсутствию талей; 7) требует хорошего ухода, тщательной проверки и хорошей защиты частей от атмосферных влияний; 8) регулировку скоростей допускает в небольших пределах путем изменения числа оборотов маховика; для больших изменений режима работы требует установки барабанов других размеров.

Если расчет производится для заданного самолета, то из аэродинамического расчета нам известны следующие величины: вес самолета G, площадь несущих поверхностей S, размах самолета L, мощность мотора N, скорость горизонтальная V и скорость посадочная $V_{пос.}$.

Определение длины рабочего хода тележки (разбега). Как показали исследования, чтобы осуществить нормальный безопасный взлет при безветрии, необходимо дать самолету скорость, соответствующую коэффициенту подъемной силы коробки $C_y=0{,}4$. Тогда $V_{взл.}$—скорость, которую должен иметь самолет при взлете, определяется формулой (в *м/ск.*):

$$V_{взл.}=\sqrt{\frac{G}{\varrho SC_y}}. \qquad (1)$$

Задавая соответствующее ускорение j, найдем длину разбега (в *м*):

$$l=\frac{V^2_{взл.}}{2j}. \qquad (2)$$

Обратно, если задана предельная длина разбега в зависимости от местных условий или специальных требований, то по ф-ле (2) определяем j и проверяем допустимость его величины для здоровья человека. Если величина j получится недопустимой, то для данного самолета разбег заданной величины не осуществим и приходится либо удлинить разбег либо применять в данных условиях другой самолет с меньшей взлетной скоростью.

Расчет двигателя К. с талями. Установив длину хода тележки l и выбрав передаточное число талей i, найдем ход поршня цилиндра $l_1=l:i$. Передаточное число талей рекомендуется выбирать возможно малым, т. к., увеличивая ход поршня, мы имеем возможность легче осуществить плавность изменения давлений на поршень, а следовательно, и плавность нарастания ускорений тележки. Зная вес самолета G и задаваясь ориентировочно весом тележки, получим массу M, которой необходимо сообщить ускорение j. Обозначив потребную силу через K, получаем:

$$K=jM=ag\frac{G}{g}=aG, \qquad (3)$$

где сила на тросе у тележки во столько раз больше веса G, во сколько выбранное ускорение больше ускорения силы тяжести g. По полученной K подберем трос и назначим размеры всех подвижных частей механизма К., как то: шкивов, блоков, штока, поршня, ползунов, троса. Находим живые силы движущихся частей в момент спуска, определяя скорость их в частях известной нам конечной скорости тележки $V_{взл.}$. Для троса скорость по длине его меняется от $V_{взл.}$ до 0, и можно считать, что $^2/_3$ его общей длины имеют скорость $V_{взл.}$. Скорость подвижных шкивов, штока поршня и поршня $V_{ш.}=\frac{V_{взл.}}{i}$. Окружная скорость переднего шкива и двух первых шкивов талей будет $V_{взл.}$; скорость вторых и третьих шкивов—$^2/_3V_{взл.}$ и $^1/_3V_{взл.}$. Установив эти величины, находим живые силы $^1/_2mv^2$ для каждой движущейся части, а затем суммируем их и получаем полную живую силу всей движущейся системы $\sum\frac{1}{2}mV^2$ *кгм.* Задавшись кпд всей системы η, получим потребную работу механизма:

$$A=\frac{\sum\frac{1}{2}mV^2}{\eta}. \qquad (4)$$

Величина η изменяется от 0,6 до 0,75.

Сила, действующая на поршень. Полагаем, что давление в рабочем цилиндре в первый период возрастает от 0 до максимума на длине хода поршня $\Delta_1 l_1$, затем поддерживается постоянным и снова на пути $\Delta_2 l_1$ падает до нуля. Давление воздуха считаем постоянным на протяжении части хода поршня, равной:

$$l_1-\frac{\Delta_1 l_1}{2}-\frac{\Delta_2 l_1}{2};$$

тогда сила P (в *кг*), действующая на поршень, определяется из ф-лы:

$$A=Pl_1\left(1-\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2}\right), \qquad (5)$$

откуда

$$P=\frac{A}{l_1\left(1-\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2}\right)}.$$

Давление на поршень p (в *кг/см²*) находим, задаваясь диаметром его и определив его площадь F (в *см²*), по ф-ле:

$$p=\frac{P}{F}. \qquad (6)$$

Усилия для торможения тележки. Задавшись длиной пути торможения l_2, зная скорость V_0 тележки в момент начала торможения, ее вес G_1 и задавшись равномерно замедленным движением ее на этом пути, получим из ур-ий движения величины ускорения j (в *м/ск²*) и продолжительности торможения t (в *ск*):

$$j=\frac{V_0^2}{2l_2}=xg \quad \text{и} \quad t=\frac{2l_2}{V_0}.$$

Тормоза должны развить силу P_1 (в *кг*):

$$P_1=\frac{G_1}{g}j=\frac{G_1}{g}xg=xG_1.$$

Выбор ускорений и влияние величин их на человека. Опыты в Америке, произведенные летчиком Дулитль (Doolittle) в марте 1924 г., показали, что ускорения в полете, при производстве различных фигур, доходят до 7,2—7,4 g. В Германии придерживаются мнения, что лишь ускорение в 4—5 g становится опасным и что ускорение в 2,5 g в течение 1—4 ск. м. б. допущено без всяких вредных последствий для любого рядового летчика. С другой стороны, ускорения до 2,5 g дают обстановку взлета, ничуть не отличающуюся от нормальной в смысле визуальных ощущений, почему взлет при таком ускорении не требует специальной тренировки летчиков и усвоется ими с первого раза. На этом основании не следует выбирать ускорений выше 2,5—4 g, считая, что приближение к верхнему пределу уже невыгодно в эксплоатации, хотя и допустимо как безопасное.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ К IX ТОМУ Т. Э.

Абеля уравнение 238.
Авантрен 838.
Автокатализ 928.
Автохтонное происхождение 314.
Адиабатический калориметр 500.
Азотистокислый калий 495.
Азотнокислый кадмий 454.
Азотнокислый калий 495.
Азотнокислый кальций 526.
Акведуки 292.
Акселераторы 933.
Активаторы 928, 933.
Активация молекулы 919.
Алгебраическая функция 390.
Ализарининдиго 73.
Алкалицеллюлоза 345.
Аллохтонная гипотеза 314.
Альгин 738.
Аннера 593.
Антикатализаторы 932.
Антрацит 314.
Арады 591.
Арка разгрузная 602.
Арки врезные 602.
Арки лучковые 602.
Арки подвешенные 602.
Арки ступенчатые 602.
Ароматизация нефти 948.
Артезианские скважины 735.
Атомионы 275.
Ацетатный шелк 356.
Ацетилцеллюлоза 344.

Баканы кошенильные 841.
Бассорин 556.
Бензопиррол 103.
Бернулли функции 394.
Бесконечно большая величина 391.
Бесконечно малая величина 390—391.
Бетонные трубы 664.
Биговка 858.
Бикарбонат калия 497.
Бисульфат калия 495.
Бисульфит калия 495.
Бисульфит кальция 531.
Битуминозные угли 317.
Битуминозный каменный уголь 606.
Бихромат кальция 535.
Блаидол 738.
Бобина 348.
Богхеды 313.
Бомба Ипатьева 937.
Бриллиант-индиго 64.
Бромистый кадмий 454.
Бурые угли 313.
Бушеро система 150.
Быки 569, 583.
Быстрорежущая сталь 222.
Быстроток 293.

Ватер 547, 548.
Водный сбор 306.
Вододелители 293.
Водородистый калий 494.
Водородистый кальций 529.
Водослив 290.
Водхозы 306.
Водяной эквивалент 498.
Волластонит 528.
Волока 713.
Воломиты 773.
Вольтерра уравнение 238, 239.
Восприимчивость магнитная 172.
Воссоединение 271.
Временное сопротивление 375.
Вспучиваемость (кам. угля) 622.

Газование 625.
Галалит 460.
Галоидирование 951.
Гарпиус 716.
Гексетон 653.
Гелиева трубка 103.
Гелиогравюра 898.
Генератор асинхронный 144.
Герарда стены 593.
Гергеса способ 149.
Гидрат окиси кадмия 454.
Гидрат окиси кальция 529.
Гидратация 948.
Гидрид калия 494.
Гидрид кальция 529.
Гидринден 55.
Гидрирование 937.
Гидрогенизация 937.
Гидроокись кальция 527.
Гидросульфид калия 496.
Гидросульфид кальция 532.
Гидросульфит кальция 529.
Гипосульфит кальция 532.
Гипохлорит калия 497.
Гипохлорит кальция 529.
Глазерит 481.
Голландская перевязка 591.
Горчичный газ 277.
Градуировка калориметра 499.
Грейфер 27.
Грина формула 237.
Грина функция 241.
Гринокит 447.
Группа Лоренца 45.
Группа преобразований 44.
Гуммаза 555.
Гумми-число 554.
Гуммоз 555.
Гуммозис 555.
Гумусовые образования 313.
Гюбля способ 266.

Двузначная функция 390.
Двукальциевый фосфат 533.
Двууглекислый калий 497.
Дегидратация 949.
Дегидрирование 946.
Дегидрогенизация 946.
Дегидрогенизация спиртов 948.
Дегидроиндиго 64.
Декалин 939.
Деформация упругая 371.
Джипсин 201.
Диатомит 257.
Дибензопиррол 757.
Дикона процесс 934.
Динамометры пружинные 369.
Диоксиндол 58.
Дифенилимид 757.
Диффузия ионов 271.
Диффузор 794.
Допуски 470.
Древесный порошок 533.

Емкость кабеля 417.

Жавелевая вода 497.
Жиклер 797.

Загонка 838.
Замковая притеска 589.
Зеркальные камеры 634.
Зубатка 644.

Изатин 58, 74.
Изатинанилид 63, 74.
Изатинимид 63.
Изатинхлорид 58.
Известковая вода 529.
Изгиб—испытание 376.
Излом усталости 381.
Измерительные инструменты 224.
Износ—испытание 384.
Изоказеин 456.
Изоляция 582.
Изотермический калориметр 501.
Илоуловители 37.
Имидо-группа 38.
Имидокислоты 38.
Инвертаза 51.
Инвертин 51.
Ингибиторы 929.
Индантреновые красители 55.
Индантрон 53.
Индиговая соль 60.
Индигоиды 72.
Индигорубин 57.
Индиготин 56.
Индикан 57.
Индикаторная диаграмма 92.
Индирубин 57, 73.
Индоксил 58, 74.
Индоксилкарбоновая кислота 61.
Индоксиловая кислота 61.
Индол 58.
Индолигноны 72.
Индофор 61.
Индуктивное сопротивление 105.
Инжектор водоструйный 179.
Инжектор газоструйный 181.
Инкрустация 641.
Инкрусты 182.
Инструментальные зажимы 225.
Инструментальный цех 215.
Интегратор Амслера 245.
Интеграторы 242.
Интеграф Абакановича 246.
Интеграфы 242.
Интегро-дифференциальные уравнения 239.
Интерферограф 252.
Интерферометр газовый 252.
Интерфлексная схема 253.
Инулазы 253.
Инулиды 253.
Иоданилины 265.
Иодбензол 265.
Иодвазоген 266.
Иодиваль 266.
Иодипин 266.
Иодисто-иодное железо 263.
Иодистое железо 265.
Иодистый аммоний 265.
Иодистый водород 262.
Иодистый калий 262.
Иодистый натрий 264.
Иодистый цинк 264.
Иодная ртуть 264.

Иодноватая кислота 265.
Иодноватокалиевая соль 265.
Иодобензол 266.
Иодозобензол 265.
Иодол 266.
Иодониевые соединения 265.
Иодосоединения 266.
Иодотирин 266.
Иодоформаль 269.
Иодоформин 269.
Иодоформоген 269.
Иодфенол 265.
Иодозин 265.
Ионизация ударная 270.
Ионная сила 276.
Иридиевая кислота 281.
Иридиевосинеродистоводородная кислота 281.
Иридиевохлористоводородные кислоты 281.
Иридистая платина 282.
Ирландский мох 737.
Ирон 275.
Иррациональная функция 390.
Искровой промежуток 333.
Искровой разрядник 333.
Испарители 364.
Испытание инструментов 221.
Истечение (в карбюраторах) 794.
Итовая пластина 396.

Кабель высоковольтный 400.
Кабель полый 412.
Кабель связи 426.
Кадмиевая желть, 455.
Кадмиевая зелень 455.
Кадмирование 449.
Казеинаты 457.
Казеиновые краски 463.
Казеиновые лаки 463.
Казеиновый клей 461.
Каинит 475, 481.
Каландрирование 352.
Калиборит 481.
Калибры браковочные 466.
Калибры валов 468.
Калибры отверстий 468.
Калибры проходные 466.
Калибры рабочие 466.
Калиевое растворим. стекло 497.
Калийная селитра 495.
Калориметры 498.
Кальциевая селитра 529.
Камедетечение 555.
Камеи 641.
Кампешник 646.
Камфорная кислота 653.
Камфорное масло 647, 652.
Каналы морские 674.
Каналы обходные 676.
Каналы соединительные 676.
Канатные машины 712.
Канаты пеньковые 679.
Канитель 713.
Капацитанц 105.
Капиллярная постоянная 729.
Капиллярное давление 728.
Капиллярный анализ 730.
Карагенин 737.
Карагин 737.
Каракуль искусственный 742.
Каракульча 739.
Карбид кремния 785.
Карбонизационные печи 783.
Карда 823.
Кардиацол 653.
Кардная лента 823.
Кардочесальные аппараты 551.
Карминовая кислота 840.
Карминовые лаки 841.
Карналлит 475, 478, 481.
Карнизы 594.
Карраген 737.
Карта международная 897.
Картон волнистый 861.
Картон клееный 871.
Картоноделательные машины 868.
Картоносгибательные машины 859.
Карты генеральные 895.
Карты морские 895.
Карты политические 895.
Карты топографические 895.
Карты физические 895.
Карчи 907.
Карши 907.
Каскадное соединение 155.
Катализаторы 916.
Каталог рек 445.
Каустобиолиты 606.
Каширование 856.
Кильсон 907.
Кинетич. теория испарения 362.
Киор 644.
Кирка 644.
Кисловка 351.
Кислый сернистокисл. калий 495.
Кислый сернистокислый кальций 531.
Кислый сернокислый калий 495.
Кислый углекислый калий 497.
Кишмиш 35.
Киянка 644.
Кладка 588.
Кладка в елку 604.
Кладка кирпичная 590.
Кладка кольцевая 604.
Кладка купольная 604.
Кладка нормальная 603.
Кладка рядами 603.
Кладка свода 580.
Кладка смешанная 593.
Кладка тесовая 589.
Кладовая инструмента 218.
Клапп-камеры 633.
Когерентные лучи 248.
Кокс 607, 625.
Коллодийная вата 344.
Колодцы ламповые 667.
Колодцы смотровые 665.
Компаратор интерференцион. 252.
Компенсатор 161, 251.
Конденсация 950.
Кондуктор (инструмент) 225.
Коради планиметры 245.
Корамин 653.
Кордель 428.
Коринка 35.
Корсет карбюратора 794.
Кошениль 840.
Краевой угол 727.
Крауповский кабель 429.
Крахмал флоридовый 737.
Крекинг нефти 938, 946.
Кремнекислый калий 497.
Кремнекислый кальций 530.
Крестовая перевязка 591.
Кривая разгонки 366.
Кристаллогравирование 641.
Кружала 601.
Крутка пряди 709.
Кручение—испытание 376.
Куб (в крашении) 66.
Куб бродильный 67.
Куб гидросульфитный 69.
Куб купоросный 69.
Куб рулетный 70.
Кумараниндиго 73.
Кус 713.
Кутера-камеди 556.

Лангбейнит 481.
Лейкоиндиго 65.
Леонит 481.
Лестницы висячие 605.
Лестницы каменные 605.
Ливнеспуски 291.
Лигниты 313.
Лигноны 72.
Локсодромия 848.
Лоренца группа 45.

Магистральные каналы 288.
Магнитная проницаемость 171.
Малка 645.
Манометры металлические 369.
Манометры ртутные 370.
Марганцовокислый кальций 530.
Мартенса машины 368.
Масло кардамонное 817.
Машина—орудие 221.
Маятниковый рычаг 368.
Медноаммиачный шелк 354.
Мерительный инструмент 223, 465.
Метабисульфит калия 496.
Метасиликат кальция 530.
Метастабильность 919.
Мины графитные 747.
Модификаторы 951.
Модуль упругости 271.
Модуль Юнга 371.
Мозаичные работы 641.
Молекулярное давление 726.
Молизация ионов 271.
Моно-бром-камфора 653.
Морение 752.
Мотовила 349.
Муфельное серебро 714.
Муфельные печи 32.
Мышьяковокислый кальций 530.

Надсернокислый калий 496.
Наездники 891.
Наковка камня 646.
Наносоудержатели 37.
Напряжения истинные 373.
Натрий-инден 55.
Наугольник 645.
Нашатырный иридий 281.
Невьянскит 282.
Непрерывная функция 392.
Неслеров реактив 264.
Нигрозины 173.
Никотин 199.
Нитрат калия 495.
Нитрит калия 495.
Нитрошелк 352.
Норгин 738.
Ньютона ряд 393.

Обжигательные печи 30.
Обтяжной станок 859.
Однокальциевый фосфат 534.
Окислы калия 494.
Окись кадмия 453.
Окись калия 494.
Окись кальция 530.
Окклюзия 935.
Окси-камфора 653.
Оксиндол 58, 74.
Окситионафтен 74.
Опалубка 601.
Опоры 582.
Опыливание 202.
Оросительные каналы 287, 294.
Орошение искусственное 296.
Отавит 447.

Папка 855.
Папочные машины 867.
Паппперы 857, 874.
Парадихлорбензол 200.
Параказеин 457.
Парижская зелень 201.
Паронит 396.
Пароструйные аппараты 179.
Первообразная функция 225.
Перекись калия 494.
Перекись кальция 529.
Переменная величина 389.
Переменная зависимая 389.
Переменная независимая 389.
Перемычка 594.
Перепады 292.
Перманганат кальция 530.
Персульфат калия 496.
Песколовки 289.
Пескоудержатели 37.
Печи карбонизационные 783.
Печи муфельные 32.
Печи обжигательные 30.
Печи трехфазные 762.
Пила тросовая 637.
Пирогенез 946.
Пиролиз 625.
Пироны 589.
Пиросульфит калия 496.
План 895.
Планиметр Притца 248.
Планиметры 242.
Планка 589.
Пломбирит 530.
Плюмбат кальция 529.
Плющение 715.
Поверхностная активность 727.
Поверхностное натяжение 726—27.
Подинтегральная функция 226.
Подинтегральное выражение 226.
Подоконники 594.
Подпорные стены 593.
Подчесок 838.
Полив 297.
Поливание глазурью 30.
Полигалит 481.
Полимеризация 950.
Полиноль 915.
Полировка камня 639, 646.
Полисульфиды калия 496.

Полисульфиды кальция 532.
Полубитуминозные угли 317.
Полукокс 625, 628, 631.
Полукоксование 625, 627, 629.
Посадочная машина 744.
Постоянная величина 389.
Постоянная интеграции 226.
Потенциал ионизационный 271.
Правило 645.
Преддиссоциация 919.
Предел пропорциональности 371.
Предел текучести 372.
Предел упругости 371.
Предел усталости 379, 381.
Предельная орбита 270.
Преобразователь одноякорный 157.
Преобразователь частоты 158.
Приемники дождевые 667.
Притиральный станок 714.
Притолока 594.
Проекция азимутальная 843.
Проекция Аитова 852.
Проекция внешняя 847.
Проекция гомолографич. 851.
Проекция зенитальная 847.
Проекция изоцилиндрическая 848.
Проекция коническая 849.
Проекция конформная 843.
Проекция Меркатора 848.
Проекция ортографическая 843.
Проекция перспективная 843.
Проекция поликоническая 850.
Проекция произвольная 843.
Проекция синусоидальная 851.
Проекция стереографическая 844.
Проекция центральная 844.
Проекция цилиндрическая 847.
Проекция эквивалентная 843.
Проволочноканатн. передачи 692.
Промотеры 928, 933.
Просинтол 941.
Прочность на пробой 423.
Прюсса стены 593.
Прядево 713, 715.
Прядильные машины 547.
Прямило 78.
Псевдоионон 275.
Пуассона интеграл 236.
Пупинизированный кабель 429.
Пурпур древних 64.

Радиостанции судовые 339.
Разрывная функция 392.
Разрядник искровой 333.
Раковины кухонные 673.
Ранкинизирование 99.
Распределительные каналы 294.
Растительные слизи 557.
Расшивка швов 592.
Рациональная функция 390.
Рациональные числа 283.
Ревизии 673.
Регулятор потенциальный 166, 170.
Регуляторы в ирригации 293.
Редукция изостатическая 18.
Режим моря 446.
Режим реки 446.
Режущий инструмент 223.
Резальные машины дисковые 857.
Рейтеры 891.
Рекомбинация 271.
Реторта «Fusion» 628.
Рефрактометрия 251.
Риннеит 481.
Рицин 914.
Рицинолевая кислота 914.
Ровничная машина 838.

Сайодин 266.
Самоиндукции коэффициенты 121.
Самоиндукция кабеля 417.
Сандал синий 646.
Сандальное дерево 646.
Сапромикеит 317.
Сапропелевые породы 313.
Светопрочность 203.
Свивка кабельная 696.
Свинцовокислый кальций 529.
Свободное испарение 362.
Секрет (машина) 838.
Селениндиго 73.
Селитра бенгальская 618, 844.
Селитра норвежская 529.
Сельфакторы 547.
Серная печень 496.
Сернистокислый калий 495.
Сернистокислый кальций 529.
Сернистый газ 199.
Сернистый кадмий 454.
Сернистый калий 496.
Сернистый кальций 529.
Сернокислый кадмий 454.
Сернокислый калий 495.
Сернокислый кальций 529.
Сжатие—испытание 374.
Сикерлот 448.
Силикат калия 497.
Силикат кальция 528.
Сильвин 481, 482.
Сильвинит 475, 476.
Сингенит 481.
Синтин 941.
Синтол 941.
Скарпель 644.
Скобы 589.
Скольжение 133.
Скос потока 110.
Скрутка 403.
Скрытая теплота испарения 360—361.
Смачиваемость 727.
Смолы искусственные 951.
Смоляное число 554.
Созоиодоловая кислота 265.
Сопротивление профильное 111.
Сопряжение ступеней 605.
Спекаемость (каменного угля) 622.
Спектры тепловые 256.
Срезывание—испытание 377.
Стабилизаторы 951.
Стальные канаты 695.
Стирлинга формула 395.
Стокса формула 238.
Столовые машины 866.
Сульфат калия 495.
Сульфгидрат калия 496.
Сульфгидрат кальция 532.
Сульфид калия 496.
Сульфид кальция 531.
Сульфит калия 495.
Сульфит кальция 531.
Сульфихтон 397.
Суматра-камфора 653.
Сысерскит 282.
Сюперпассажи 292.

Твердая соль 477, 574.
Твердость—испытание 377.
Твердость по Викерсу 378.
Твердость по Герберту 378.
Твердость по Мартенсу 378.
Твердость по Роквелу 378.
Телефонный кабель 430.
Тепловые лучи 254.
Теплота пара 361.
Теплотворная способность (каменного угля) 621.
Термогальванометр 103.
Термолиз 625.
Тесовики 644.
Тетраброминдиго 64.
Тетралин 939.
Тетрахлориндиго 64.
Тетрокись калия 494.
Технологические пробы 385.
Тигельная сталь 209.
Тиоиндиго алый 73.
Тиоиндиго красный 73.
Тиоиндоксил 75.
Тиреоидин 266.
Титровый товар 714.
Томит 317.
Тормоз электрический 145.
Трансцендентная функция 390.
Трехххлористый иод 265.
Трикальциевый фосфат 531.
Тросовая свивка 695.
Тягально-спускальные машины 708.

Углекислый кадмий 454.
Углекислый кальций 530.
Удар—испытание 382.
Ударная вязкость 383.
Ударники пружинные 379.
Уксуснокислый кальций 533.
Уксусный порошок 533.
Ультракрасные лучи 254.
Усталость—испытание 379.
Устои 569.

Факториальные функции 393.
Федометр 204.
Фенантрен 947.
Фенилгликоколь 60.
Фенилглицин 60.
Фильера 346.
Флорицин 915.
Флотационная сила 730.
Флуорен 947.
Фольдинг-камеры 633.
Фосфаты кальция 533.
Фосфористый кальций 533.
Фосфорнокисл. соли кальция 533.
Фотоальграфия 899.
Фредгольма уравнение 239.
Фтористый калий 497.
Фтористый кальций 534.
Фундаментальные числа 240.
Функции фундаментальные 240.
Функция 389.

Хвощевание 755.
Хлорамин Т 280.
Хлористый кадмий 454.
Хлористый калий 496.
Хлористый кальций 534.
Хлорноватистокалиевая соль 497.
Хлорноватистокислый кальций 527.
Хлорпикрин 199.
Хромовая инструментальная сталь 212.
Хромовокислый кальций 535.
Хромо-вольфрамовая инструментальная сталь 213.
Хромокадмиевая желть 455.
Хромофорная теория 101.

Целлюлоза 344.
Целоксилин 344.
Центрифуги 349.
Цепная перевязка 591.
Церазин 556.
Цианистый газ 199.
Цианистый кадмий 454.
Цианистый кальций 536.
Циба алый 73.
Цикл 379.
Циклогексанол 939.
Циклогексанон 939.
Циклоцитрилиденацетон 274.

Шевелирование 352.
Шелыга 601.
Шенит 481.
Шенфера способ 149.
Шлифовальная машина 29.
Шлифовка камня 639, 646.
Шнеллот 448.
Шпат известковый 525.
Шпат исландский 525.
Шпат плавиковый 534.
Шпат удвояющий 527.
Штрабы 591.

Щавелевокислый кадмий 454.

Эвапорометры 364.
Эйлера ф-ла суммирования 394.
Эйлера числа 394.
Эйлеровы подстановки 228.
Экстенсометры 371.
Экстрагирование 624.
Электросталь 209.
Эллиптические интегралы 229.
Эльинвар 41.
Энергия активации 919.
Эстолиды 915.
Эструмит 528.
Эшка смесь 620.

Яды каталитические 929, 932.