ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

БАХ А. Н., БУХАРИН Н. И., ВИЛЬЯМС В. Р., ГЕНДЛЕР Е. С., ГУБКИН И. М., ДОЛГОВ А. Н., ИОФФЕ А.Ф., КЕРЖЕНЦЕВ П. М., КРЖИЖАНОВСКИЙ Г. М., КРИЦМАН Л. Н., КУЙБЫШЕВ В. В., ЛАПИРОВ-СКОБЛО М. Я., ЛЕНГНИК Ф. В., ЛИНДЕ В. В., МАРТЕНС Л. К., МЕЩЕРЯКОВ Н. Л., ФЕДОРОВСКИЙ Н. М., ШАТЕЛЕН М. А., ШМИДТ О. Ю., ШПРИНК Б. Э.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Л. К. МАРТЕНС

ТОМ ДВАДЦАТЬ ЧЕТВЕРТЫЙ

ТРУБОЛИТЕЙНОЕ ДЕЛО—ФИЛЬТРЫ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ СЛОВАРНО-ЭНЦИКЛОПЕДИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО «СОВЕТСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ»

МОСКВА ✧ ОГИЗ РСФСР ✧ 1934

ГОСУДАРСТВЕННОЕ СЛОВАРНО-ЭНЦИКЛОПЕДИЧЕСКОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО «СОВЕТСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ»

XXIV том сдан в производство 15 августа 1933 г.;
подписан к печати 20 мая 1934 г.

Набор текста и верстка, печать, брошировочно-переплетные работы выполнялись в 16-й типографии треста «Полиграфкнига» под общим наблюдением директора 16-й типографии Смирнова П. Г. и помощников директора Моргунова Н. В. и Колобашкина И. Г. Набор и верстка произведены под руководством Самойлова И. К. Верстали Горшков М. С. и Егоров П. А. Печатью руководили Егоров С. А. и Майоров С. Г. Брошировочно-переплетные работы выполнялись под общим наблюдением Баранова В. В., Курчева Н. Н., Овсянникова М. П., Костюшина П. И. и Комарова И. М. Тиснением руководил Александров А. А. Клише для тиснения на переплете гравировано Законовым Г. А. Клише выполнялись типографией ОГИЗ «Печатный двор», 1-й Образцовой типографией ОГИЗ и типографией «Красный Пролетарий» Партиздата. Бумага бумажной фабрики Вишхимза. Дерматин фабрики Инкоптруд. Картон Миропольской фабрики и Балахнинского комбината.

В XXIV томе ТЭ помещено 998 иллюстраций в тексте, одна вкладка к статье «Тухшерера кольцо».

Адрес Редакции Технической Энциклопедии: Москва, Остоженка, 1.
Адрес Издательства: Москва, Волхонка, 14.

16-я типография треста «Полиграфкнига», Москва, Трехпрудный пер., 9.
Уполномоченный Главлита А 90785. Гиз 15. Э-00 г. Заказ № 962.
Бумага 72×108/16. 29 печ. листов×99 500 знаков. Тираж 31 500 экз.

Пролетарии всех стран, соединяйтесь!

Заканчивая редакционную обработку первого издания «Технической Энциклопедии» и сдав в производство весь материал, редакция Т. Э. посвящает свой многолетний труд вождю мирового пролетариата и неустанному организатору индустриализации и коллективизации СССР **тов. И. В. СТАЛИНУ**, чей лозунг об овладении техникой воодушевлял работников Т. Э. в их стремлении вооружить технические кадры промышленности СССР новейшими данными мировой техники.

Редакция Т. Э. заверяет партию и тов. Сталина, что приложит все усилия к использованию приобретенного в процессе создания Т. Э. опыта для дальнейшего углубления работы по созданию новых технических энциклопедий и в первую очередь «Рабоче-колхозной технической энциклопедии» в целях технического вооружения всей массы рабочих и колхозников СССР.

Редакция Технической Энциклопедии

РЕДАКЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭНЦИКЛОПЕДИИ

РЕДАКЦИОННОЕ БЮРО

Главный Редактор—проф. **Л. К. Мартенс.**

Зам. Глав. Редактора—инж. **Б. Э. Шпринк.** | Зав. ГСЭИ—**Б. П. Рогачев.**
Пом. Глав. Редактора—**А. А. Дашкевич.** | Ученый Секретарь—**Н. П. Ракицкий.**

НАУЧНЫЕ РЕДАКТОРЫ

Арманд Н. Е.; Ельцина Н. М.; инж. **Знаменский А. А.; Мельников И. И.:** инж. **Мушенко И. Н.; Никаноров В. М.;** инж. **Павлушков Л. С.; Ракицкий Н. П.; Татаринов Б. Н.;** инж. **Фрязиновский И. А.;** инж. **Шпринк Б. Э.**

Зав. библиографией: инж. **Таубман С. И.;** Технические Редакторы: **Ксандрова Е. Т.; Морозов И. И.; Никаноров В. М.; Сергеева Т. Н.**

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ СЕКТОР

Зам. Зав. ГСЭИ по производственной части, руководитель Произв. Сектора: **Татиев Д. П.;** Зам. руководителя Произв. Сектора: **Маркус В. А.;** Технический Редактор по иллюстрациям: **Тавастшерна В. Я.;** Зав. Технической Редакцией при типографии: **Кулешов Н. З.;** Технический Редактор при типографии: инж. **Сакмаров Н. Г.;** Зав. Корректорской: **Бокшицкая Л. И.;** Старший корректор: **Полякова В. М.**

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	микромикроны (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	децнграммы (0,1 *г*).
сг	сантиграммы (0,01 *г*).
мг	миллиграммы (0,001 *г*).
μг	микрограммы (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. сантим.
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).
$\ngtr$	не больше ($\nless$ не меньше).
$\approx$	приблизительно равно.
$\geqslant$	больше или равно.
$\leqslant$	меньше или равно.
$\gg$	значительно больше.
$\ll$	значительно меньше.
$\angle$	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	гиперболич. косинус.
th	» тангенс.
∅	диаметр.
e	основание натуральных логарифмов.
lg	логарифм десятичный.
ln	» натуральный.
lim	предел.
Const	постоянная величина.
$\sum$	сумма.
$\int$	интеграл.
~	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	калория малая.
HP	лошадиная сила.
lm	люмен.
lx	люкс.
m	мюрг.
Hz	герц.

б) Величины.

$t°$	температура обыкновенная.
$T°$	» абсолютная.
$t°_{кип.}$	» кипения.
$t°_{пл.}$	» плавления.
$t°_{заст.}$	температура застывания.
$t°_{отв.}$	» отвердевания.
$t°_{крит.}$	» критическая.
atm	атмосфера техническая.
Atm	» барометрическая.
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.
$A_{c_1}, A_{c_2}, A_{c_3}$ / $A_{r_1}, A_{r_2}, A_{r_3}$	критические точки железных сплавов.
g	ускорение силы тяжести.
l	длина.
m	масса.
$D^{t_1}_{t_2}$	уд. вес при $t_1°$ по отношению к воде при $t_2°$.
$[a]; [a]_D$	угол вращения плоскости поляризации.
C_H; $[H^+]$	концентрация водородных ионов.
pH; P_H	водородный показатель.
$^1/_1N$	нормальный раствор.
$n^{t°}_D$	коэф. преломления.

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 температурных шкал:
°К—Кельвина.
°С, °Ц.—Цельсия (100°-ной).
°Р.—Реомюра.
°Ф.—Фаренгейта.
t°—темп-ра 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.
гг.—годы, города.
д.—деревня, долгота.
д. б.—должно быть.
ж. д., ж.-д.—железная дорога, железнодорожный.
з.-европ.—западноевропейский.
з-д—завод.
изд.—издание.
ин-т—институт.
Jg.—Jahrgang.
кпд—коэфициент полезного действия.
к-рый—который.
к-та—кислота.
Lfg—Lieferung.
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.
n—пара (хим.).
р.—pagina, paginae (лат.—страница, страницы).
пром-сть—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.
Т.—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

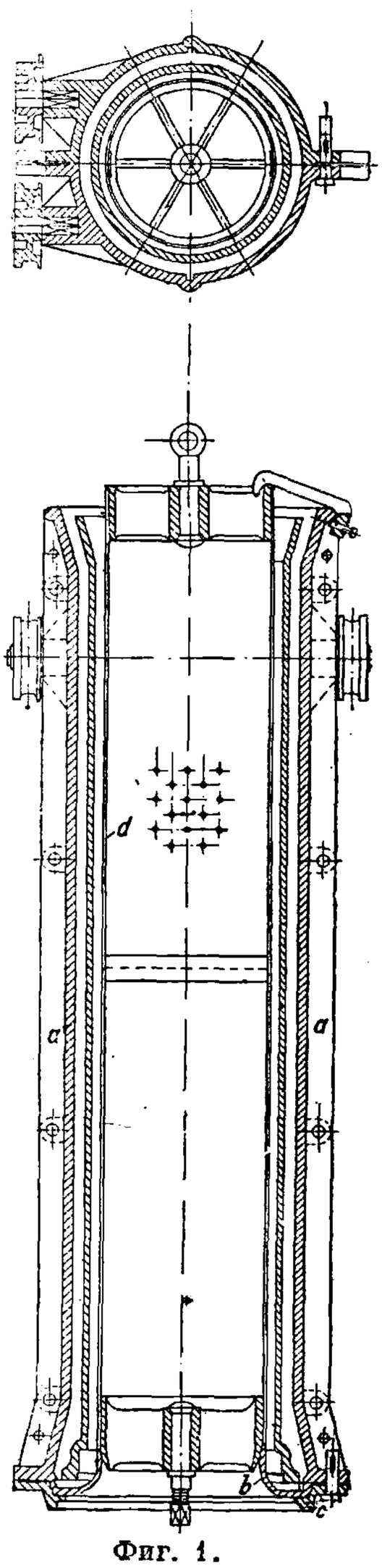
«АзНХ»—Азербайджанское нефтяное хозяйство, Баку.
«ВВФ»—Вестник воздушного флота, Москва.
«ВИ»—Вестник инженеров, Москва.
«ВС»—Вестник стандартизации, Москва.
«ВТ»—Вопросы труда, Москва.
«ГЖ»—Горный журнал, Москва.
«ГТ»—Гигиена труда, Москва.
«Ж»—Журнал Русского физико-химического общества, Ленинград.
«ЖРМО»—Журнал Русского металлургического об-ва, Ленинград.
«ЖХП»—Журнал химической промышленности, Москва.
«ИТИ»—Известия Теплотехнического института им. Ф. Дзержинского, Москва.
«МС»—Минеральное сырье, 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 пром-сть, Москва.
«СТ»—Санитарная техника, Москва.
«СХ»—Социалистическое хозяйство, Москва.
«ТиТбП»—Телеграфия и телефония без проводов, Н.-Новгород.
«Труды ГЭЭИ»—Труды Гос. экспериментального электротехнического института, Москва.
«Труды НАМИ»—Труды Научного автомоторного ин-та, Москва.
«Труды НИУ»—Труды Научного института по удобрениям, Москва.
«Труды ЦАГИ»—Труды Центрального аэрогидродинамич. ин-та, Москва.
«УФН»—Успехи физических наук, 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.-Ztg»—Chemiker-Zeitung, Cöthen.
«Ch.-Ztrbl.»—Chemisches Zentralblatt, Berlin.
DIN—Deutsche Industrie-Normen.
«EChZ»—Elektrochemische Zeitschrift, Berlin.
«EMA»—Zeitschrift für Elektrotechnik und Maschinenbau, Berlin.
«EuM»—Elektrotechnik und Maschinenbau, Wien.
«ETZ»—Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin.
«GC»—Génie Civil, Paris.
«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.
«Mitt. Forsch.»—Mitteilungen über Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens, Berlin.
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.

Т

ТРУБОЛИТЕЙНОЕ ДЕЛО. Способы производства чугунных труб можно разделить схематически на следующие три основные группы: 1) ямный способ, при к-ром литье труб производится в отдельных формах, устанавливаемых в ямах мастерской, причем в большинстве случаев формовочные работы производятся вручную; 2) карусельный способ, соединяемый обыкновенно с машинной формовкой, в Европе преимущественно на машинах Ардельта, хотя конечно мыслимы и другие машины и даже ручная формовка, и 3) центробежный способ. При первом и втором способах трубы отливаются вертикально, раструбом вниз. Отливка труб раструбом вверх допускается только для диаметров не свыше 3″, так как такая отливка не гарантирует получение раструба, свободного от раковин.

На фиг. 1 представлена собранная опока 30-дюймовой водопроводной трубы. Опока *a*, подвешенная к балкам в литейной яме, разъемная, состоит из двух половин. Кольцо (фасонная часть стержня, образующая внутренний раструб) ставится на фонарь *b*, к-рый в свою очередь вставляется в поддон *c*.

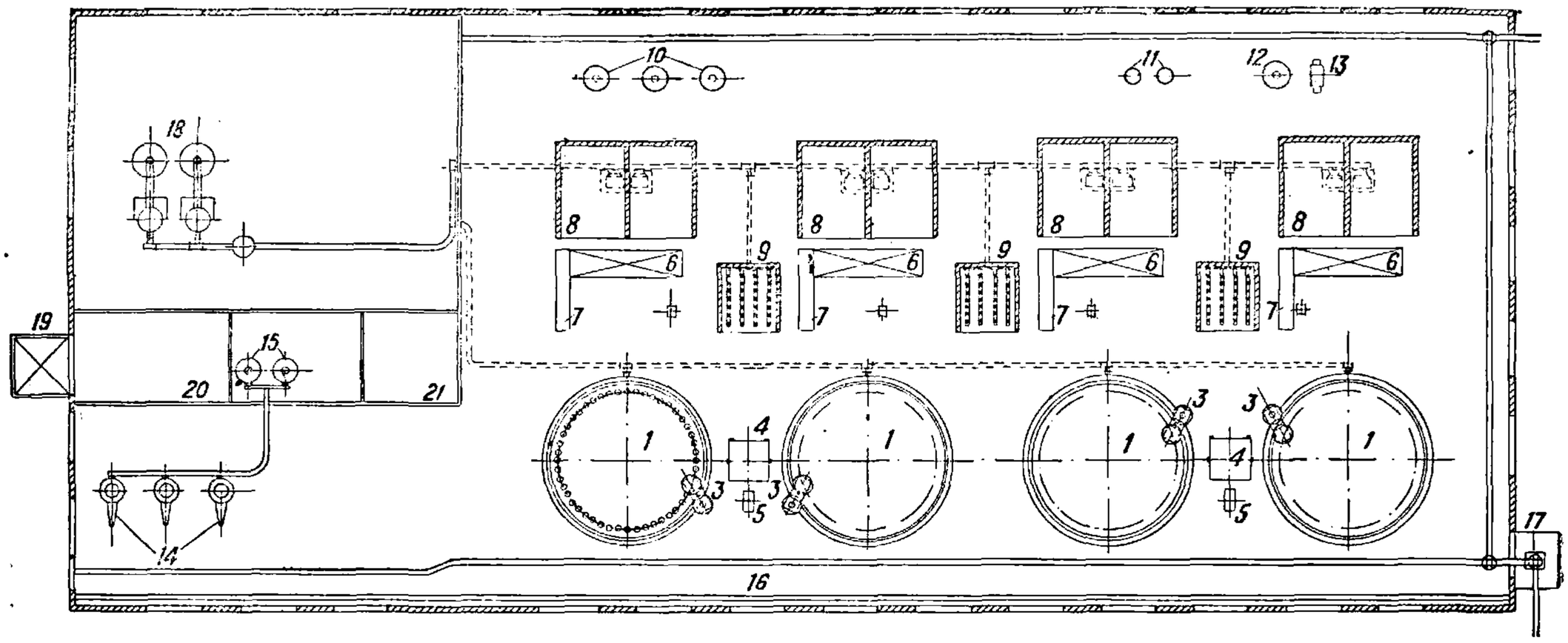
Для мелких труб, а на нек-рых з-дах и для крупных, поддон и фонарь исполняются как одна деталь. Модель металлическая для труб до 10″ делается равной длине трубы; там, где позволяют краны, модель предпочитают делать цельной и для труб крупного диаметра, а, где краны слабые, модель крупных труб (30″ и выше) делается равной $^1/_3$—$^1/_2$ длины трубы. Модель устанавливают при помощи крана выступами на коническую поверхность фонаря. После окончания набивки и выемки модели устанавливают посредством крана стержень, опирающийся на коническую поверхность фонаря. Стержень *d* представляет собою склепанный из котельного железа цилиндр, продырявленный, как это показано на фиг. 1, по всей своей окружности. На поверхность цилиндра наматывают жгуты, к-рые обмазывают глиной и обтачивают деревянным шаблоном. После обточки производится сушка, а затем окраска стержня. При установке в опоку стержень «расклинивают» вверху, чтобы падающей струей чугуна он не был сбит в сторону. При отливке труб большого диаметра необходимо делать дождевой литник, чтобы расплавленный металл поступал сразу несколькими ручьями и быстрее обтекал форму. Чугун для заливки подается вручную, на вагонетках или, лучше, краном. Спустя 5—20 мин. (в зависимости от диам. трубы) после заливки формы приступают к выниманию стержней. Очистку литья от пригоревшей земли, обрубку наплывов, заусенцев и пр. на большинстве труболитейных заводов производят вручную. Отрезку прибылей и обточку буртов производят на специальных станках. Отливка фланцевых напорных труб производится точно так же, как раструбных,—в вертикальных опоках. Для фановых фланцевых труб практикуется горизонтальная отливка. За последнее время в Америке для отливки напорных муфтовых труб получил нек-рое распространение способ Мак-Вена в горизонтальном положении. Главные недостатки старых заводов, производящих трубы по ямному способу: разбросанность литейных ям, неподвижные опоки и связанная с этим необходимость перемещать формовочный материал и расплавленный чугун от одной опоки к другой, что вызывает излишние расходы и потерю времени, не дает возможности вполне использовать площадь завода, мешает транспорту изделий и т. д. Карусельный способ производства труб построен на принципе применения подвижных опок. Подвижные опоки дают возможность сосредоточить в одном месте и приготовление и хранение формовочных материалов и отливку, упрощают транспорт—все это дает громадный выигрыш во времени и в работе.



Фиг. 1.

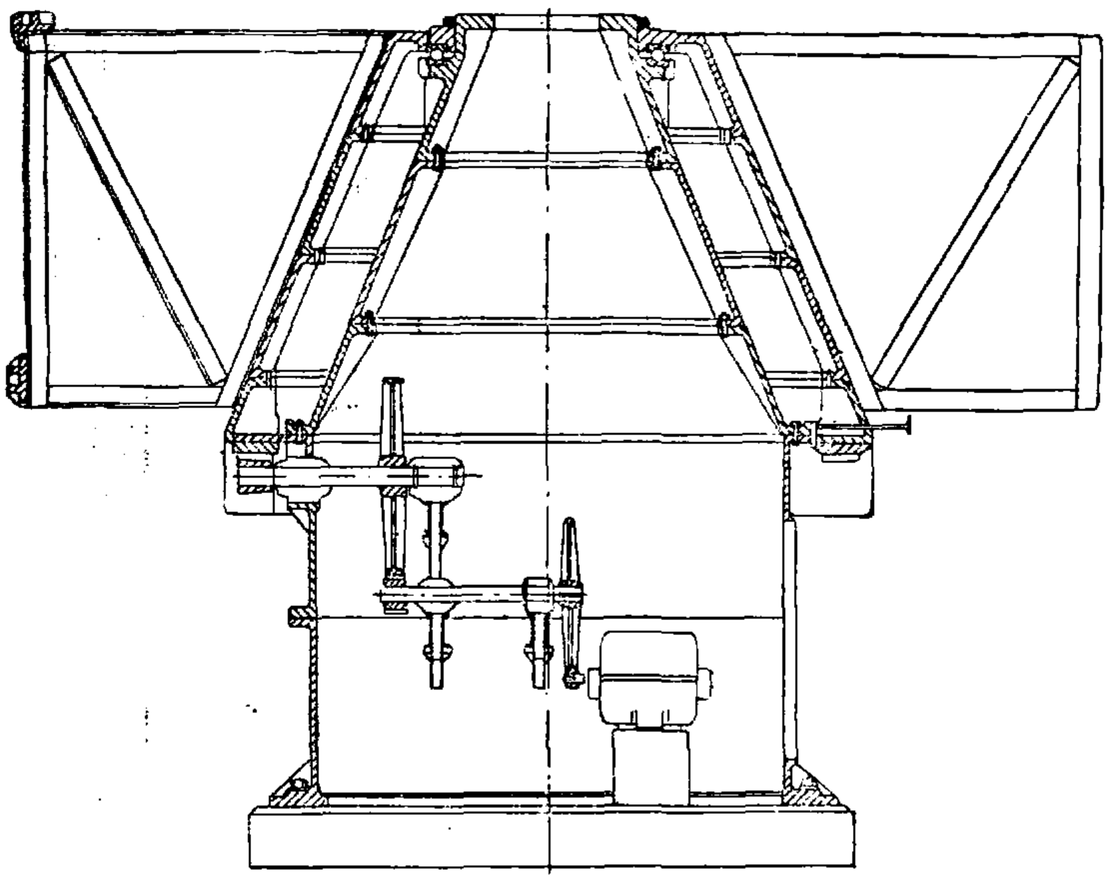
На фиг. 2 приведена схема расположения построек труболитейного з-да с карусельными

машинами. *1*—карусель, *2*—опока, *3*—набивная машина, *4*—машина для приготовления формовочной земли, *5*—элеватор, *6*—тележка для стержней, *7*—станок для обточки стержней, *8*—сушилка для стержней, *9*—сушилка для колец, *10*—глиномеска, *11*—машина для



Фиг. 2.

приготовления краски, *12*—коксомололка, *13*—земледробилка, *14* — вагранка, *15* — вентилятор, *16*—путь велосипедного крана, *17*—трубоопускатель, *18*—газогенератор, *19*—подъемник, *20* — склад кирпича, *21* — контора, *22* — поворотный кран. Карусель, или вращающаяся

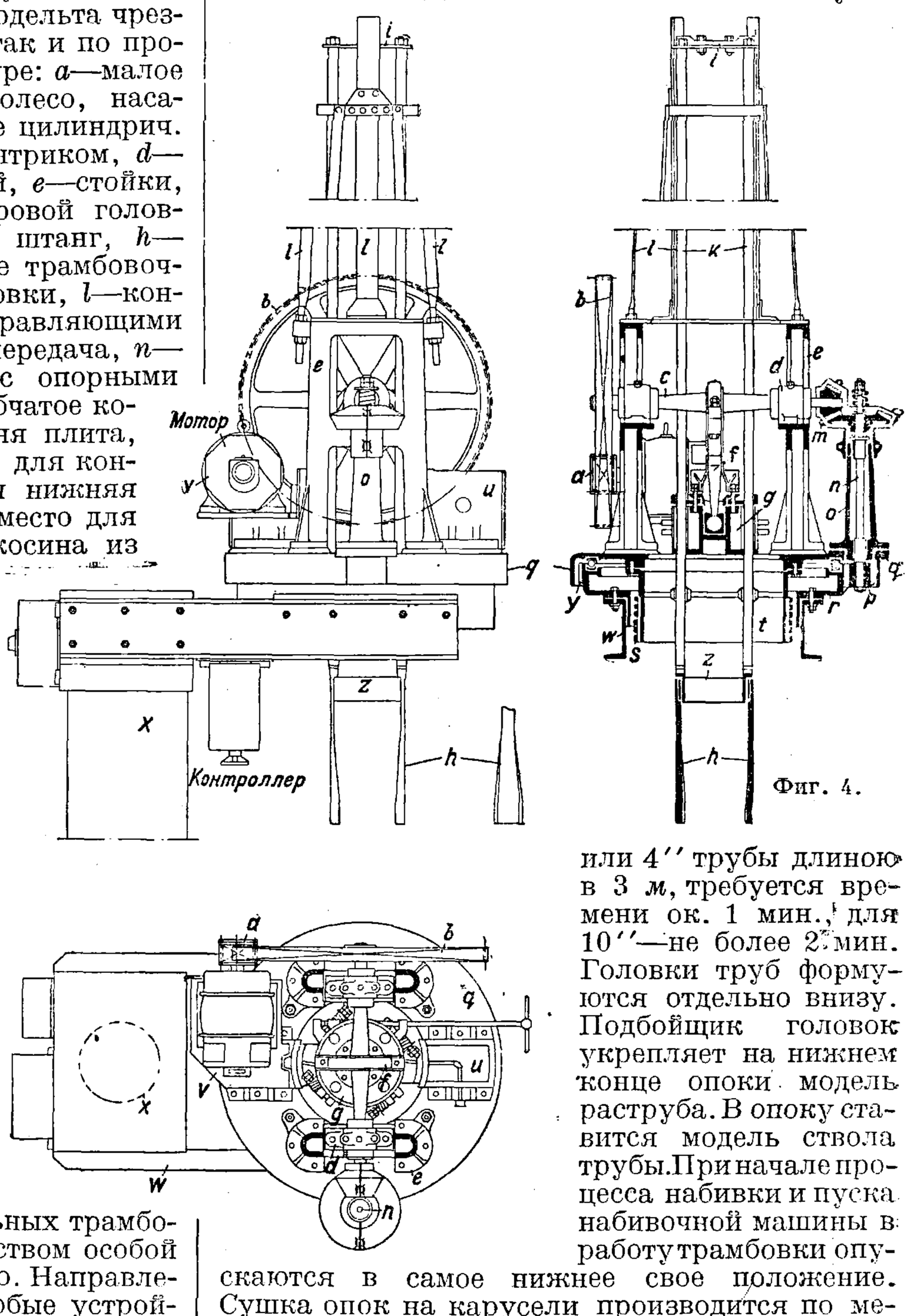


Фиг. 3.

платформа с опоками, имеет следующее устройство: на солидном фундаменте (фиг. 3) установлен чугунный цилиндр ⌀ ок. 3 *м* и высотою ок. 2 *м*. К этому цилиндру прикреплен наглухо внутренний конус, имеющий особые выступы, в выемку к-рых вкладывается стальное кольцо с выточкой; по выточке катаются чугунные шары (числом 54, ⌀ 2″). Эта часть карусели неподвижна. На выступы нижнего конуса надевается второй подвижной конус, к которому прикреплен склепанный из балок кожух. Кожух этот расположен на уровне пола мастерской и несет башмаки соответственно числу опок на карусели; на этих башмаках закрепляют опоки. При вращении верхний конус опирается на чугунные шары, помещенные в выточке кольца нижнего конуса. Внизу оба конуса соприкасаются по обработанной поверхности. Благодаря такой конструкции устранена возможность боковых качаний конуса, несущего опоки. Эти качания при диаметре окружности, проходящей через центр опок, равном 7,5 *м*, могли бы быть очень значительны. Движение верхнего конуса, несущего опоки, осуществлено сл. обр. Внутри цилиндра помещен мотор в 6 HP, соединенный системой зубчатых передач с конич. зубчатым колесом, привернутым к нижней части подвижного конуса. Управление мотором находится наверху на рабочей площадке: рабочий включает мотор, и карусель передвигается на нужную величину. Каждая карусель снабжена поворотным краном и лебедкой для постановки и вынимания модели при набивке опок. Количество опок на карусели различное в зависимости от диам. отливаемых труб. Так, на 1-й карусели, где отливают 3″ и 4″ трубы, число опок 48, на 2-й для 5″ и 6″ число опок 44, на 3-й для 7″ и 8″ число опок 36 и для 4-й карусели для труб 9″, 10″ и 14″ (опоки сменные) число опок 26. На каждой карусели можно формовать трубы двух смежных ⌀ 3″ и 4″, 5″ и 6″, 7″ и 8″; при других диаметрах опоки меняют. Каждая карусель имеет набивочную машину. На каждые две карусели устанавливается одна машина для приготовления формовочной земли. При открывании опок и выем-

ке отлитых труб формовочная земля, увлажненная, подается в элеваторную яму вручную или механич. способом. Эта земля при равномерном добавлении до 20% свежей земли забрасывается в ковш элеватора и подается последним наверх в многоугольное сито для разрыхления и просеивания. Готовая формовочная земля поступает в бункер, откуда по мере надобности расходуется для той или другой набивочной машины. Указанным процессом подготовки формовочного песка заведуют всего два рабочих на каждые две карусели.

Набивочные машины системы Ардельта чрезвычайно интересны как по идее, так и по производительности (фиг. 4). На фигуре: *a*—малое ведущее цилиндрич. зубчатое колесо, насаженное на вал мотора, *b*—ведомое цилиндрич. зубчатое колесо, *c*—вал с эксцентриком, *d*—подшипники с кольцевой смазкой, *e*—стойки, *f*—эксцентриковая штанга с шаровой головкой, *g*—муфта с зажимами для штанг, *h*—трамбовки, *i*—верхнее соединение трамбовочных штанг, *k*—штанги для трамбовки, *l*—конструкция каркасного типа с направляющими для штанг, *m*—конич. зубчатая передача, *n*—вертикальный вал, *o*—колонка с опорными подшипниками, *p*—цилиндрич. зубчатое колесо, *q*—верхняя плита, *r*—нижняя плита, *s*—контактные кольца, *t*—барабан для контактных колец, *u*—направляющая нижняя (противовес), *v*—направляющая (место для установки электромотора), *w*—укосина из швеллерного железа, *x*—колонна, *y*—шариковая опора, *z*—кольцо для укрепления трамбовок. Вращательное движение машина получает от электромотора. Посредством цилиндрич. зубчатой передачи приводится во вращение вал *c*, опорами для к-рого служат две стойки *e* с подшипниками. На вал *c* насажен эксцентрик со штангой *f*, посредством к-рого штанги трамбовки получают возвратно-поступательное движение. На конце вала *c* имеется кроме того конич. зубчатая передача для сообщения вращательного движения вертикальному валу *n*. На конце последнего, ниже плиты *q*, насажено цилиндрич. зубчатое колесо, находящееся в зацеплении с зубчатым колесом, составляющим одно целое с нижней плитой. Кольцо *z* подвешено на штангах *k* и служит для укрепления на нем отдельных трамбовок *h*. Указанные штанги посредством особой крестовины соединены между собою. Направлением для штанг служат внизу особые устройства в виде коробок *u* и *v*, из к-рых первая (*u*) используется как противовес, а вторая (*v*)—для установки электромотора. В крестовине, соединенной со штангой эксцентрика, имеются зажимы для трамбовочных штанг. Эти зажимы сконструированы т. о., что штанги м. б. смещены в зажимах только при усилии, обусловленном сопротивлением уплотненной трамбовками формовочной земли. При наступлении этого момента трамбовочные штанги продвигаются несколько в зажимах, причем последние снова автоматически захватывают штанги при движении их в обратном направлении. Вверху трамбовочные штанги имеют также направляющие в виде стоек, связанных между собой и укрепленных растяжками к стойкам *e*. Вращение всей машины относительно оси, а вместе с тем и трамбовок обусловливает достижение необходимой равномерности набивки формы, так как при каждом ударе утрамбовывается одинаковое количество земли. Для подвода тока к мотору служат контактные кольца *s*. Опорой машины служат два швеллера, укрепленные на колонке *x*. Набивочная машина делает от 150 до 200 ударов в мин., расходуя до 2,5 HP. Производительность машины очень значительна. Для того чтобы набить опоку 3″ или 4″ трубы длиною в 3 *м*, требуется времени ок. 1 мин., для 10″—не более 2½ мин. Головки труб формуются отдельно внизу. Подбойщик головок укрепляет на нижнем конце опоки модель раструба. В опоку ставится модель ствола трубы. При начале процесса набивки и пуска набивочной машины в работу трамбовки опускаются в самое нижнее свое положение. Сушка опок на каруселях производится по мере изготовления их. Просушка формовочной массы на каруселях производится горючим газом, поэтому труболитейные необходимо снабжать газогенераторными установками. В том случае, если труболитейное производство связано с доменным, для сушки целесообразно использовать доменный газ. Для подвода газа в нижнем этаже под каруселью устанавливается полукольцевой трубопровод с отростками к каждой опоке, соединенный с газопроводом. Сжигание газа производится в особых горелках, причем для крупных трубных опок следует ставить горелки, дающие кольцеобразное пламя, для уменьшения мертвого центрального потока. Эти отростки имеют ∅ 2″ для сушки

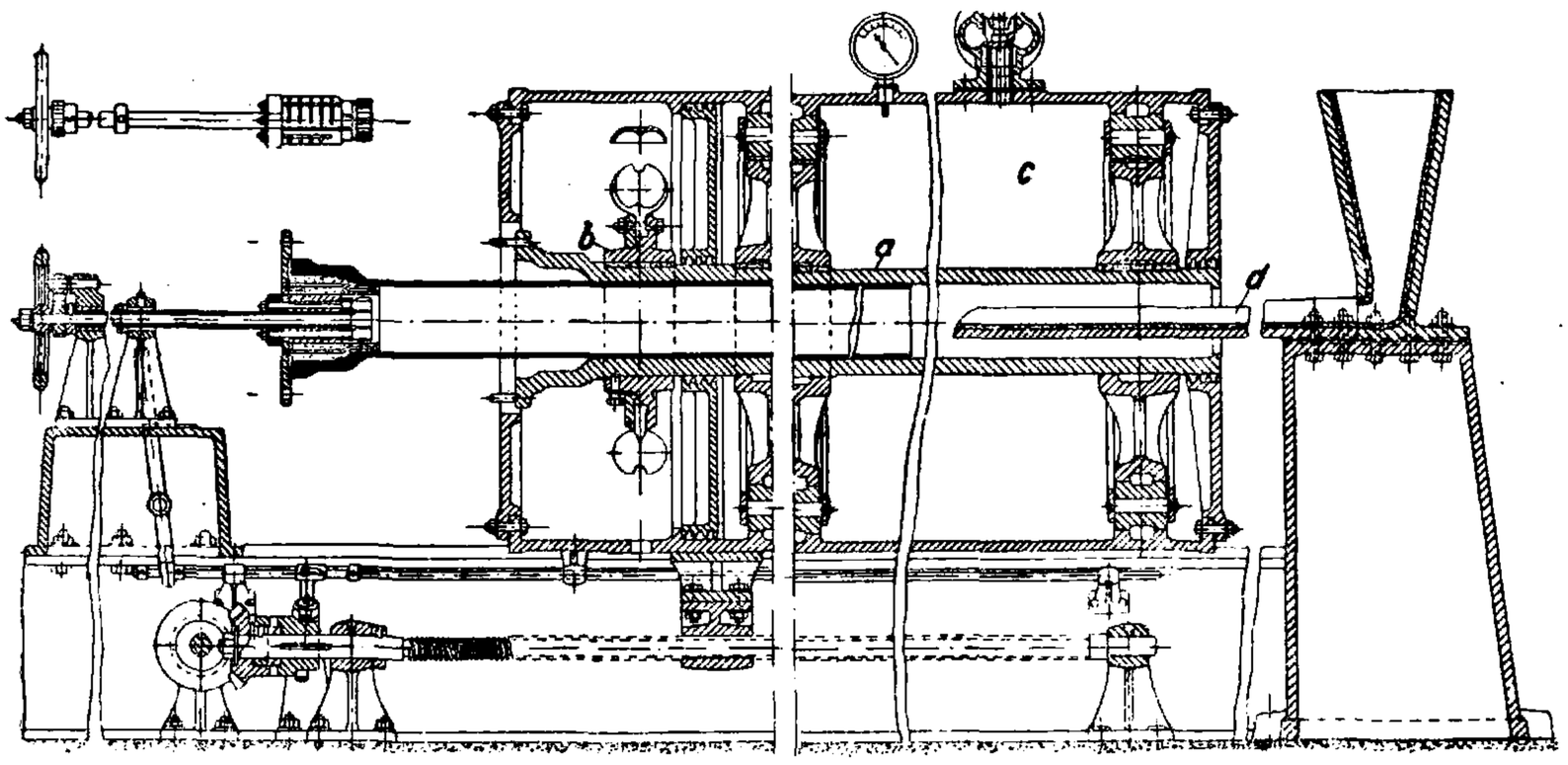


Фиг. 4.

опок 3″ и 4″; ⌀ 3″—для 5″ и 6″ и т. д. Сушка опоки на всей карусели продолжается 1,5—2 ч. Каждая карусель имеет станок для обточки стержней и сушилку для них. Кольца для раструбов готовятся внизу на отдельных столах и сушатся в особых сушилках (на две карусели одна сушилка). Сушку опок и стержней и нагревание труб перед асфальтировкой производят генераторным газом. Для заливки форм чугун от вагранок подается краном в ковше, емкость к-рого зависит от числа труб. Ковш устанавливается на определенном месте, и к нему подходят опоки для заливки чугуном. Трубы остаются в опоках от 0,75 до 1,5 ч.; стержни вынимают из трубы спустя 3—5 мин. после отливки. Вынутые из опок трубы нагружаются на вагонетки и передаются в отделение для очистки по наклонному подъемнику. Подъемная клеть опускается под действием силы тяжести нагруженной трубами вагонетки и поднимается обратно с разгруженной вагонеткой при действии противовеса. Для регулирования движения применяется тормоз. В мастерской для очистки трубы прежде всего поступают на машины для очистки от литейного мусора и пригоревшей земли. Действие этой машины состоит в следующем: труба кладется на вращающиеся ролики, к-рые и увлекают ее в своем движении. Число оборотов трубы 15—20 в мин. Над трубой находятся два вала, каждый из которых несет 6 стальных молотков. Валы эти имеют поступательное движение по оси трубы взад и вперед и качательное, при к-ром молотки ударяют по трубе. Под ударами молотков труба находится ок. 1 мин. Число ударов от 50 до 200. Работа, требовавшая раньше 15—20 минут, теперь сокращена до 1 минуты плюс время, потребное для выгребания из трубы мусора и пыли. После очистки и снятия заусенцев трубы передаются на специальные обрезные станки. На станках з-да Ардельт труба устанавливается неподвижно, а вращается вокруг трубы супорт с закрепленными в нем резцами. Резцы из быстрорежущей стали соответствуют форме бурта той трубы, которая подвергается обрезке. Трубообрезы просты по конструкции, отличаются высокой производительностью и не требуют опытных рабочих. После обрезки трубы подвергаются гидравлич. испытанию на прессах обычного типа, причем давление доводят до 50 *atm*. После контрольного взвешивания трубы поступают в асфальтировочный зал. Партии труб, подлежащие асфальтировке, загружают в печь, где нагревают до 120—150°, после чего погружают в ванну с подогретым асфальтом, где они остаются в течение 10—15 мин. Трубы опускают в ванну в несколько наклонном положении; это делают для того, чтобы лучше удалить воздух из труб и не делать лишних подъемов, оставляя их в том же положении, в к-ром они находились при вынутии из печи. Чтобы избавиться при асфальтировке до некоторой степени от получающихся наплывов асфальта, стелюга устанавливается наклонно, в силу чего излишний асфальт частью стекает в особые желоба. Асфальтированные трубы поступают на склад, где их укладывают в штабели. Ц е н т р о б е ж н ы й способ. За последнее время большое распространение, главным образом в Сев. Америке, получил центробежный способ отливки труб, к-рый в области производства водопроводных труб оказался наиболее удачным, так как в этом случае отпадают расходы по приобретению, приготовлению и транспорту формовочной земли и глины, опок, а также соломы для стержней. Помимо значительного увеличения продукции центробежная отливка труб дает значительную экономию в металле. При формовке обычным способом от случайного сдвига стержня, что часто имеет место в практике, стенки трубы получаются неравномерной толщины; поэтому при формовке в земле стенки трубы выполняются обычно с запасом толщины примерно на $2'/_2$—3 *мм* против того, как фактически требовалось бы. При центробежной отливке достигается достаточная равномерность толщины стенки трубы, поэтому отпадает вообще надобность в каком бы то ни было запасе. При обычном методе формовки нормальная толщина стенки 6″ трубы принимается равной $12^1/_4$ *мм* с колебанием в 3 *мм* в ту или другую сторону. При центробежной же отливке толщина такой же трубы, рассчитанная на такое же давление, берется всего лишь 9 *мм*; благодаря этому центробежно отлитая 6″ труба весит ~ 150 *кг*, а труба, отлитая обычным способом, ~ 200 *кг*, т. е. экономия в весе составляет ~ 25%. Что же касается экономии в стоимости, то она получается несколько меньшей в виду того, что при центробежной отливке необходимо применять чугун с более высоким содержанием кремния, чем при обыкновенной формовке в песок. Кроме того большая экономия получается вследствие того, что количество отходов при центробежном литье почти равно 0, т. к. не требуется ни литников ни прибылей. Средний состав чугуна для центробежной отливки труб следующий: кремния 2,5%, марганца до 0,6%, фосфора 0,7—0,8% и серы $\leqslant$ 0,06%. В настоящее время наиболее распространенным методом центробежной отливки труб являются следующие способы: способ де-Лаво состоит в отливке металла во вращающуюся с определенной скоростью металлич. изложницу — форму, охлаждаемую водой. Формы помимо вращающего движения имеют и поступательное движение (продольное), а т. к. металл подводится внутри формы жолобом в одном месте, то происходит как бы отбрасывание к внутренней стенке и постепенное навивание металла в виде спирали определенной толщины. Трубы получаются закаленными и нуждаются в отжиге, после к-рого материал труб представляет собой нечто среднее между серым и ковким чугуном, т. е. материал с более высокими (на 35—40%) механич. свойствами, но несколько более хрупкий.

Центробежная машина системы де-Лаво показана на фиг. 5. Эта машина состоит из следующих основных частей: стального цилиндра *a*, к-рый является как бы изложницей, двигателя *b*, приводящего машину в движение, охладительного устройства *c* и механизма для литья *d*. Опорой стального вращающегося цилиндра служат роликовые подшипники, установленные в чугунном кожухе машины, наружный диаметр к-рого для труб ⌀ 100, 150 и 200 *мм* составляет 760 *мм* и принимается несколько бо́льшим для труб ⌀ 250 и 300 *мм*. Кожух на торцовых сторонах снабжен съемными днищами и одной промежуточной перегородкой, через которые проходит изложница. Пространство между наружной поверхностью формы и кожухом предназначается для охлаждающей воды и движущего механизма. В первых конструкциях для сообщения вращательного движения форме применялось колесо Пельтона,

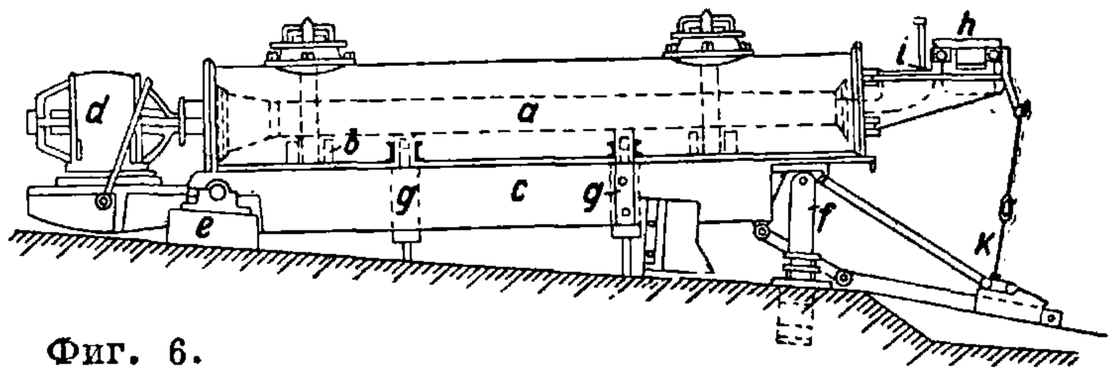
преобразующее энергию струи воды, поступающей после охлаждения изложницы, в механическую энергию. Колесо Пельтона, насаженное на стальной цилиндр, помещается с передней стороны (со стороны раструба). Вода, приводящая в движение колесо и форму, вместе



Фиг. 5.

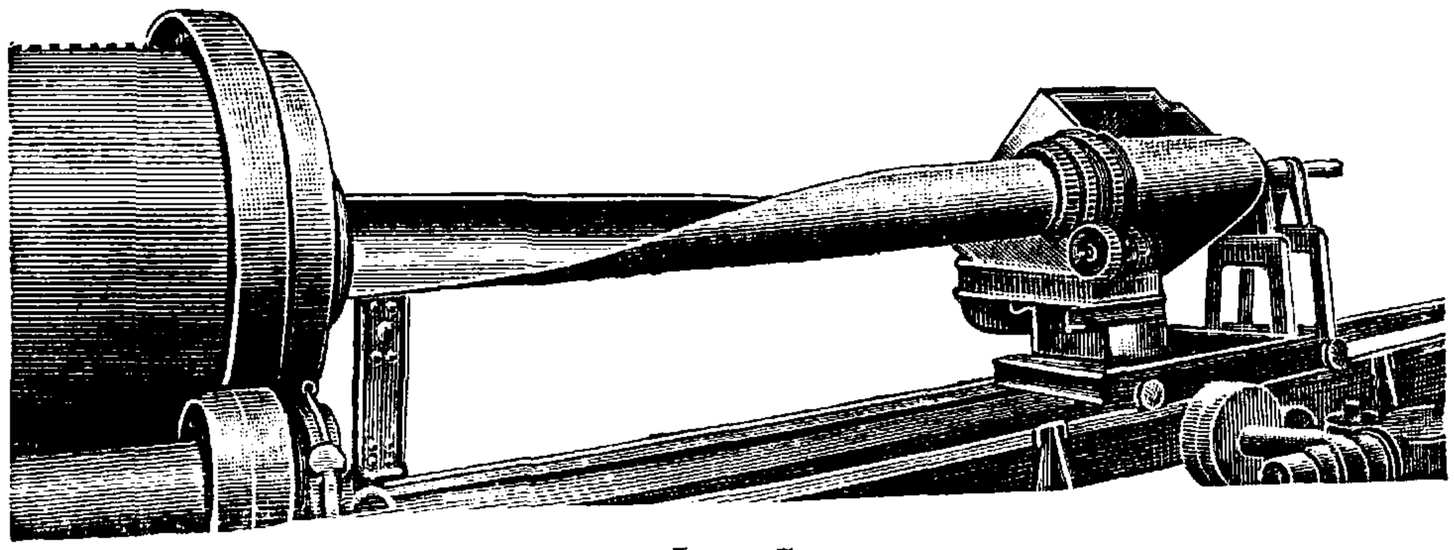
с тем служит и для охлаждения последней со стороны раструба. Роликовые подшипники, установленные в кожухе, являются опорами вращающейся формы. Посредством червячной передачи и кулачковой муфты сообщается поступательное движение цилиндру от того же колеса Пельтона. В новейших конструкциях указанный двигатель заменен электромотором с зубчатой передачей, а для продольного перемещения машины применяется гидравлич. таран, причем последний состоит из двух частей телескопного типа, так что его длина всегда соответствует пройденному пути машины; движение его регулируется клапанами, расположенными около ковша. Для обслуживания колеса Пельтона и гидравлич. тарана требуется устанавливать аккумулятор постоянного давления. При каждой машине имеется термометр и манометр. Механизм для литья состоит из поворотного ковша и длинного жолоба. Наклон ковша во время литья производится посредством гидравлического цилиндра, снабженного регулирующим вентилем для получения требуемой скорости поворачивания. Последнее условие дает возможность регулировать приток жидкого чугуна в форму в зависимости от размера отливаемой трубы. При повороте ковша жидкий чугун попадает в жолоб и протекает по нему через всю длину формы до заформованного раструба, откуда и начинается отливка трубы. Кожух вместе с вращающейся формой движется по направлению продольной оси, т. о. форма постепенно удаляется от выпускного отверстия жолоба, вследствие чего чугун распределяется по всей длине трубы. Машина устанавливается на фундаменте несколько в наклонном положении, поэтому конец, несущий раструб, находится ниже прямого конца. Наружная поверхность раструба получается в той же форме, как и труба, а для образования внутренней поверхности устанавливается стержень. Изложница изготовляется из стали с 0,3% С или из мартеновской стали. Продолжительность службы машины де-Лаво составляет от 3 000 до 4 000 отливок.

Когда труба отлита и машина пришла в свое конечное положение, то в передний конец отливки вставляют захват, удерживающий ее на месте, и т. о. при обратном движении машины отлитая труба вытягивается из формы. Для обслуживания каждой машины требуется 4 рабочих. Непосредственно перед отжигательной печью установлены весы (вроде вагонных) для контроля веса каждой трубы до поступления ее в печь; если этот вес уклоняется в ту или другую сторону от нормы, то немедленно изменяют соответствующим образом скорости центробежных машин, чтобы получить требуемую толщину стенок. Другой способ центробежной отливки труб, предложенный Мур-Вудом, отличается от способа де-Лаво тем, что металлические изложницы футеруются изнутри огнеупорным составом; это предохраняет отливку от быстрого охлаждения, поэтому никакого последующего отжига труб не требуется, что и дает преимущество по сравнению с методом де-Лаво. Недостатком указанного способа является необходимость иметь большое земледельное хозяйство, производить набивку, выбивку и сушку форм, причем расходы получаются настолько значительные, что их не могут покрыть ни отсутствие отжига ни несколько более лучшее качество труб. Машина



Фиг. 6.

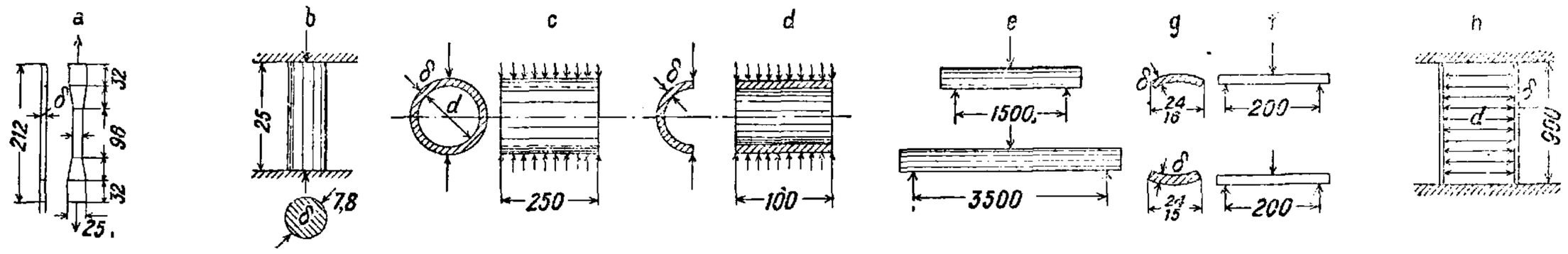
Мур-Вуда изображена на фиг. 6. Вынимающаяся форма *a* расположена на роликах *b*, установленных на опорной раме *c*, на ней держится также и приводный мотор *d*. Рама вращается в подшипниках *e* перпендикулярно к продольной оси. Наклон регулируется гидравлич. поршнем *f*. По рельсам, приподнятым при помощи поршня гидравлического цилиндра *g*,



Фиг. 7.

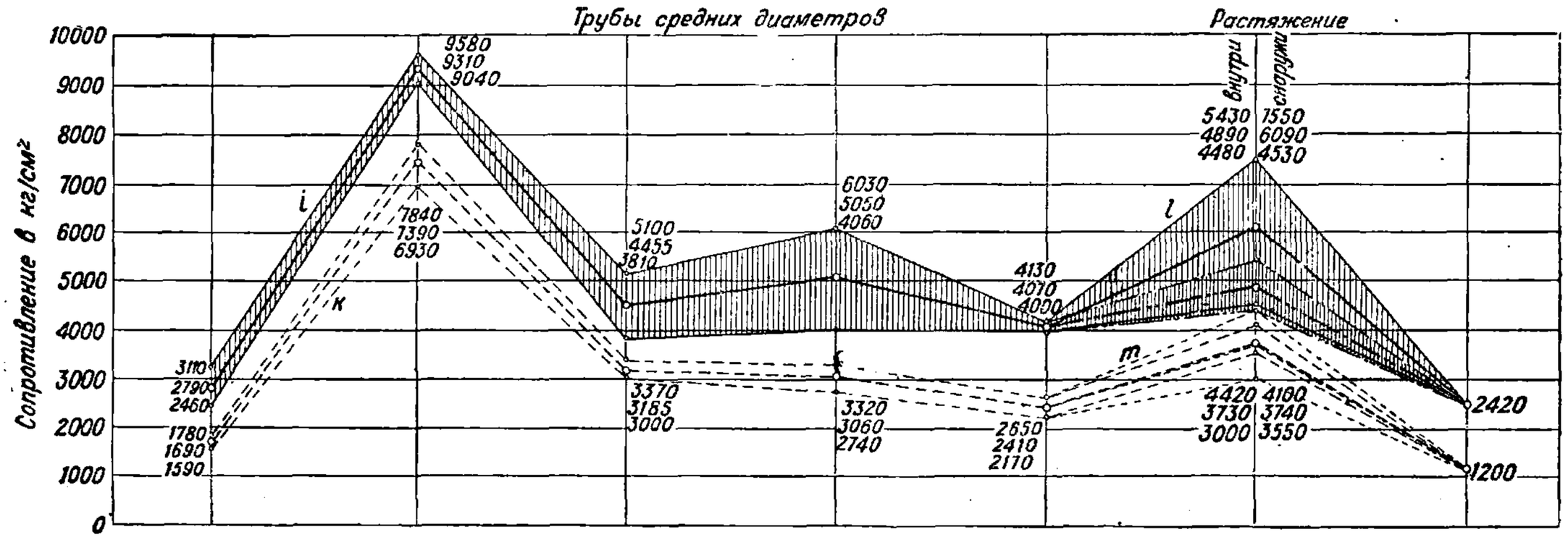
готовая форма вкладывается в открытую машину. Таким же образом вынимают форму после отливки. Чугун выливается из опрокидывающегося корыта *h* через жолоб *i*, входящий во вращающуюся форму. Наклон корыта управляется регулирующим механизмом *k*. Эта регулировка представляет главное преимущество новой машины, т. к. жидкий чугун вводится в форму равномерной струей во время

понижения машины. Струя металла в виде спирали заполняет форму. Видоизменением способа де-Лаво является способ Франки-Грегорини, в котором помимо некоторых конструктивных изменений литейной машины изменен самый принцип охлаждения формы—изложницы: вместо купания формы в воде, а следовательно и резкого охлаждения формы, обусловливающего в дальнейшем необходимость отжига труб, по способу Франки-Грегорини охлаждение форм производят посредством опрыскивания водой поверхности формы из нескольких сопел с таким расчетом, чтобы температура формы держалась в пределах 400—500°.



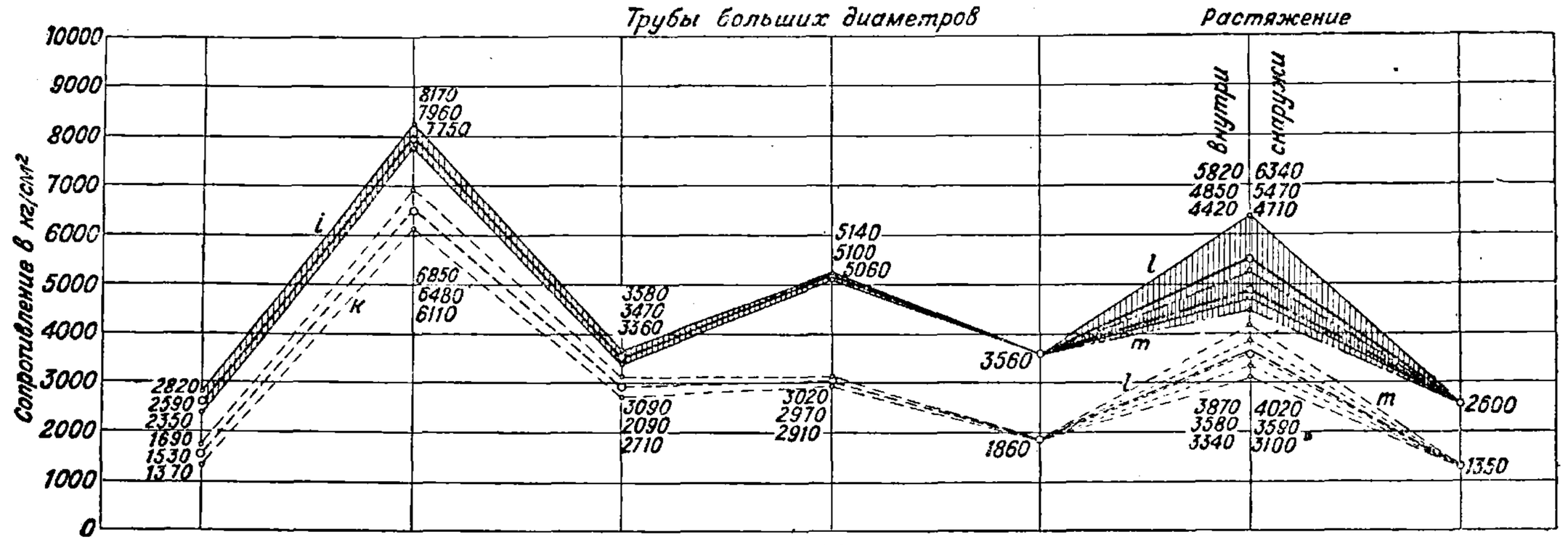
Фиг. 8.

Сравнительные испытания (произведены проф. Тальботом в 1926 г.) над трубами, изготовленными различными способами. Если принять за 100% цифры, относящиеся к трубам, изготовленным обыкновенным способом, то соответствующие данные для труб, изготовленных другими способами, выражаются следующими цифрами. Разрывное усилие, определяемое в результате гидравлич. испытания: 1) для обыкновенных труб 100%; 2) для труб центробежной отливки по способу Моно-Каст или Мур-Вуда 138%; 3) для труб, отлитых центробежным способом в металлических изложницах (по способу де-Лаво), 163%.



Фиг. 9.

Результаты испытаний на изгиб и излом. Модуль разрушения при изгибе оказался для всех трех новых способов почти одинаковым и превышающим соответствующий модуль для обыкновенных труб не менее чем на 25%. Модуль упругости труб, отлитых по

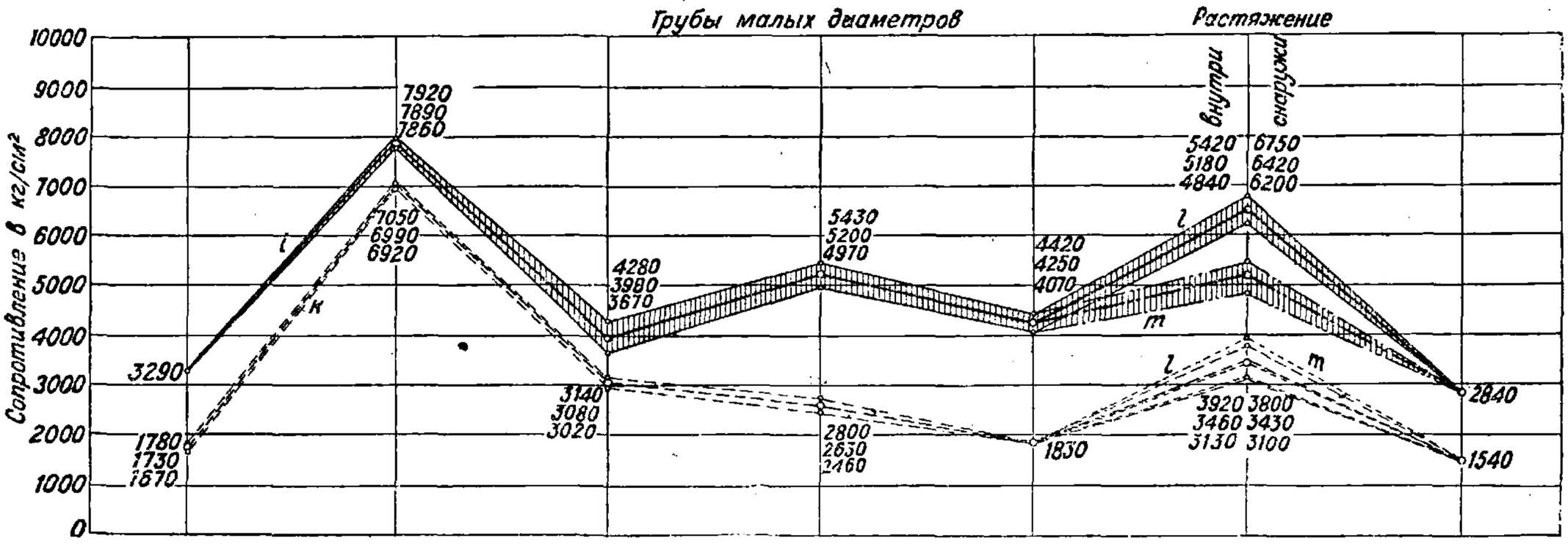


Фиг. 10.

скошенной кромкой (по винтовой линии). Благодаря такой конструкции жолоба имеется возможность выливать расплавленный чугун во вращающуюся форму не узкой струей, а широким потоком в зависимости от поступающего количества расплавленной массы и от скорости вращения жолоба. В процессе литья жолоб не выводится из формы, а поэтому конструкция машин упрощается.

способу Мур-Вуда, почти совпадает с соответствующим модулем для обыкновенных труб; модуль упругости труб, отлитых по способу де-Лаво, на 50% превышает модуль обыкновенных труб. Результаты, близкие к этим, показали также и испытания, произведенные над образцами, вырезанными из трубы. На фиг. 8 дана схема методов испытаний (*a*—продольное растяжение, *b*—продольное давление, *c*—внеш-

нее давление в вертикальной продольной плоскости, проходящей через ось целой трубы, *d*—внешнее давление на часть трубы, разрезанной вертикальной плоскостью, проходящей через ось, *e*—изгиб целой трубы, *f*—изгиб образцов в виде полос для внутренней части стенки трубы, *g*—то же для наружной части стенки, *h*—внутреннее давление). На фиг. 9, 10 и 11 даны диаграммы разрывных усилий в стенках труб большого, среднего и малого диаметров, отлитых центробежным способом и обыкновенным способом в земле (*i*—центробежная отливка,



Фиг. 11.

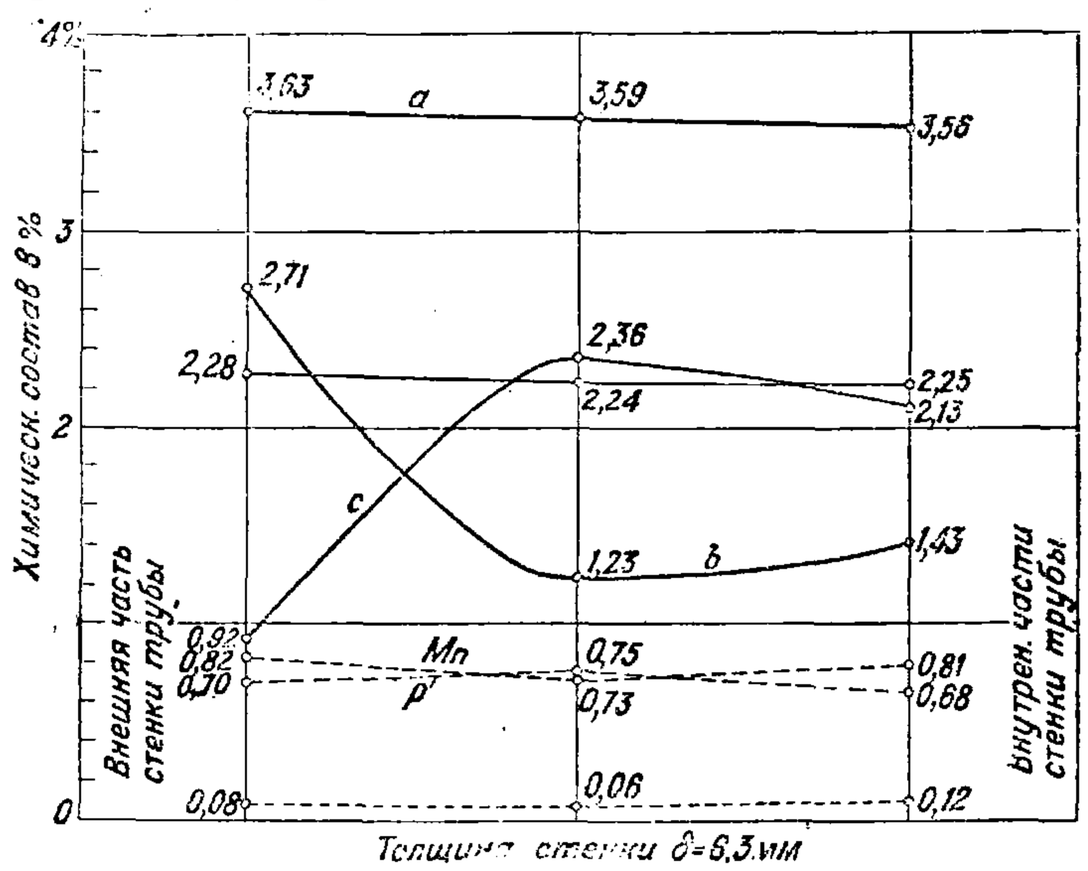
k—отливка в земле, *l*—растяжение в наружной части стенки, *m*—растяжение во внутренней части стенки). Ударная проба. Сопротивление разрушению от внутреннего гидравлич. давления труб, отлитых по способу де-Лаво, значительно выше соответствующего сопротивления труб, отлитых другими способами, сопротивляемость же труб де-Лаво ударной пробе оказалась ниже. Если принять за 100% сопротивление ударной пробе обыкновенных труб, то соответствующее сопротивление для труб де-Лаво составит 81%, а для отлитых по способу Мур-Вуда ок. 107%.

Химический состав чугунных труб. Средний химический состав труб, отлитых разными способами, согласно исследованиям проф. Тальбота характеризуется следующей таблицей (в %):

Элементы	Обыкновенные трубы	Трубы Моно-Каст	Трубы де-Лаво
Углерод в виде графита	2,61÷3,06	2,52 ÷2,88	3,43÷3,48
Связанный углерод	0,58÷0,81	0,53 ÷0,91	0,08÷0,12 (0,4÷0,5)
Всего углерода .	3,38÷3,67	3,29 ÷3,66	3,52÷3,56 (3,6)
Кремний	1,36÷2,09	1,40 ÷2,24	1,66÷1,97 (1,8÷2,0)
Марганец	0,30÷0,58	0,26 ÷0,40	0,31÷0,38 (0,56)
Сера	0,05÷0,13	0,055÷0,94	0,052÷0,059 (0,08)
Фосфор	0,49÷0,84	0,71 ÷0,77	0,88÷0,81 (0,06)

Как видно из таблицы, химич. состав чугуна труб разных систем в общем мало отличается. При почти одинаковом общем содержании углерода количество связанного углерода в трубах де-Лаво значительно ниже, чем в трубах других систем. Изменение химич. состава чугуна от наружной к внутренней части стенки трубы центробежной отливки толщиною $\delta = 6{,}3$ *мм* представлено на фиг. 12, где кри-

щей схеме. Две стойки с роликовыми подшипниками служат для укладки на них патронов. При малых диаметрах труб это производится вручную, а для больших труб имеются установленные с обеих сторон станка пневматические подъемники, укрепленные на тележках, двигающихся по балочкам в направлении, перпендикулярном к оси станка. Над станком



Фиг. 12.

вертикально укреплен деревянный, конически суживающийся и закрытый со всех сторон плоский жолоб, снабженный особым разрыхлителем для земли. Жолоб служит для направления падающей вниз земли. Разрыхленная земля падает внутрь направляющего жолоба. Для подачи земли служит ковшевой элеватор, забирающий землю из закрома, расположенного около станка. Стержень образуется благодаря силе, развиваемой при падении разрыхленных частиц земли с высоты ок. 2—25 *м*. Для связи земли последняя берется достаточно жирной. Чтобы хорошо приставали к патрону первые частицы земли, патрон смачивается водой. Толщина слоя земли стержня зависит от диаметра и для самых

больших диаметров она равна 15 *мм*. При операции «наточки» (нанесения слоя глины на каркас) стерженщик непрерывно проводит руками с легким нажимом вдоль всего натачиваемого стержня. Размеры и контур поверхности стержня получаются посредством обычного вида шаблона, укрепленного на станке. Средняя скорость вращения станка ок. 100 об/м., и вся наточка (напр. для 8″ трубы) продолжается около 37 ск. Готовые стержни укладывают на проходящий под станком вагончик, вмещающий 4 штуки, и на нем же подают под кран литейной. Станок обслуживается тремя рабочими. Изготовленные стержни краном устанавливаются в готовые формы труб.

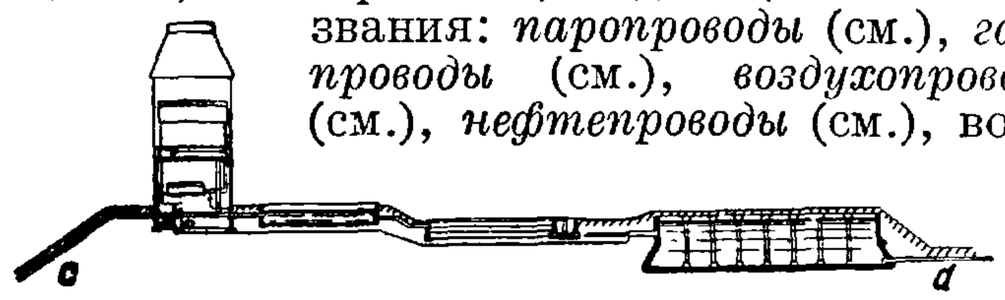
Формовка труб в опоках производится на встряхивающих машинах. Устанавливаемая на столе формовочной машины опока вмещает четыре модели, к-рые закреплены в подмодельной доске машины. Над столом машины, а следовательно и над устанавливаемой на нем опокой к колоннам здания прикреплен бункер для формовочной земли. Низ бункера имеет три параллельных отверстия с механическим затвором и направляющим жолобом. Установив опоку на столе машины, открывают бункер и, наполнив опоку землей, дают ей не-

сколько ударов. Для 8″ трубы это число ударов равно 8—9. Т. к. верхние слои формовочной земли в опоке уплотняются встряхиванием недостаточно, то дополнительно их уплотняют ручными пневматич. трамбовками. У каждой машины работают 4 формовщика. При формовке верха формы вслед за окончательным уплотнением ручным пневматич. трамбованием прорезают вручную воронки литников. Литники делаются на каждую пару труб. Для трубы длиною 4 *м* делают 14 литников. Изготовленная форма краном переносится со стола машины на рельсовые стелюги, расположенные вдоль всего этого пролета. Стелюги установлены почти на уровне пола мастерской с небольшим наклоном. Т. о. вся операция изготовления формы для отливки трубы протекает в следующем порядке. Как только краном будет установлен низ формы, второй кран подает и устанавливает 4 стержня, к-рые закрепляют попарно скобами на винтах к нижней опоке формы; в это время первый кран подает верх формы. Скрепление верха и низа опок делается тоже скобами, и форма готова к отливке. За время, пока накладывают верх и скрепляют опоку, второй кран подает ковш с металлом и заливает готовые формы. Благодаря большому числу литников операция заливки двух труб продолжается 28 ск. В конце этого же пролета, где производится заливка форм, установлен встряхивающий стол с решеткой для выбивки земли из опок и рядом с ним бак с водой. Залитые металлом формы, как только металл в них затвердевает, раскрывают мостовым краном, вынимают трубы вместе с патронами и кладут на стелюги, по которым они благодаря небольшому наклону скатываются в соседний узкий пролет, а опоки с землей одна за другой передаются краном на встряхивающий выбивной стол, где после нескольких ударов опока освобождается от земли. Каждую половину опоки, освобождающуюся от земли, с выбивного стола берет велосипедный кран, погружает ее в бак с водой для охлаждения и подает вдоль пролета обратно к формовочному станку.

Лит.: Тихонов Н., Производство водопроводных труб, «Инженер», Екатеринослав, 1912; Рубцов Н., К вопросу производства чугунных труб в России, «Изв. бюро водопроводных и сан.-тех. съездов», М., 1914, 7; его же, Карусельная отливка труб, «Литейное дело», М., 1932, 3; его же, Механизация литейного дела, М.—Л., 1932; Schwarz M., Vath A., Schleuderguss u. seine metallkundliche Untersuchung, «Die Giesserei», Düsseldorf, 1930, 8—11; Dixon T. C., Gasting Guns by the Centrifugal Process, «Transactions of the American Society for Testing Materials», New York, 1930, v. 28.

Н. Рубцов.

ТРУБОПРОВОДЫ. Т. состоит из ряда отдельных звеньев труб, фасонных частей и арматуры, соединенных в определенном последовательном порядке так, чтобы образовалась одна непрерывная линия, работающая так же, как работала бы и изготовленная из одного цельного куска материала. По роду подаваемого вещества, газообразного, жидкого, Т. носят названия: *паропроводы* (см.), *газопроводы* (см.), *воздухопроводы* (см.), *нефтепроводы* (см.), водо-



Фиг. 1.

проводы и пр. На фиг. 1 показаны отдельные трубопроводы: самотечные *a*, всасывающие *b*, нагнетательные *c*, напорные *d*. На фиг. 2 представлен участок водопроводной сети.

Силы, действующие на Т. При расчете Т. необходимо принять во внимание в соответствующих случаях следующие основные силы. а) Внутреннее давление в *кг/см²*, выражаемое высотою напора *H* в *м*, с учетом давления атмосферы. Наибольшее напряжение на растяжение у внутренней поверхности Т. в тангенциальном направлении определяется по ф-ле:

$$\sigma_{z\,max} = p_i \frac{0{,}4r_i^2 + 1{,}3r_a^2}{r_a^2 + r_i^2}, \qquad (1)$$

где p_i—внутреннее давление в *кг/см²*, к-рое не должно превышать величины σ_z : 1,3; r_i—внутренний радиус Т. в *см*; r_a—наружный радиус Т. в *см*. Наибольшее напряжение на сдвиг

$$\tau_{s\,max} = p_i \frac{r_a^2}{r_a^2 - r_i^2}. \qquad (2)$$

При малой толщине стенок Т. среднее напряжение в направлении окружности м. б. определено по ф-ле

$$\sigma_z = \frac{d_i p_i}{2\delta}, \qquad (3)$$

где d_i—внутренний диам. Т. в *см*, δ—толщина стенки Т. в *см*. В осевом направлении среднее напряжение будет равно

$$\sigma'_z = \frac{d_i p_i}{4\delta}. \qquad (4)$$

Т. к. $p_i = H \cdot \gamma$ (полное давление воды), то, выражая δ и d в *м*, а p и σ_z в *т/м²*, можно ф-лу (3) написать так:

$$\sigma_z = \frac{d_i H \gamma}{2\delta} = \frac{d_i H}{2\delta}, \qquad (5)$$

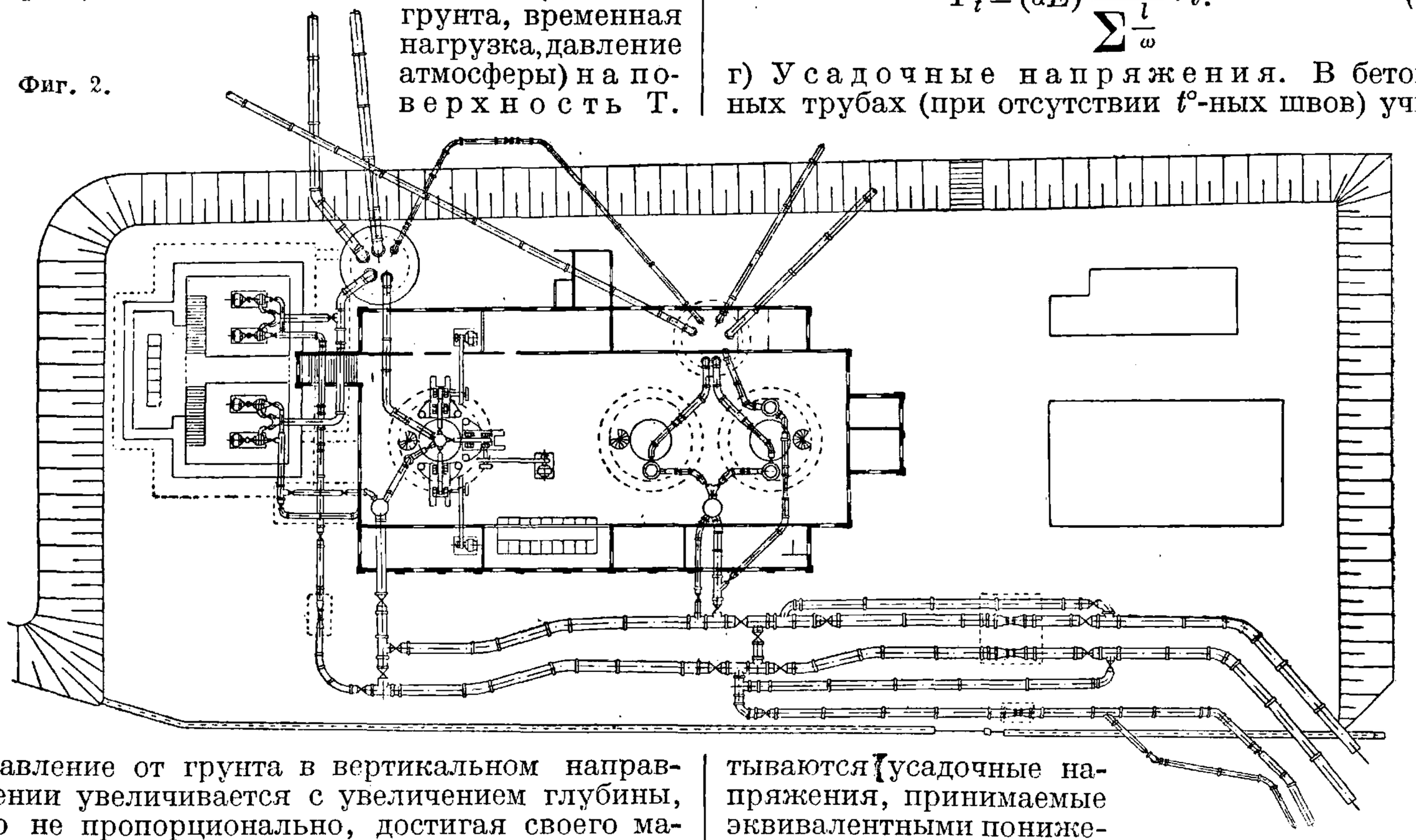
где H—полная высота напора, выраженная в *м* вод. ст., γ—уд. в. воды, равный 1 *т/м³*. Для стального Т. ф-ла (5) примет вид

$$\sigma_z = \frac{d_i H \gamma}{2\eta\delta}, \qquad (5а)$$

где η есть коэф. надежности шва (0,70—0,90). По ф-лам (3) и (5) м. б. произведен расчет лишь

в том случае, если толщина стенок мала сравнительно с внутренним диам. трубы, т. е. когда $\delta \leqslant \frac{d_i}{6}$, и если рабочее давление не превышает одной трети напряжения материала ($\sigma_z : 3$). В данном случае допускается не учитывать упругих свойств материала (обусловливающих различие напряжений в материале), т. к. получаются приближенно верные результаты для толщины стенок труб. В тех же случаях, когда отношение толщины стенок трубы к внутреннему диам. ее равно или более 0, 2, т. е. $\frac{\delta}{d} \geqslant 0{,}2$, или когда рабочее давление превышает 50 *atm*, расчет ведется по теории упругости, причем принимается во внимание осевое напряжение в трубе [ф-лы (1), (2) и (4)]. См. также *Трубы железобетонные, деревянные* и пр. б) Внешнее давление (давление грунта, временная нагрузка, давление атмосферы) на поверхность Т.

Фиг. 2.



Давление от грунта в вертикальном направлении увеличивается с увеличением глубины, но не пропорционально, достигая своего максимума на глубине около 5 *м*, после чего давление для больших глубин остается постоянным. Вес увлажненного грунта берется равным 2 000 *кг/м*³. Давление от подвижной нагрузки не оказывает никакого влияния на слои грунта, расположенные на глубине, большей чем 5 *м*. Нормальная временная нагрузка принимается равной 5 000 *кг/м*². Давление от грунта p_e, давление от подвижной нагрузки p_v и полное внешнее давление p_a в зависимости от глубины h залегания трубопровода выразятся следующими числами:

при h в *м*:		1	2	3	4	5 и более
p_e	в *кг/м*² . . .	1 627	2 613	3 120	3 307	3 333
p_v	» » . . .	3 200	1 800	800	200	—
p_a	» » . . .	4 827	4 413	3 920	3 507	3 333

При хорошем грунте (глине, гравии, каменистом и тому подобных грунтах) давление p_e м. б. взято равным $^2/_3$ давления, указанного в таблице. в) Температурные силы. Т. длиною l изменяет свою длину под влиянием изменения $t°$ на величину

$$\Delta l = \alpha t l. \qquad (6)$$

Если Т. не может изменять свою длину, то в нем возникают $t°$-ные силы, выражаемые ф-лой

$$P_t = (\alpha E)\omega t, \qquad (7)$$

где P_t — сжимающая (растягивающая) сила при понижении (повышении) температуры в m, α—коэфициент удлинения, равный: для стали 0,000012, для бетона и железобетона 0,000010, для дерева 0,000004, E—модуль упругости в *т/м*², равный: для стали 20 000 000 *т/м*², для бетона и железобетона 2 000 000 *т/м*², для дерева 1 000 000 *т/м*², значения величины (αE) приведены ниже:

$(\alpha E) = 240$ *т/м*²—для стали
$(\alpha E) = 20$ *т/м*²—для бетона и железобетона
$(\alpha E) = 4$ *т/м*²—для дерева

ω—площадь поперечного сечения стенки трубы в *м*², t—температурное понижение (повышение) в градусах С. При Т., жестко закрепленных в своих концах и состоящих из труб разного диам. и разной длины, $t°$-ная сила будет равна

$$P_t = (\alpha E)\frac{\Sigma l}{\sum \frac{l}{\omega}} \cdot t. \qquad (8)$$

г) Усадочные напряжения. В бетонных трубах (при отсутствии $t°$-ных швов) учитываются усадочные напряжения, принимаемые эквивалентными понижению $t°$ на 10°. д) Силы, вызывающие поперечное сжатие стенок Т. Вследствие давления на стенки Т. происходит поперечное сжатие стенки на величину

$$\Delta l' = \frac{dHl}{2\delta m E}; \qquad (9)$$

когда такое сжатие невозможно, то в стенках Т. появляется растягивающее усилие

$$P_q = \frac{\pi d^2 H}{2m}. \qquad (10)$$

Если Т., жестко закрепленный в своих концах, состоит из участков труб разной длины, разного диам. и с различными высотами напора, то

$$P_q = \frac{\pi}{2m} \cdot \frac{\sum \left(d^2 H \frac{l}{\omega}\right)}{\sum \left(\frac{l}{\omega}\right)}. \qquad (11)$$

В ф-лах (9), (10) и (11): d—внутренний диам. Т. в *м*, H—полная высота напора в *м* вод. ст., l—длина рассматриваемого участка Т. в *м*, δ—толщина стенки трубы в *м*, m—коэф. Пуассона, равный: для стали 3,3, для бетона 7,0, для дерева не принимается во внимание, E—модуль упругости материала стенки Т. в *т/м*², P_q — растягивающее усилие вследствие поперечного сжатия Т. в m, ω—площадь попереч-

ного сечения Т. в $м^2$. Для практич. целей в большинстве случаев достаточно взамен расчета по ф-ле (11) определить P_q по ф-ле (10), принимая в последней за d диам. труб наибольшей длины, а за H среднюю высоту напора. Не следует упускать из виду учета силы P_q при конструировании компенсационных частей. е) Влияние собственного веса Т. На горизонтальных и пологих участках составляющая от собственного веса Т., действующая в направлении оси трубы, воспринимается полностью силами трения. На крутых участках приходится однако считаться с этой осевой силой, в особенности учитывая силы трения от сотрясений, увлажнения соприкасающихся с трубами плоскостей и других причин. ж) Трение между трубой и ее опорами. Силы трения различны для пустого и заполненного жидкостью Т. При крутых скатах сила трения приравнивается нулю, вследствие чего в этом случае необходимы неподвижные трубозакрепительные опоры, имеющие целью разгрузить давление верхней части линии на нижние стыковые соединения. При пологих скатах считают, что осевое усилие в Т. воспринимается силами трения. Но и в последнем случае рекомендуется устраивать местами закрепления для воспрепятствования возможному медленному движению труб сверху вниз, могущему повлечь за собой расстройство стыков и искривление линии. Для стальных Т. можно принять ориентировочно следующие коэф-ты трения: если постелью для них служит земля—$\mu = 0{,}70$, бетонная плита—$\mu = 0{,}40$, бетонные желоба с гладкой поверхностью соприкасания—$\mu = 0{,}20$, если трубчатые седелки со скользящей стальной подушкой — $\mu = 0{,}12$. з) Силы трения в компенсаторах. В нежестко соединенных Т., когда на линиях имеются компенсаторы, $t°$-ные и поперечно сжимающие силы могут проявлять себя до тех пор, пока будет преодолено трение в компенсаторах. Эта сила трения для сальниковых компенсаторов будет

$$P_d = \pi \mu d_d l_d h, \qquad (12)$$

где P_d—силы трения в компенсаторах в $т$, μ—коэф. трения (пенька по стали: $\mu = 0{,}25$), d_d—внешний диаметр набивки в $м$, l_d—длина набивки в $м$, h—статич. высота напора в $м$ (динамическая высота напора в данном случае не учитывается). Приближенно для раструбных Т. можно принять $P_d = P_t$ при $t° = 3 \div 5°$. и) Разные силы. Кроме перечисленных выше сил на Т. действуют усилия, происходящие от неправильной укладки и плохого соединения труб, и такие, к-рые по их малости обыкновенно не учитываются. К первым напр. можно отнести усилия, возникающие в стыковых зазорах вследствие неплотной и косой пригонки труб одна к другой и могущие быть выражены величиной

$$P_s = \frac{\pi}{4}(d_a^2 - d^2) H; \qquad (13)$$

ко вторым—силы, растягивающие Т. в продольном направлении, равные

$$P_z = \frac{\pi d^2}{4} h, \qquad (14)$$

центробежные силы в закруглениях и др. В практике все второстепенные силы учитываются обыкновенно введением в расчет практического коэф-та. При определении толщины стенки Т. таким коэф-том является практич. прибавка C, равная для стали 1,59, для чугуна 3,17, для меди, свинца, олова и цинка 2,54, для сосны и дуба (вдоль волокон) и для бетона 12,7.

Влияние закрытия и открытия затворов на величину напора в напорном Т. а) Скорость распространения напорной волны в Т. может быть определена по ф-ле проф. Н. Жуковского или итальянского инж. Альеви (L. Allievi), причем обе ф-лы дают одинаковое выражение:

$$a = \sqrt{\frac{g}{\gamma\left(\frac{1}{E'} + \frac{1}{E''} \cdot \frac{d}{\delta}\right)}}, \qquad (15)$$

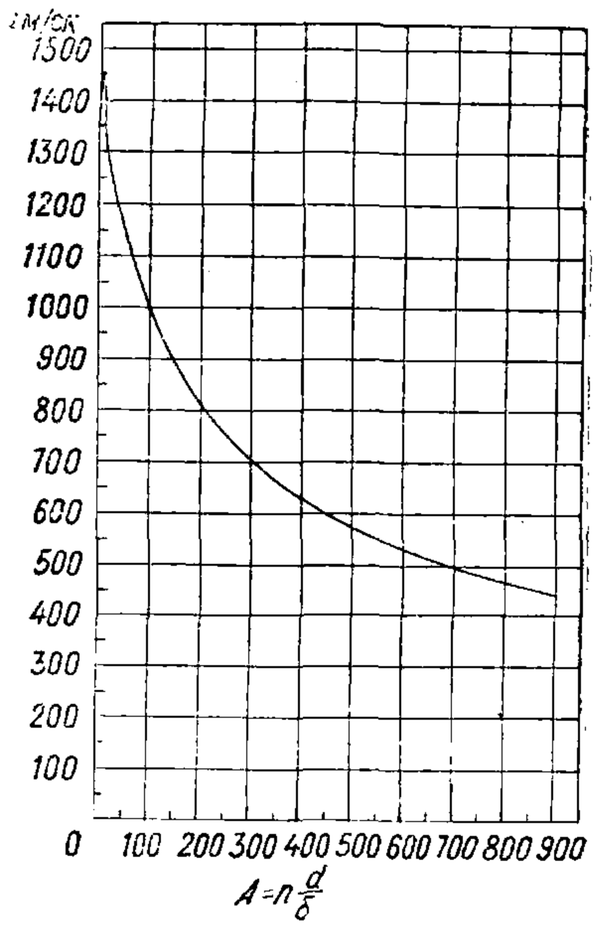
где a—скорость распространения напорной волны в Т. в $м/ск$, g—ускорение силы тяжести в $м/ск^2$, равное 9,81 $м/ск^2$, γ—вес единицы объема жидкости в $кг/м^3$, E'—модуль упругости жидкости в $кг/м^2$, E''—модуль упругости материала Т. в $кг/м^2$, d—внутренний диам. Т. в $м$, δ—толщина стенки Т. в $м$. При различных диаметрах и различных толщинах стенок труб берут средние значения d и δ. Модуль упругости E'' принимается: для стали 20×10^9 $кг/м^2$, для чугуна 10×10^9 $кг/м^2$, для бетона 2×10^9 $кг/м^2$, для дерева 1×10^9 $кг/м^2$. Ф-ла (15) м. б. выражена иначе, а именно:

$$a = \frac{\sqrt{\frac{g \cdot E''_{ж}}{\gamma}}}{\sqrt{\frac{E''_{ж}}{E'} + n\frac{d}{\delta}}}, \qquad (16)$$

где $E''_{ж}$—модуль упругости для стали, n—отношение модуля упругости стали к модулю упругости другого материала Т., равное для стали 1, для чугуна 2, для бетона 10, для дерева 20. Принимая

$$A = n\frac{d}{\delta}, \qquad (17)$$

можно скорость распространения напорной волны выразить в функции от A. На фиг. 3 дана диаграмма скорости распространения напорной волны в ф-ии от A по Леви. Для железобетонных Т. получим по Мюльхоферу (Mühlhofer) приведенный модуль упругости железобетона равным



Фиг. 3.

$$E''_i = E''_{ж} \cdot \frac{\delta'}{\delta} + E''_{\delta} \cdot \frac{\delta - \delta'}{\delta} = \frac{E''_{\delta}}{\delta}[\delta'_n + (\delta - \delta')]; \qquad (18)$$

отсюда A для диаграммы выразится ф-лой:

$$A = \frac{E_{ж}}{E_i''} \cdot \frac{d}{\delta} = \frac{dn}{\delta' n + (\delta - \delta')}, \qquad (19)$$

где E''_i—приведенный модуль упругости железобетона, δ'—толщина стального Т., мысленно заменяющего собою арматуру, δ—толщина стенки железобетонного Т., $E''_{ж}$—модуль упругости стали, E''_{δ}—модуль упругости бетона, d—внутренний диам. Т., $n = \frac{E''_{ж}}{E''_{\delta}} = 10$.

Для жесткого трубопровода, когда $E'' = \infty$, получим по формуле (15) при $\gamma = 1\,000$ $кг/м^3$ и $E' = 207\,000\,000$ $кг/м^2$

$$a = \frac{9\,900}{\sqrt{48{,}3 + \frac{10^{10}}{E''} \cdot \frac{d}{\delta}}} = 1\,425 \text{ } м/ск. \qquad (20)$$

Для стальных, бетонных, железобетонных и

деревянных Т. достаточно в практике принять в среднем

$$a = 1\,000 \text{ м/ск}.$$

Время, необходимое для прохождения напорной волной Т. длиною L м в обоих направлениях (вперед и назад), равно

$$t' = \frac{2L}{a}. \quad (21)$$

б) Высота напора у затвора при его закрытии. При закрытии затвора происходит в Т. повышение напора, высота к-рого определяется следующим образом. Если обозначить через L длину Т., измеренную по оси, в м, h—гидростатич. высоту напора у затвора в м, h'—добавочную высоту напора у затвора в момент его закрытия в м вод. ст., T_s—время, потраченное на закрытие затвора, в ск., v—скорость течения жидкости в Т. перед закрытием затвора в м/ск, то при $T_s \leqslant \frac{2L}{a}$ будет

$$h' = \frac{av}{g}. \quad (22)$$

Для $a = 1\,000$ м/ск получим

$$h' = 102\,v. \quad (23)$$

При $T_s > \frac{2L}{a}$ будет

$$h' = m - h - \sqrt{m^2 - m_1^2}, \quad (24)$$

где

$$m = m_1 + m_2,$$

$$m_1 = h + \frac{av}{g} = h + 102\,v,$$

$$m_2 = \frac{v^2}{2g^2h}\left(a - \frac{2L}{T_s}\right)^2 = \frac{0{,}021v^2(500T_s - L)^2}{hT_s^2}.$$

Полная высота напора H у затвора при его закрытии будет

$$H = h + h' - h_1, \quad (25)$$

где h_1—потеря напора в Т. Время на закрытие затвора выбирают так, чтобы повышение напора при закрытии затвора не превзошло 20% статич. давления. Во всяком случае T_s д. б. значительно больше времени пробега напорной волны $\frac{2L}{a}$.

в) Высота напора у затвора при его открытии. Открытие затвора влечет за собой падение напора в Т., к-рое м. б. выявлено сл. обр. Примем, по аналогии с предидущим, следующие обозначения: L — длина Т., измеренная по оси, в м, h — гидростатич. высота напора у затвора в м, h''—высота падения напора у затвора в момент его открытия в м вод. ст., T_0—время, потраченное на открытие затвора, в ск., v — скорость течения воды в Т. перед открытием затвора в м/ск. Высота падения напора у затвора выразится равенством:

$$h'' = +\sqrt{n(2h + n)} - n, \quad (26)$$

причем при $T_0 \leqslant \frac{2L}{a}$ будет

$$n = \frac{a^2v^2}{2g^2h}, \quad (27)$$

при $T_0 > \frac{2L}{a}$ будет

$$n = \frac{2v^2L^2}{g^2T_0^2h}. \quad (28)$$

Высота напора H у затвора при его открытии будет равна

$$H = h - h'' + h', \quad (29)$$

где h''—величина, определяемая по ф-ле (26) на основании формул (27) и (28). Если дана высота падения напора h'', то при $T_0 \geqslant \frac{2L}{a}$ будет

$$T_0 = \frac{2vL}{g \cdot h''} \cdot \sqrt{\frac{h - h''}{h}}. \quad (30)$$

Время на открытие затвора д. б. не менее времени пробега напорной волны $\frac{2L}{a}$ и по возможности не менее 8 ск. При скоростях $v < 0{,}02h$ происходит вслед за падением напора большее или меньшее повышение его, причем в наиболее неблагоприятных случаях это повышение достигает четверти статической высоты напора. При скорости $v > 0{,}02h$ такого повышения напора не бывает.

г) Величина напора в Т. с разными диаметрами труб. Если Т. состоит из нескольких участков с разными диаметрами, а следовательно и с разными скоростями течения жидкости в Т., то высота напора рассчитывается по средней скорости течения жидкости

$$v_m = \frac{\Sigma(lv)}{L}, \quad (31)$$

где v_m—средняя скорость течения жидкости в м/ск, l—длина отдельных участков Т. с одинаковыми внутренними диам. труб в м, v—соответственно скорость течения жидкости в этих участках в м/ск, L—общая длина Т. в м. По Креснику (P. Kresnik) повышение напора учитывается на всем протяжении напорной линии в виде прибавки величины h' к гидростатической высоте напора в рассматриваемой точке трубопровода.

Общий метод расчета напорных Т. основан на следующих ур-иях гидравлики: а) ур-ие Бернулли для цельного потока реальной жидкости при медленно изменяющемся движении

$$\frac{a_1v_1^2}{2g} + \left(\frac{p_1}{\gamma} + h_1\right) = \frac{a_2v_2^2}{2g} + \left(\frac{p_2}{\gamma} + h_2\right) + h_w, \quad (32)$$

где значками (1—1) и (2—2) отмечаются соответствующие сечения, v_1 и v_2 — средние скорости в них, a_1 и a_2 — коэф-ты, учитывающие неравномерности распределения скоростей по поперечному сечению потока ($\cong 1{,}1$), h_1 и h_2—отметки над горизонтальной плоскостью, $\frac{p_1}{\gamma}$ и $\frac{p_2}{\gamma}$—приведенные высоты давления, h_w—совокупность потерь напора на гидравлич. сопротивления при движении жидкости в трубе, g—ускорение силы тяжести (9,81 м/ск); б) гидравлич. ур-ие неразрывности

$$Q = F \cdot v, \quad (33)$$

где F—живое сечение трубы, v—средняя скорость, Q—расход жидкости (объем жидкости, протекающей в единицу времени через данное живое сечение). В практике водопроводного дела приходится определять количество воды, подаваемое трубой, и напор, затрачиваемый на подачу воды. При подаче воды из резервуара с отметкою земли Z_1 по Т. диам. d в конечную точку с отметкою Z_2 можем написать на основании ур-ия Бернулли

$$Z_1 + H + \frac{p}{\gamma} = Z_2 + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + h, \quad (34)$$

где H—уровень воды над землею в м, $\frac{p}{\gamma}$—давление жидкости, в данном случае равное давлению атмосферы, v—средняя скорость истечения воды из трубы, h—потери напора на гидравлич. сопротивления при движении жидкости в

трубе, g—ускорение силы тяжести. Для свободного напора

$$H = Z_2 - Z_1 + h + \frac{v^2}{2g} = H_1 + h + \frac{v^2}{2g}. \quad (35)$$

На основании этой ф-лы свободный напор расходуется: 1) на подъем воды на высоту H_1, равную разности отметок земли у резервуара и центра выходного отверстия трубы, 2) на преодоление гидравлич. сопротивлений в Т. вследствие вихреобразования, а также и местных потерь, 3) на образование скорости истечения воды из трубы при затрачиваемом напоре $\frac{v^2}{2g}$, что имеет особое значение в практике тушения пожаров посредством водяной струи, а также при устройстве фонтанов и пр. Потеря напора на гидравлич. сопротивления при длине Т. l с учетом местных потерь напора м. б. представлена следующей ф-лой:

$$h = \varepsilon \frac{Q^2}{d^5} l + \frac{v^2}{2g} \Sigma\zeta. \quad (36)$$

Если Т. имеет значительное число фасонных частей (задвижек), то $\frac{v^2}{2g}\Sigma\zeta$ составляет 5—10% потери напора на трение в Т. Т. о. для определения общего напора м. б. представлена следующая ф-ла:

$$H = H_1 + \varepsilon \frac{Q^2}{d^5} l + \frac{v^2}{2g} \Sigma\zeta + \frac{v^2}{2g}. \quad (37)$$

В том случае если Т. не постоянного сечения, при расходах в отдельных пунктах по пути, состоит из отдельных участков $l_1, l_2, \ldots, l_m$ с соответствующим сечением труб $d_1, d_2, \ldots, d_m$, то приведенное ур-ие м. б. представлено в следующем виде:

$$H = H_1 + \sum_{n=1}^{n=m} \left(\varepsilon_n \frac{Q^2}{d_n^5} \cdot l_n + \frac{v_n^2}{2g} \Sigma\zeta \right) + \frac{v_m^2}{2g}. \quad (38)$$

Потерей напора на сопротивление при входе воды в трубу пренебрегают. Для определения потери напора на трение в трубах пользуются ф-лой Шези

$$v = c\sqrt{R \cdot i}, \quad (39)$$

где R—гидравлический радиус для круглых труб диам. d, причем $R = \frac{d}{4}$, i—потеря напора на единицу длины, v—скорость, c—коэф., зависящий от формы трубы, состояния стенок и условий протекания воды. Если в формулу (33) подставить значение v, то получим

$$Q = F \cdot c\sqrt{R \cdot i} \quad (40)$$

или

$$\frac{Q}{\sqrt{i}} = F \cdot c\sqrt{R} = K; \quad (41)$$

K будем называть модулем расхода, коэф. c ф-лы Шези м. б. определен по различным эмпирич. ф-лам. Наибольшее распространение получили ф-лы: 1) ф-ла Куттера для коэф-та c, имеющая вид

$$c = \frac{100 \cdot \sqrt{R}}{m + \sqrt{R}}. \quad (42)$$

Коэф. m—для чугунных и железных труб, бывших в употреблении, равен 0,25; для деревянных 0,20 и для цементных 0,25—0,35; 2) ф-ла Манинга для коэф-та c, имеющая вид

$$c = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{1}{6}} = \frac{1}{n} R^{0,167}. \quad (43)$$

Коэф. n принимают = 0,012. Величины модуля расхода $K = Fc\sqrt{R}$ для труб разных диам. даны в табл. 1 при коэф-те c по Куттеру (для m = =0,25) и в табл. 2 по Манингу (для n=0,012).

Табл. 1.—Величина модуля расхода по Куттеру.

d, мм	40	50	75	100	125
K, л/ск	3,59	6,78	21,43	48,10	89,84
d, мм	150	175	200	225	250
K, л/ск	149,37	229,20	331,70	459,02	613,59
d, мм	300	350	400	450	500
K, л/ск	1,012·10³	1,540·10³	2,220·10³	3,057·10³	4,067·10³
d, мм	600	750	800	900	1 000
K, л/ск	6,655·10³	12,13·10³	14,42·10³	19,76·10³	26,18·10³

Табл. 2.—Величина модуля расхода по Манингу.

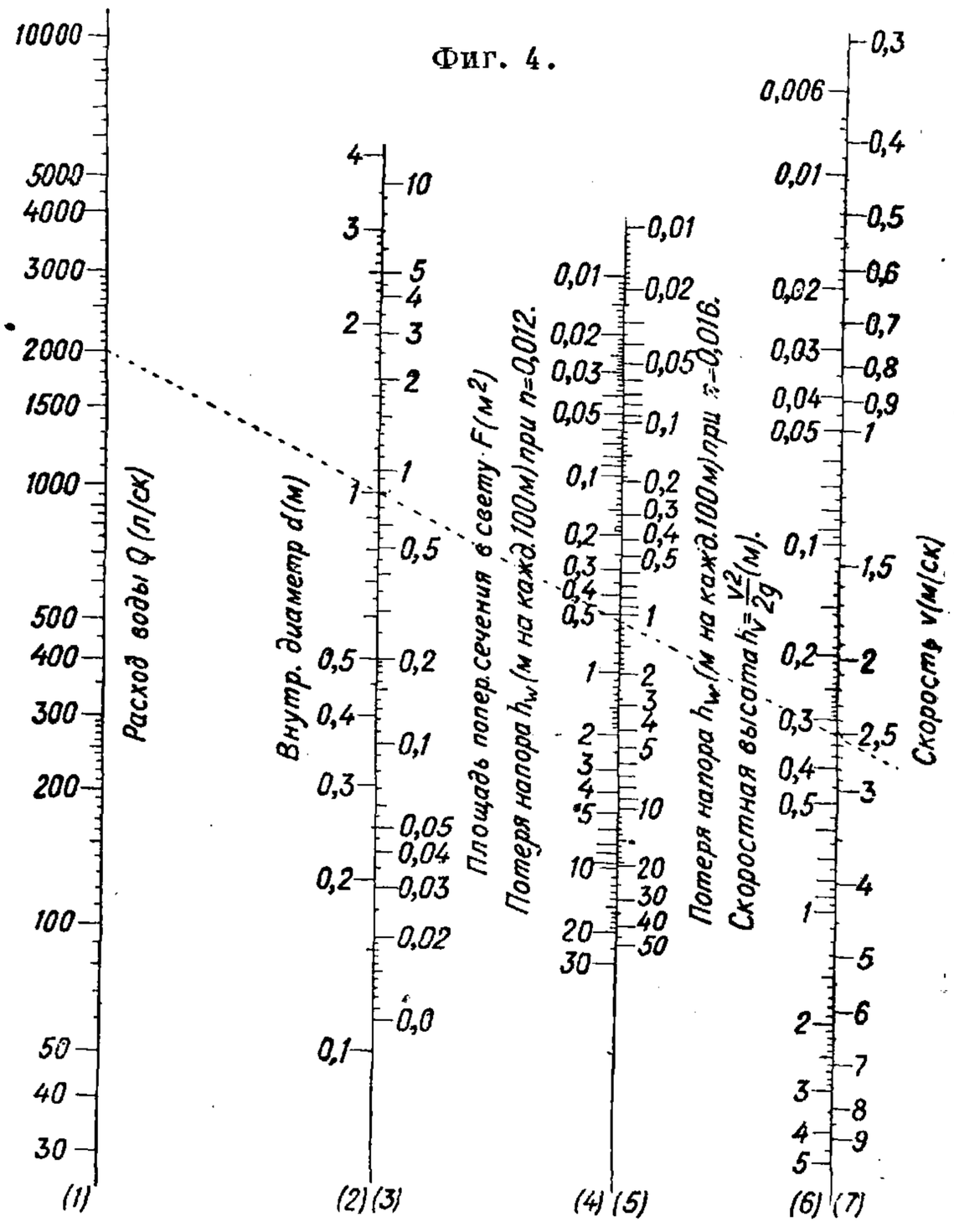
d, мм	40	50	75	100	125
K, л/ск	4,87	8,81	26,1	56,3	101,5
d, мм	150	200	250	300	350
K, л/ск	155,0	355,0	644	1,047·10³	1,580·10³
d, мм	400	450	500	600	700
K, л/ск	2,256·10³	3,089·10³	4,031·10³	6,652·10³	10,03·10³
d, мм	800	900	1 000	1 200	
K, л/ск	14,3·10³	19,6·10³	26,0·10³	42,0·10³	

Кроме приведенных выше ф-л для определения коэф-та c в 1923 г. была предложена Форхгеймером следующая показательная ф-ла:

$$c = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{1}{5}} = \frac{1}{n} \cdot R^{0,2}. \quad (44)$$

Для предварительных расчетов Т. могут быть применены логарифмо-графич. таблицы.

Фиг. 4.



На фиг. 4 представлена номограмма для опре-

деления потери напора h_w и скоростной высоты h_v, составленная по сл. ф-ле (на 100 *м* Т.):

$$h_w = 0{,}08264\, Q^2 \left(\frac{24{,}55\, n + 1}{n\sqrt{d} + 49{,}1 n^2} \cdot d^{-\frac{9}{2}} \right) \% \qquad (45)$$

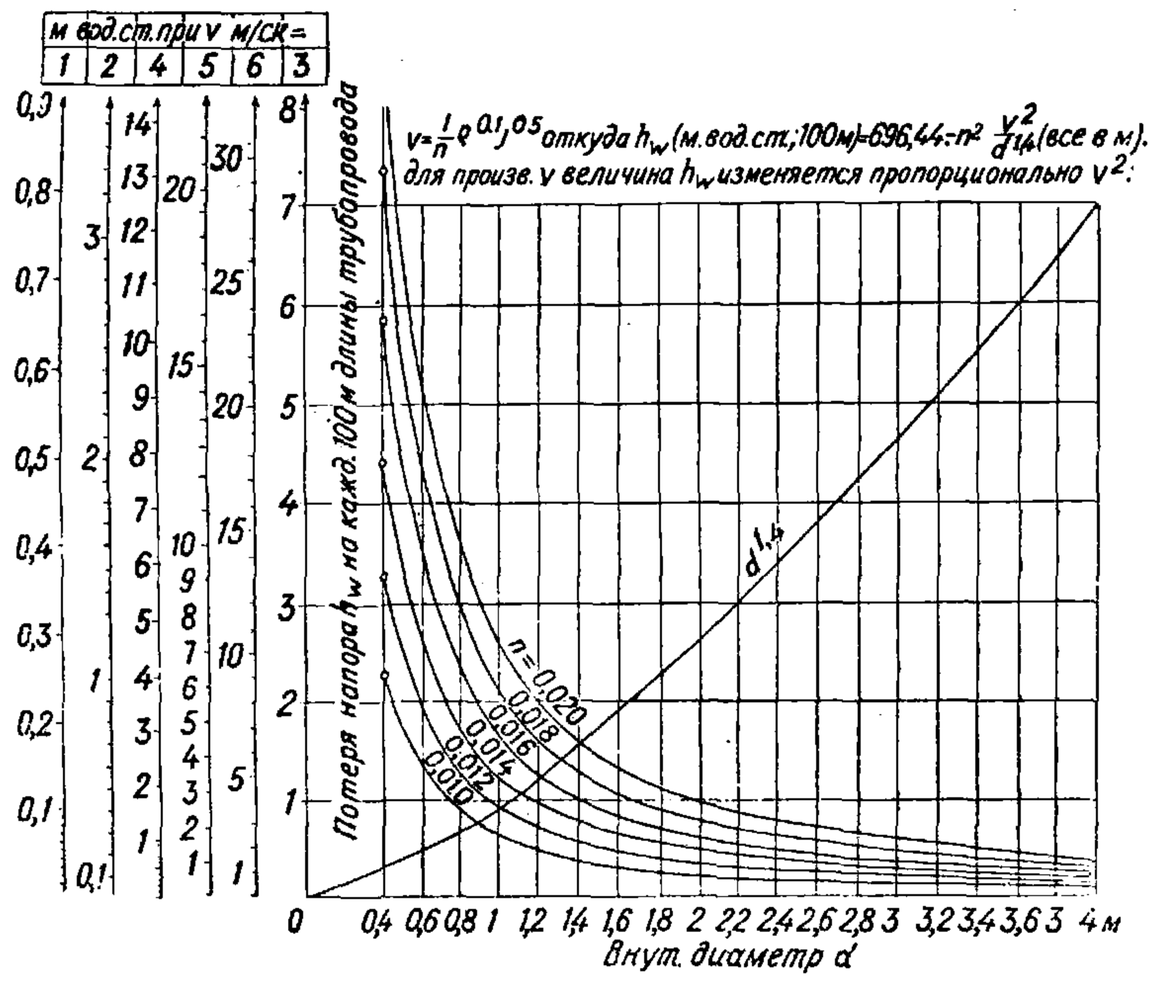
при $n = 0{,}012$ и $n = 0{,}016$.

Прямая, соединяющая величину Q (шкала *1*) с величиной d (шкала *2*) или F (шкала *3*), пересекает по продолжению величины h_w (шкалы *4* и *5*), h_v (шкала *6*) и v (шкала *7*).

По Форхгеймеру (Ph. Forchheimer)

$$h_w = 6{,}9644\, n^2 \frac{l v^2}{d^{1{,}4}}, \qquad (46)$$

где коэф. n равен: для стального Т. 0,013—0,015, для деревянного 0,011—0,012, для бетонного (цементонго)—0,0135. На фиг. 5 пред-



Фиг. 5.

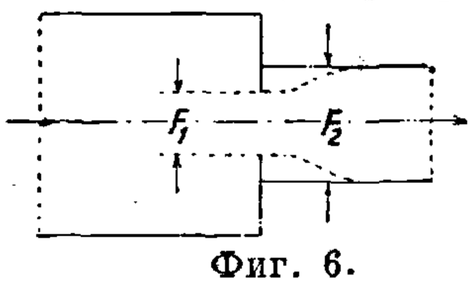
ставлен график, составленный по ф-ле (46) для определения величины h_w на каждые 100 *м* Т. Потери на местные сопротивления оцениваются величиной

$$h_0 = \Sigma\zeta \frac{v^2}{2g}, \qquad (47)$$

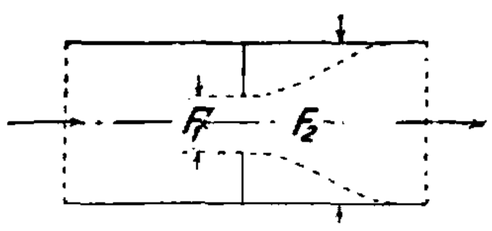
где коэф. сопротивления ζ имеет следующие значения. а) При входе жидкости в Т. коэф. сопротивления $\zeta_в = 0{,}5 \div 0{,}1$. б) При поворотах коэф. сопротивления по Вейсбаху

$$\zeta_n = \frac{\alpha}{90} \left[0{,}13 + 0{,}16 \left(\frac{d}{\varrho} \right)^{3{,}5} \right], \qquad (48)$$

где α—угол отклонения потока, а ϱ—радиус кривизны. в) При расположении в Т. дроссель-



Фиг. 6.



Фиг. 7.

ных дисков (фиг. 6 и 7) происходит потеря напора вследствие последовательного сужения и расширения струи воды, причем коэф. сопротивления:

$$\zeta_g = \left(\frac{F_2}{a_1 F_1} - 1 \right)^2, \qquad (49)$$

где

$$a_1 = 0{,}63 + 0{,}37 \left(\frac{F_1}{F_2} \right)^3. \qquad (50)$$

г) Если вход в трубу закрыт сетчатой коробкой, то коэф. сопротивления будет равен 1, причем скорость в ф-ле (47) м. б. взята равной (по Эшеру)

$$v_s = \frac{3}{2} \frac{Q}{F_s}, \qquad (51)$$

где Q—расход воды, F_s—сумма площадей всех отверстий сетки. д) При ответвлениях происходит потеря напора, которая по Мелье и Женийсу (Maillet et Genieys) м. б. приближенно оценена коэф-том сопротивления $\zeta_o = 2$, причем скорость в ф-ле (47) представляет собою в данном случае скорость течения воды в ответвленном Т. е) При расположении на Т. арматуры в виде разной системы задвижек, клапанов, кранов, вентилей коэфициент сопротивления ζ_a варьирует в широких пределах в зависимости от конструкции затворов и от большего или меньшего закрытия, напр. при открытом затворе $\zeta_a = 0{,}05$ и более. ж) При выходе воды из Т. в широкий сосуд (резервуар) ζ_o м. б. взят равным 0,1.

Расчет параллельных водоподающих Т., заменяющих один. Если по расчету размеры одного водовода превысят нормальные размеры, то м. б. по конструктивным и транспортным причинам более выгодным заменить один водовод несколькими параллельными для пропуска по ним того же количества воды. Бауерсфельд (W. Bauersfeld) доказал, что при замене одного Т. на n параллельных вес и потеря напора от трения увеличиваются в $\sqrt[7]{n}$ раз, напр. при $n = 2$—в $\sqrt[7]{2} = 1{,}104$ раза. Поэтому проложение нескольких Т. вместо одного может оказаться выгодным лишь в том случае, если убыточность от большего веса Т. и большей потери напора от трения компенсируется меньшими расходами по изготовлению и транспорту труб. При этом следует иметь в виду, что расположение нескольких параллельных магистралей взамен одной обеспечивает непрерывность подачи воды в сеть на случай порчи одной магистрали. Располагая n водопроводных линий вместо одной с пропуском воды по каждой в $\frac{1}{n}$ часть всего расхода, получим внутренний диаметр каждой водопроводной линии равным

$$d_n = d \sqrt[5]{\left(\frac{1}{n} \right)^2}, \qquad (52)$$

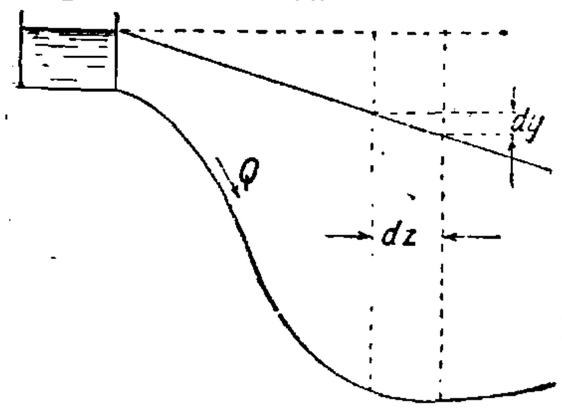
где d — диаметр одного водовода, пропускающего то же количество воды, что и n водоводов. Следовательно для $n = 2$ диам. $d_n = 0{,}75 d$, для $n = 3$ диам. $d_n = 0{,}64\, d$. Прокладывая несколько параллельных водопроводных линий взамен одной, следует таковые располагать в достаточном расстоянии друг от друга во избежание подмыва соседнего трубопровода при разрыве одной линии.

Определение напорной линии. Если на закрытом, находящемся под давлением Т. предположить установленным ряд вертикальных (пьезометрических) трубок, то вода в таковых в зависимости от существующего в данном месте гидравлич. давления займет положение, по которому (соединением отдельных положений воды в пьезометрических трубках) можно определить напорную линию. Последняя будет относиться к определенным (в каждом отдельном случае) значениям Q, d, i, v, причем падение линии давления или относительная (на единицу длины) потеря напора выразится ур-ием (фиг. 8):

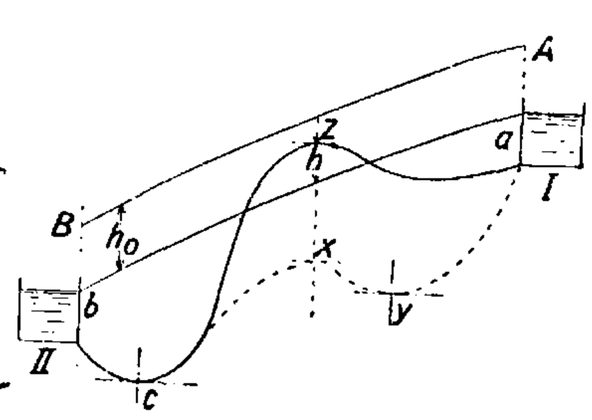
$$i = \frac{dy}{dz} = 1 : \frac{dz}{dy}. \qquad (53)$$

Если вместо открытых (пьезометрических) трубок взять закрытые сверху трубки (как у барометра), то при построении (по положению

воды в них) напорной линии AB получим таковую расположенной параллельно первой ab (фиг. 9) и выше ее соответственно



Фиг. 8.

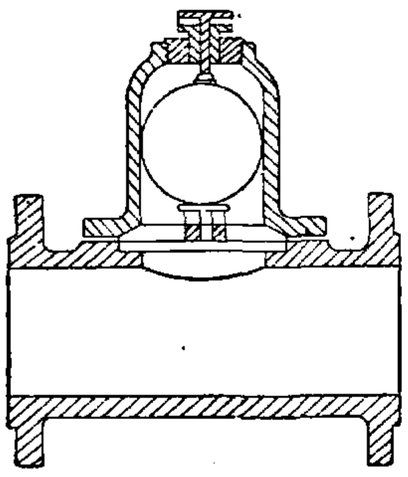


Фиг. 9.

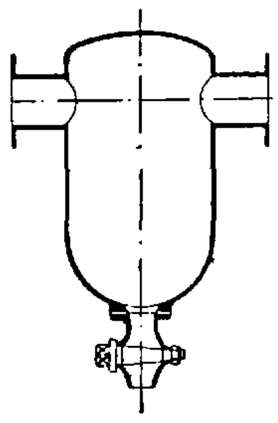
атмосферному давлению p_0 на величину высоты напора воды:

$$h_0 = \frac{p_0}{\gamma} = \frac{10\,333}{1\,000} = 10{,}333 \ м, \qquad (54)$$

где γ—уд. в. воды. По расположению обеих параллельных напорных линий можно судить о том положении, к-рое нужно придать Т. в продольном профиле. Если p есть давление (напор) в определенном месте водовода, то отдельные ветви его, расположенные между напорными линиями ab и AB, находятся под давлением, меньшим атмосферного ($p<p_0$, но $p>p_0$—всасывающий или сифонный водовод); водопроводные ветви, расположенные ниже напорной линии ab, находятся под давлением, большим атмосферного ($p>p_0$); для водовода, расположенного по линии ab (между резервуарами I и II), давление равно атмосферному ($p=p_0$ — открытые водоводы-каналы). В Т. $azcb$ на участке, лежащем выше напорной линии ab и имеющем в высшей точке z воздушный клапан (вантуз) для выпуска накопляющегося там воздуха, вода (рассматривая вопрос теоретически) будет течь до тех пор, пока $h < 10{,}33$ $м$. Практически вследствие потери напора от трения величина h не превышает 8,0÷8,5 $м$, при проектировании же ограничиваются выбором этой величины от 5,5 до 6,0 $м$. Т. $ayxcb$ (фиг. 9), расположенный ниже напорной линии ab, может занимать с теоретич. точки зрения произвольное положение в продольном профиле, с практической же точки зрения необходимо учитывать все изгибы, устанавливая во всех высших точках (x) перегиба трубопровода воздушные вантузы (фиг. 10),



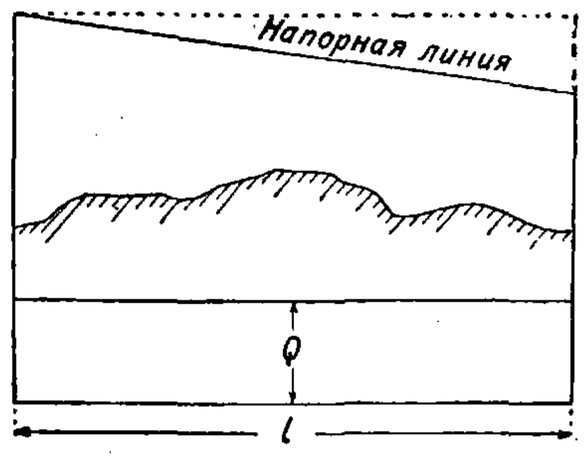
Фиг. 10.



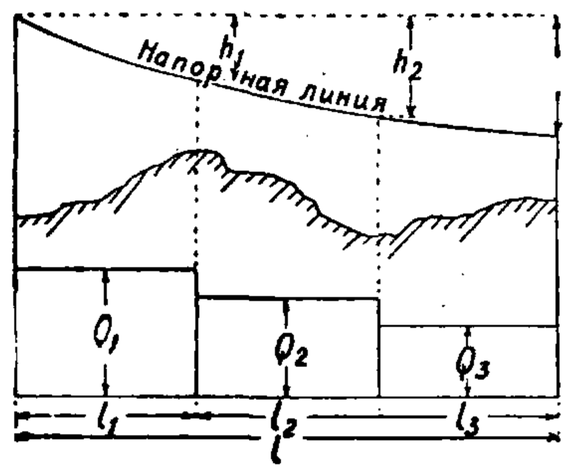
Фиг. 11.

а во всех низших точках (y, c) перегиба Т. (фиг. 9)—спускные приспособления или осадочные вантузы (фиг. 11).

Т. с естественным напором (гравитационные водоводы) д. б. так рассчитан, чтобы была вполне обеспечена подача воды на определенное число лет во все пункты потребления при наименьших капитальных затратах. При водопроводах с естественным напором учитывается обыкновенно лишь минимум расходов в отношении самих водоводов. Для определения наивыгоднейших размеров водовода необходимо знать положение экономичной напорной линии, имея в виду, что последняя, как выяснил Маннес (Mannes) в своих исследованиях, отвечает наименьшей стоимости водовода. а) Водовод с одним транзитным расходом воды. Если водовод должен пропускать определенное количество воды Q без того, чтобы расходовалось что-либо в пути, то напорная линия будет прямая (фиг. 12).



Фиг. 12.

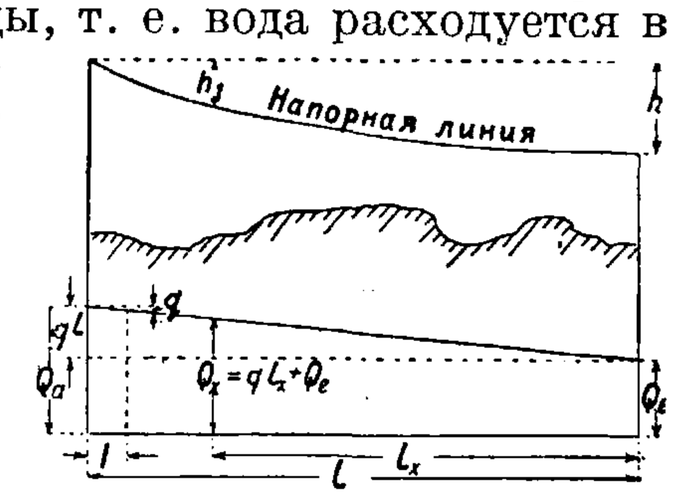


Фиг. 13.

Диаметр м. б. определен по модулю расхода K, вычисляемому по ф-ле:

$$K = \frac{Q}{\sqrt{i}}, \qquad (55)$$

где $i=\frac{h}{l}$. б) Водовод с различным транзитным расходом воды на участках. Если водовод состоит из отдельных неравных участков, пропускающих разное количество воды, т. е. вода расходуется в конце каждого участка, то напорная линия (фиг. 13) представит собою изогнутую вниз кривую. Для определения ее положения необходимо вычислить потери напора h_1, h_2, h_3, ..., h_n, характеризующие эту кривую. в) Водовод с транзитным и путевым расходами воды. Если водовод расходует воду равномерно по пути с отдачей воды в конце, то напорная линия будет, как и в предыдущем случае, изогнутая вниз кривая (фиг. 14).



Фиг. 14.

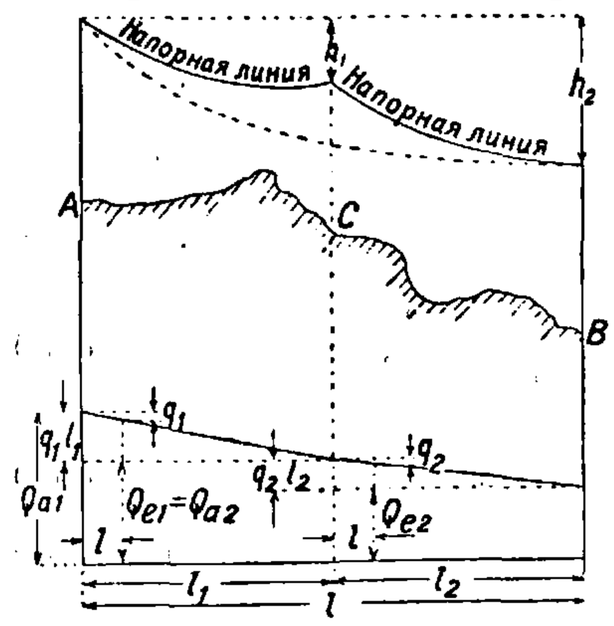
Для определения потери напора в Т. можно воспользоваться также ф-лой:

$$h_w = \frac{l}{K^2} \cdot \frac{(ql)^2}{3} \qquad (56)$$

или более упрощенной ф-лой:

$$h_w = \frac{l}{K^2} \cdot \left(\frac{Q_a + Q_e}{2}\right)^2, \qquad (57)$$

где q—расход воды, приходящейся на единицу пути, Q_a — количество воды, поступающее в начале рассматриваемого водовода (общий расход воды), Q_e—транзитный расход воды. г) Для водоводов с различным транзитным и путевым расходами воды на участках напорная линия рассматривается для каждого участка отдельно, причем в каждом участке она изобразится изогнутой вниз кривой (фиг. 15). По отношению к крайним пунктам



Фиг. 15.

A и B экономичная напорная линия изобразилась бы пунктирной линией, но, рассчитывая водовод по этой наивыгоднейшей напорной линии, мы не получили бы достаточного напора в точке C. Потерю напора определяют поэтому последовательно для каждого участка по формуле:

$$h_n = \frac{3C}{4q_n}\left(Q_{an}\sqrt[3]{Q_{an}} - Q_{en}\sqrt[3]{Q_{en}}\right) + h_{n-1}, \quad (58)$$

где Q_{an}—количество воды, протекающее в начале n-го участка, в *л/ск* (общий расход воды n-го участка), Q_{en}—количество воды, протекающее в конце n-го участка, в *л/ск* (транзитный расход n-го участка), q_n—расход воды на единицу длины (1 *п. м*) n-го участка в *л/ск*, C—коэф., равный

$$C = \frac{h}{\sum\sqrt[3]{Q_{kn}\cdot l_n} + \left[\frac{3}{4q_n}\sum\left(Q_{an}\sqrt[3]{Q_{an}} - Q_{en}\sqrt[3]{Q_{en}}\right)\right]}; \quad (59)$$

Q_{kn}—равномерный расход воды на n-м участке в *л/ск* (путевой расход воды на n-м участке), l_n—длина n-го участка.

Т. с искусственным напором. При определении диам. нагнетательных Т. следует в каждом отдельном случае исходить из условий, чтобы затраты на сооружение Т. и на машинное оборудование станции, с одной стороны, и капитализированные эксплоатационные расходы, с другой,—были в общей сумме минимальными. Этому наивыгоднейшему диам. Т. отвечает наивыгоднейшая скорость движения воды. Для выбора экономически выгодного ⌀ нагнетательного Т. надо соблюсти условие, чтобы годовые расходы на оплату процентов на затраченный капитал, на погашение его и эксплоатационные расходы (обслуживание и содержание Т. и части машин, необходимых для преодоления сопротивления движению воды в трубах) были наименьшие. На основании этих данных наивыгоднейший диам. Т. определится из ф-лы, выведенной автором статьи в 1929 г.

$$d = \sqrt[7]{\frac{320\ Q^3 k_m \sigma_z \left(p_m + \frac{4000}{3\eta}\ t\cdot k_b\right)}{\pi^3 c^2 p_r \cdot k_r \cdot \gamma \cdot p}}, \quad (60)$$

где Q—средний годовой расход воды в $м^3/ск$, k_m—стоимость машин за 1 секундо-метротонну произведенной работы, k_r—стоимость 1 m труб, включая и все расходы по их прокладке, k_b—стоимость одного сило-часа работы машин, p_m—проценты на затраченный капитал, на погашение его и на содержание части машин, необходимых для преодоления сопротивления движению воды в трубах, p_r—то же касательно самого Т., η—кпд насосов, t—число часов работы машин и насосов в течение года, γ—вес 1 $м^3$ труб в m, p—избыточное давление воды в Т. в atm, c—коэф. Шези, σ_z—допускаемое напряжение материала стенки Т. в $кг/см^2$. Подставляя в ф-лу (60) известные величины, мы можем зависимость между d и Q выразить упрощенной ф-лой:

$$d \cong 1{,}2\ Q^{0{,}43}; \quad (61)$$

ф-ла эта применима для предварительных приближенных расчетов. В 1931 г. Дальгауз (Dahlhaus) дал приближенную ф-лу, близкую по результату к ф-ле (61). Ф-ла Дальгауза имеет вид:

$$d = 1{,}26\sqrt{Q}. \quad (62)$$

Последняя ф-ла, но с коэф-том 1,5 и 1,6 была дана раньше Вейраухом (K. Weyrauch), однако по ней по мнению Дальгауза для Т. больших размеров получались излишне большие диаметры. Наивыгоднейшая скорость движения воды в нагнетательном Т. может быть определена по ф-ле Форхгеймера:

$$v = \frac{4}{\pi}\sqrt[3]{\frac{3\eta}{200\ c}}\cdot\sqrt[3]{\frac{k}{a + \frac{36\,500\ bt}{p}}}, \quad (63)$$

где η—кпд насосов, c—коэф. трения, k—стоимость 1 *п. м* Т. диаметром $d = 1$ *м*, a—стоимость 1 HP двигателя, b—эксплоатационные расходы на 1 HP в час, t—число часов работы насосов в течение суток, p—размер процентов. По другой ф-ле Форхгеймера

$$v = \frac{0{,}5}{\sqrt[5]{\beta}} \div \frac{0{,}6}{\sqrt[5]{\beta}}, \quad (64)$$

где β—частное от деления числа годовых часов действительной работы машин на число часов в году 365×24.

Напорные Т. силовых установок. Для определения наивыгоднейшего диаметра d стального напорного Т. Бауерсфельд (W. Bauersfeld) и Лудин (A. Ludin) дали следующие ф-лы:

$$d = \sqrt[7]{\frac{101{,}3\eta_1\eta_2\eta_3\sigma w_1(t_1Q_1^3 + t_2Q_2^3 + \ldots)}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)\gamma k^2 H w_2}}; \quad (65)$$

для верхнего участка напорного Т. с наименьшей толщиной δ_0 его стенок

$$d = \sqrt[7]{\frac{101{,}3\eta_1\eta_2 w_1(t_1Q_1^3 + t_2Q_2^3 + \ldots)}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)\gamma k^2 \delta_0 w_2}}. \quad (66)$$

Принимая $\eta_1 = 0{,}82$, $\eta_2 = 0{,}92$, $\eta_3 = 0{,}85$, $p = 10$, $\gamma = 7{,}8$ и $(t_1Q_1^3 + t_2Q_2^3 + \ldots) = tQ'^3$, можно ф-лы (65) и (66) представить в более упрощенном виде для приближенных расчетов по ним. Наивыгоднейший диам. d стального Т. будет тогда равен

$$d = \sqrt[7]{\frac{7{,}57\ \sigma w_1 t Q'^3}{c^2 H w_2}}; \quad (67)$$

для верхнего участка Т. с наименьшей толщиной δ_0 его стенок

$$d = \sqrt[7]{\frac{8{,}907 w_1 t Q'^3}{c^2 \delta_0 w_2}}; \quad (68)$$

для промежуточных частей Т. (для определения увеличения диам. труб водопроводной линии снизу вверх)

$$d_x = \sqrt[7]{\frac{H}{H_x}}\cdot d. \quad (69)$$

В ф-лах (65—69) означает: d—внутренний диам. в *м*; η_1—кпд турбины, обыкновенно равный 0,82; η_2 — кпд генератора, обычно равный 0,92; η_3—коэф. надежности шва (0,70—0,90); σ—допускаемое напряжение материала Т. в $m/м^2$; t_1, t_2—число часов работы машин при расходе $Q_1, Q_2, \ldots$; t—число часов работы всех машин в течение года; p—процентная прибавка к весу труб для учета веса фланцев, муфт, компенсационных частей и пр. (обыкновенно $p \cong 10\%$); γ—уд. в. материала Т. (обыкновенно $\gamma = 7{,}8$); Q_1, Q_2, ...—расход воды в $м^3/ск$; Q'—средний расход воды в $м^3/ск$, к-рый берется несколько бо́льшим среднего годового расхода воды; c—коэф. Шези; H—общая высота напора в *м* вод. ст. у нижнего конца Т.; w_1—средняя стоимость 1 kWh у зажимов генератора; w_2—годовая стоимость 1 m стали в деле, включая расходы по отрывке рвов, монтажу, доставке и пр.; δ_0—наименьшая толщина стенок труб в *м*; d_x—

внутренний диам. труб в произвольном месте Т. в *м*; H_x—общая высота напора в *м* вод. ст. в произвольном месте Т. Величина w_1 получается от деления годовых расходов на число годовых kWh, причем годовые расходы складываются из затрат на оплату процентов, амортизацию капитала и т. д. по израсходованным суммам на устройство водоема, сооружение Т., машинное здание и его оборудование, исключая трансформаторы и устройства по распределению тока. Величина w_2 определится, если годовые расходы по Т. разделить на полный вес последнего; годовые расходы в данном случае состоят из затрат на оплату процентов, амортизацию капитала и т. д. по израсходованным суммам на сооружение Т., включая все расходы, связанные с постройкой его. Т. к. коэф. Шези c зависит от диам. d, то принимают c для определенного d, и в случае несовпадения d с расчетным повторяют расчет с новым принятым c и т. д. То же относится и к высоте напора H, имея в виду, что динамич. повышение напора также зависит от d. Диам. напорного Т. силовых установок имеет вверху линии наибольшие размеры, книзу линии диам. Т. уменьшается, наоборот,—толщина стенок труб сверху вниз увеличивается (обыкновенно при стальных Т. последовательно на 1 *мм*). Бетонные опоры напорных Т. силовых установок д. б. рассчитаны на растяжение, сжатие, сдвиг по общим правилам строительной механики, учитывая при этом все действующие силы. Для лучшей передачи давления на опоры к трубам прикрепляют кольца из уголковой стали (не менее двух колец). По Бундшу (F. Bundschu) наивыгоднейший диам. стального Т. может быть определен по упрощенным ф-лам:
а) турбинная силовая установка:

$$d = \sqrt[7]{\frac{60\,570\,w_1 t Q^3}{c^2 H w_2}};$$

б) насосная установка:

$$d = \sqrt[7]{\frac{111\,500\,w_3 t_p Q_p^3}{c^2 H w_2}}; \qquad (70)$$

в) турбинно-насосная установка:

$$d = \sqrt[7]{\frac{60\,570\,(w_1 t Q^3 + 1{,}81\,w_3 t_p Q_p^3)}{c^2 H w_2}},$$

где w_3—стоимость 1 kWh на зажимах мотора (насосный ток), Q_p—среднее количество воды, подаваемое насосами, в $м^3/сек$, t—число часов работы турбин в течение года, t_p—число часов работы насосов в течение года, остальные величины,—как выше.

Расчет кольцевой водопроводной сети труб. В кольцевой сети приток воды ко всякому пункту потребления может быть с двух сторон, что обеспечивает снабжение водою потребителей. Пусть магистраль, идущая от напорного резервуара (фиг. 16) до кольцевого узла *1*, имеет длину $l_0 + l_1$ и диам. d_1; на участке *0—1* этой магистрали расходуется вода в количестве Q_1, в то время как другая часть воды в количестве P_1 протекает по всей длине l_1 и распределяется по разветвляющимся от узла *1* кольцевым линиям соответственно их диам. d и относительным потерям напора $i = \frac{h}{l}$. Обозначим для кольцевой линии *1—2*: расход воды Q_{12}, протекающее количество воды P_{12}, длину l_{12}, диам. d_{12}, потерю напора h_{12} и т. д.; соответственно этому д. б. обозначены величины других кольцевых линий; от узлов *2* и *3* идут ответвления *2—2'* и *3—3'* с расходом воды q_{v2} и q_{v3}; полная потеря напора на концах этих ответвлений равна Δ_2 и Δ_3. Для наивыгоднейшей с экономической точки зрения комбинации размеров рассматриваемой кольцевой сети потери напора δ_1, δ_2, δ_3,... в кольцевых узлах *1*, *2*, *3*,... д. б. так подобраны, чтобы стоимость устройства A этой сети была наименьшей. Если, как выше, стоимость 1 m проложенных труб равна k_r, то величина A будет равна:

$$A = \pi\gamma k_r [d_1 (l_0 + l_1) s_1 + d_{12} l_{12} s_{12} + d_{13} l_{13} s_{13} + d_{23} l_{23} s_{23}] \text{ (магистраль и кольцевая сеть)} + \pi\gamma k_r (\Sigma\, d_{2n} l_{2n} s_{2n} + \Sigma\, d_{3n} l_{3n} s_{3n}) \text{ (ответвления)}.$$

Если в ур-ии $h = \varepsilon l (p + aQ)^2 d^{-5}$ взять для краткости $p + aQ = q$, то получим соответственно:

$$\left.\begin{aligned} \delta_1 &= \varepsilon d_1^{-5} [l_0 (p_1 + Q_1)^2 + l_1 q_1^2], \\ h_{12} &= \delta_2 - \delta_1 = \varepsilon d_{12}^{-5} l_{12} q_{12}^2, \\ h_{13} &= \delta_3 - \delta_1 = \varepsilon d_{13}^{-5} l_{13} q_{13}^2, \\ h_{23} &= \delta_3 - \delta_2 = \varepsilon d_{23}^{-5} l_{23} q_{23}^2. \end{aligned}\right\} \qquad (71)$$

Для ответвления *2* с расходом воды q_{v2} наивыгоднейший диам. будет равен

$$d_{2n} = \left(\frac{\varepsilon M}{\Delta_2 - \delta_2}\right)^{1/5} \cdot \frac{q_{2n}^{1/3}}{(\mu_2 \mu_3 \dots \mu_n)^{1/6}}. \qquad (72)$$

В ур-ии для A величины δ_1, δ_2, δ_3, ... будут переменные, поэтому при $\frac{\partial A}{\partial \delta_1} = 0$, $\frac{\partial A}{\partial \delta_2} = 0$ и т. д. получится наиболее экономичное решение. Ур-ие напора в узле *1* будет

$$D_{b1} = D_{12} + D_{13}, \qquad (73)$$

где

$$D_{b1} = \delta_1^{-6/5} (l_0 + l_1) [l_1 (p_1 + Q_1)^2 + l_1 q_1^2]^{1/5} \qquad (74)$$

(напор в магистрали),

$$D_{12} = (\delta_2 - \delta_1)^{-6/5} l_{12}^{-6/5} q_{12}^{2/5} \qquad (74a)$$

(напор в кольцевой линии *1—2*). Также напишется ур-ие напора для кольцевой линии *1—3*. Ур-ие напора в узле *2* будет

$$D_{12} = D_{23} + D_{v2}, \qquad (75)$$

где

$$D_{v2} = (\Delta_2 - \delta_2)^{-6/5} M_{v2}^{1/5} N_{v2}, \qquad (75a)$$

$$M_{v2} = l_{21} q_{21}^{1/3} + l_{22} q_{22}^{1/3} \mu_{22}^{5/6} + l_{23} q_{23}^{1/3} (\mu_{22}\mu_{23})^{5/6} + \dots + l_{2z} q_{2z}^{1/3} (\mu_{22}\mu_{23} \dots \mu_{2z})^{5/6}, \qquad (75б)$$

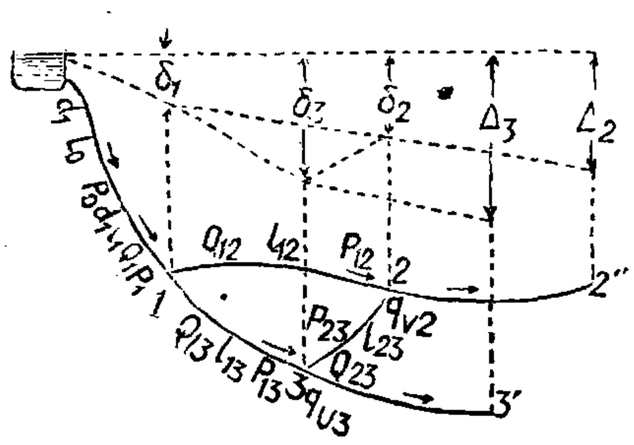
$$N_{v2} = l_{21} p_{21}^{1/3} + l_{22} q_{22}^{1/3} \mu_{22}^{-1/6} + \dots + l_{2z} q_{2z}^{1/3} (\mu_{22}\mu_{23} \dots \mu_{2z})^{-1/6}. \qquad (75в)$$

Ур-ие напора в узле *3* будет

$$D_{23} = D_{12} + D_{v3}. \qquad (76)$$

Решая эти ур-ия узлового напора и прибегая к приближенному способу нахождения искомых величин δ_1, δ_2, δ_3, получим три ур-ия (77):

$$\left.\begin{aligned} \delta_1 \left(\lambda\mu + \frac{1+\lambda}{W_{v2}^{5/6}}\right) &= \frac{\Delta_2}{W_{v2}^{5/6}}, \\ \delta_2 &= \left(\mu\delta_1 + \frac{\Delta_2}{W_{v2}^{5/6}}\right) : \left(\mu + \frac{1}{W_{v2}^{5/6}}\right), \\ \delta_3 &= \delta_1 + \varphi_{31} (\delta_2 - \delta_1). \end{aligned}\right\} \qquad (77)$$



Фиг. 16.

В этих ур-иях означает:

$$\left.\begin{aligned}
\lambda &= \left[\left(W_{12}+\frac{W_{13}}{\varphi_{31}^{6/5}}\right):W_{01}\right]^{5/6},\\
\mu &= 1:\left[W_{12}-\frac{W_{23}}{(\varphi_{31}-1)^{6/5}}\right]^{5/6},\\
W_{01} &= (l_0+l_1)\,[l_0(p_1+Q_1)^2+l_1q_1^2],\\
W_{12} &= l_{12}^{6/5}q_{12}^{2/5},\\
W_{13} &= l_{13}^{6/5}q_{13}^{2/5},\\
W_{23} &= l_{23}^{6/5}q_{23}^{2/5},\\
W_{v2} &= M_{v2}^{1/5}N_{v2},\\
W_{v3} &= M_{v3}^{1/5}N_{v3},
\end{aligned}\right\} \quad (77a)$$

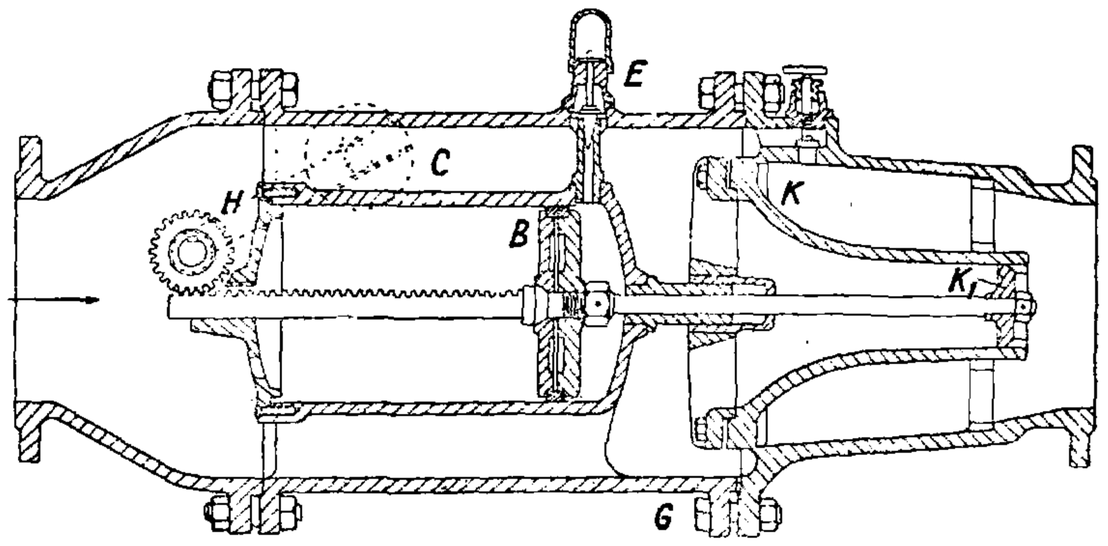
φ_{31}—коэфициент, определяемый приближенно по напорным линиям. Найденные величины δ_1, δ_2, δ_3 подставляют в ур-ие узлового напора, составленное для узла 3, причем должно получиться тождество, в противном случае решение повторяют с новым φ_{31} до получения удовлетворительного результата. Зная величины δ, определяют по ур-ию напора в отдельных водопроводных линиях наивыгоднейший диаметр труб. Ур-ия узлового расхода воды напишутся для рассматриваемого случая сл. обр.:

$$\left.\begin{aligned}
&\text{для узла } 1\\
&\qquad p_1 = p_{12}+Q_{12}+p_{13}+Q_{13},\\
&\text{для узла } 2\\
&\qquad p_{12} = q_{v2}+p_{23}+Q_{23},\\
&\text{для узла } 3\\
&\qquad p_{23}+p_{13} = q_{v3}.
\end{aligned}\right\} \quad (78)$$

При распределении наивыгоднейшим образом определенных количеств воды (величин p) по линиям кольцевой сети следует направлять (при расчете) транзитное количество воды только по одной линии, останавливаясь в конечном результате на той, которая окажется наикратчайшей и большего диаметра.

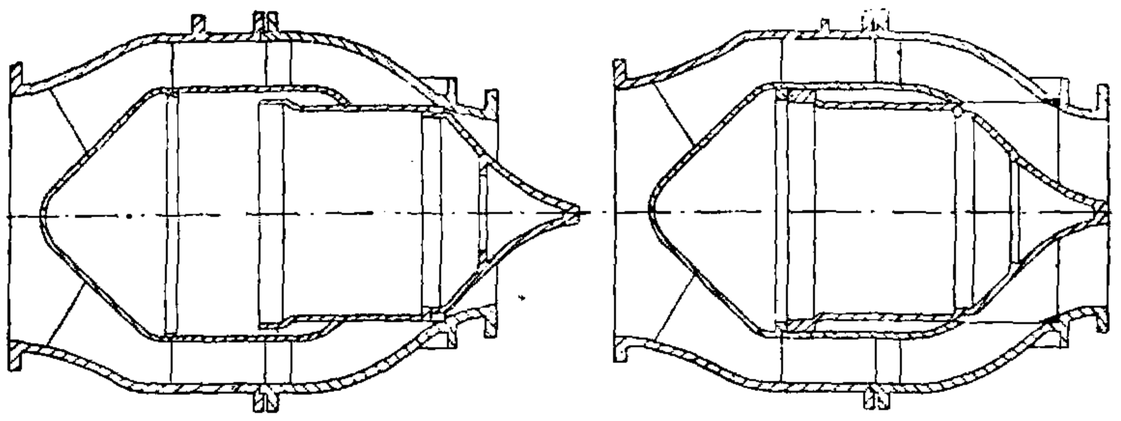
Принципы начертания сети. В общем следует придерживаться следующих принципов начертания сети труб: а) высота подъема воды из источников в бак (резервуар) д. б. возможно меньшей, т. к. всякое увеличение ее вызывает постоянные излишние затраты на топливо и требует более сильных машин; б) распределение давлений в сети д. б. по возможности равномерным; в) начертание всей сети должно отвечать наименьшей стоимости ее устройства и эксплоатации; г) в случаях повреждения одной из главных линий в каком-либо пункте ее водоснабжение сети не должно расстраиваться сколько-нибудь заметным образом. Условия первое и второе определяют место водонапорной башни, располагаемой обыкновенно возможно ближе к центру потребления воды. Второе, третье и четвертое из перечисленных условий влияют вместе на начертание самой сети труб, делаемой возможно более сомкнутой во всех своих частях для обеспечения питания каждого отдельного пункта водоснабжения. Условия наименьшей стоимости и равномерности давлений в сети приводят к следующим требованиям: 1) магистрали следует проводить по участкам наибольшего потребления воды и по наиболее возвышенным частям населенного места; 2) магистрали, а за ними и линии первого порядка следует вести по возможности по уклону вниз.

Арматура трубопроводов. Арматурой служат: *задвижки* (см.), *вентили* (см.), *клапаны* (см.), вантузы, компенсаторы (см. *Трубы специальные*), *гидранты* (см.), *водоразборные краны* (см.), *водомеры* (см.) и пр. Воздушные вантузы (фиг. 10) устанавливаются в повышенных точках Т. для обеспечения правильного удаления из них скапливающегося в этих точках воздуха, увеличивающего сопротивление движению воды. Вантузы эти устанавливаются в смотровых колодцах. Воздушные клапаны устанавливаются не только в повышенных точках водопровода для удаления скапливающегося здесь воздуха, но и для впуска воздуха в трубы водопроводов больших диаметров, притом длинных, особенно если они уложены с крутыми подъемами



Фиг. 17.

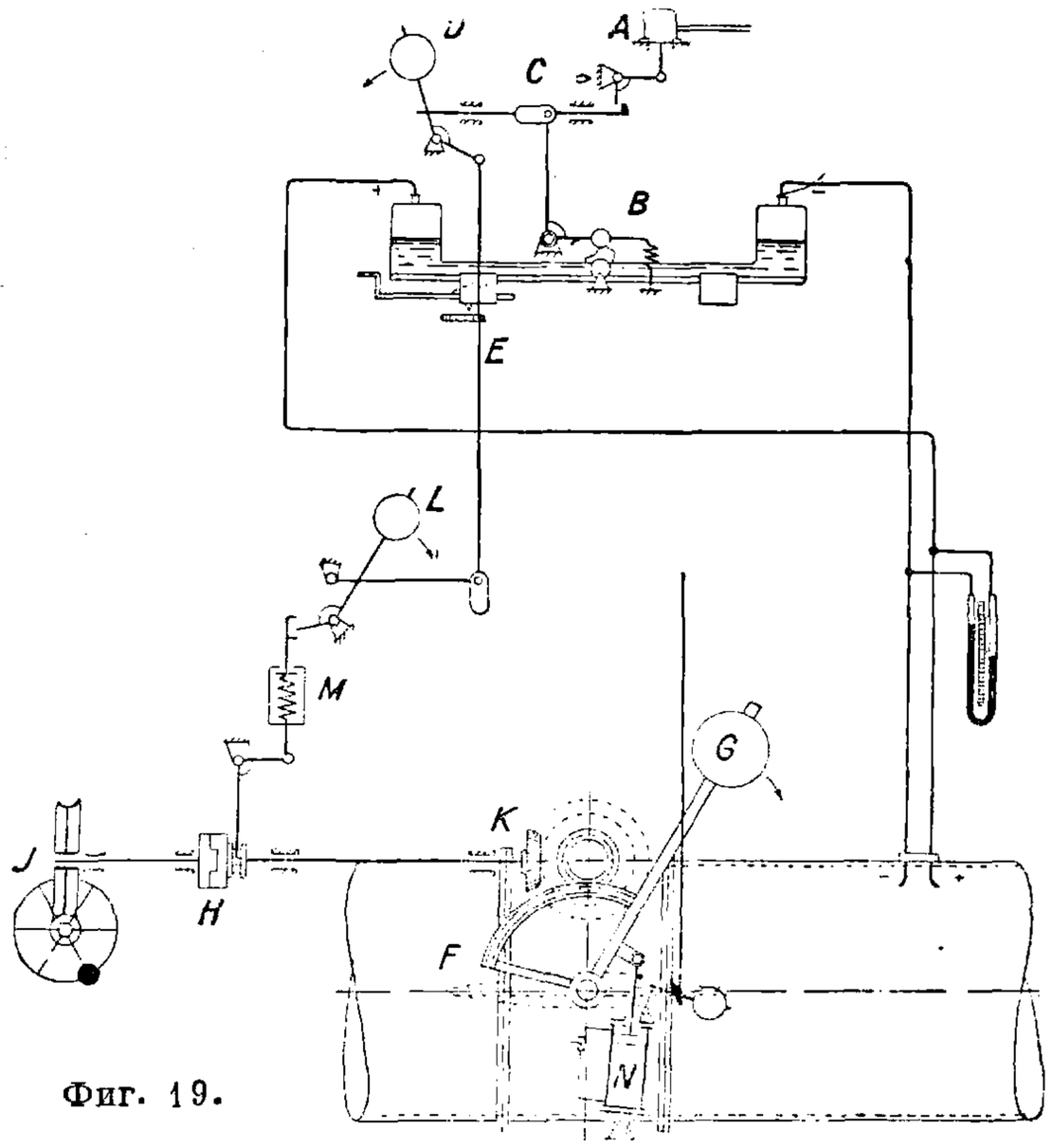
и спусками, чтобы скорым впуском необходимого количества воздуха предупреждать опасности образования вакуумов и гидравлических ударов при опорожнениях труб, влекущих за собой сплющивание тонкостенных стальных Т. или разрыв чугунных и железобетонных Т. Если на сети Т. нет вантузов или их имеется мало, то всякие опорожнения магистралей следует производить очень медленно, соблюдая большую осторожность. Ту же осторожность необходимо соблюдать также при наполнении водопроводных линий. Если в какой-либо части сети необходимо уменьшить давление, не прерывая сеть, то вставляется предохранительный клапан (см. *Клапан*), в котором часть давления воды поглощается упругостью пружины, действующей на клапан; давление пружины м. б. регулировано действием винта. На Т. в пониженных



Фиг. 18.

точках д. б. установлены выпуски для опорожнения участка водопровода от воды на случай ремонта, переустройства водопроводных линий и пр. Такие выпуски необходимы также при промывках и очистках труб. Особенное значение имеют клапаны, запирающие Т. в случае его разрыва. На фиг. 17 показана схема такого клапана конструкции Бопп и Рейтер, состоящего из кожуха G с большим запорным конусом K и с тормозным цилиндром C, к-рый имеет поршень B и штанги, соединенные с нагруженным рычагом H. Кроме того тормозной цилиндр имеет регулирующий вентиль E. В запорном конусе K имеется маленький клапан K_1, предупреждающий появление больших гидравлич. ударов

при остановке движения воды. Скорость закрытия Т. регулируется вентилем *E*. На фиг. 18 представлен запорный клапан сист. Джонсона, получивший широкое распространение за границей, особенно для Т. гидросиловых установок. На фиг. 19 дана схема комбинированного



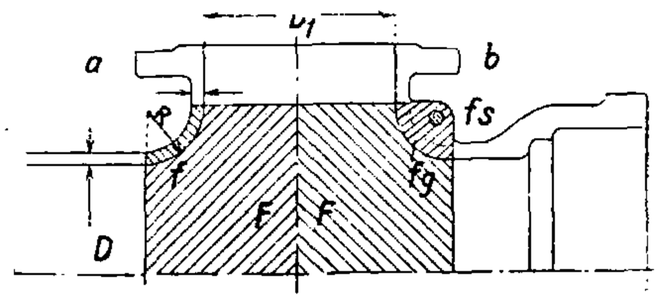
Фиг. 19.

автоматического запорного устройства на случай разрыва Т., состоящего в основном из дроссельного клапана *F* с противовесом *G*, соединенным с масляным тормозом *N* и с зубчатой передачей *K* (передачи на расстояние), для произвольного выключения или включения устройства и сигнального приспособления, причем: *A*—подъемный магнит, *B*—ртутные рычажные весы, *C*—запорное устройство, *D*—противовес, *E*—тяга, *L*—противовес, *M*—пружинный контакт, *H*—сцепление, *J*—червячная передача. Дроссельный клапан закрывается, как только скорость течения воды в Т. превзойдет определенную безопасно-максимальную скорость. Взаимодействие частей устройства ясно из схемы. Взамен масляного тормоза целесообразнее применять глицериновый тормоз, в особенности когда дроссельный клапан устанавливается в неотапливаемом помещении. (См. также *Специальное водоснабжение*.)

Лит.: Бахметьев Б., О равномерном движении жидкости в каналах и трубах, Л., 1931; Брилинг С., Пособие для проектирования и для расчета водопроводных линий и городских сетей, 2 изд., М., 1930; Бринкгауз П., Городская водопроводная сеть труб, М., 1928; Гениев Н., Примеры расчета городских водопроводов, Сеть труб, М., 1929; Лобачев В., Расчет противопожарных водопроводов и пожарных струй, М., 1929; Максименко Ф., Курс гидравлики, М., 1921; Павловский Н., Гидравлический справочник, Л., 1930; Саткевич А., Руководство к проектированию систем водоснабжения, ч. 1, СПБ, 1900; Справочник для инженеров строительной специальности, М., 1928; Bauersfeld W., Die Wirtschaftliche Berechnung der Hochdruckturbinenleitungen, «Z. f. d. gesamte Turbinenwesen», 1907, *28*; Biegeleisen B., Berechnung des wirtschaftlichen Rohrdurchmessers d. Wasserleitungen, Lpz., 1918; Biegeleisen B. u. Bukowski, Grundlagen der Wasserrohrleitungen, München, 1914; Brabée K., Rohrnetzberechnung in der Heiz- u. Lüftungtechnik, 2 Aufl., B., 1918; Bundschu F., Druckrohrleitungen, 2 Aufl., B., 1929; Durand W., Hydraulics of Pipe Lines, N. Y., 1921; Gibson A., Hydraulics a. Its Applications, 2 ed., L., 1920; Hruschka A., Die Berechnung von Druckrohrleitungen, «Ztschr. d. Elektr. Vereins», W., 1922, *46*; Hruschka A., Die Druckrohrleitungen der Wasserkraftwerke, W., 1929; Krischmer O., Untersuchungen über den Gefällsverlust an Rechen, «Mitt. d. Hydr. Inst. d. techn. Hochschule», Mch., 1926, H. 1; Kleinlogel, Rohrleitungen f. hohen Innendruck, «Der Bauingenieur», B., 1920, H. 10; Kreitner H., Druckschwankungen in Turbinenleitungen, «Die Wasserwirtschaft», Wien, 1926, H. 10; Löwy R., Druckschwankungen in Rohrleitungen, Wien, 1928; Ludin A., Die wirtschaftliche Bemessung von Triebwasserleitungen, «Ztschr. f. d. ges. Turbinenwesen», 1914, *13*; Lummert R., Neue Methoden d. Bestimmung der Durchlässigkeit, Braunschweig, 1917; Mannes H., Die Berechnung von Rohrnetzen städtischer Wasserleitungen, Mch., 1912; Mises R., Elemente d. technischen Hydromechanik, Lpz., 1914; Mises R., Berechnung von Ausfluss- u. Ueberflusszahlen, «Z. d. VDI», 1917, B. 61; Pöschl Th., Lehrbuch d. Hydraulik, Berlin, 1924; Bleich Fr. u. Melan J., Taschenbuch f. Ingenieure u. Architekten, Wien, 1926; Förster M., Taschenbuch für Bauingenieure, B., 1928; Schwedler F., Handb. d. Rohrleitungen, Berlin, 1932; «Das Gas- u. Wasserfach», Mch., B.; «Proc. Inst. Civ. Eng.», N. Y.; «Transact. Amer. Soc. Civ. Eng.», N. Y.; «Der Bauingenieur», B.; «Eng. Rec.», N. Y.; «Die Wasserkraft», B.

С. Брилинг.

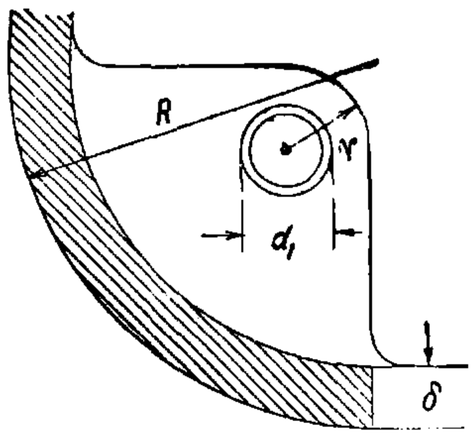
Фасонные части Т. — тройники, крестовины, колена, отводы, переходы, муфты, патрубки, заглушки. а) Тройники и крестовины применяют для присоединения к трубопроводу всякого рода ответвлений, для установки задвижек, пожарного крана, вантуза и пр. Наиболее опасное сечение у тройников и крестовин—горловина (фиг. 20,*a*), к-рая воспринимает давление, изображенное площадью *F*, и испытывает напряжение



Фиг. 20.

$$\sigma_z = \frac{F \cdot p}{f}, \qquad (79)$$

где *p*—давление воды в трубе в *кг/см²*, *f*—площадь сечения горловины в *см²*. Чем меньше радиус закругления горловины, тем меньше сечение *f* (при равной толщине стенок фасонной части) и тем больше следовательно напряжение, испытываемое горловиной. Указанный выше расчет является приближенным, т. к. в действительности давление, начиная от цилиндрич. частей и кончая горловиной, возрастает последовательно. Если нельзя придать горловинам чугунных тройников и крестовин более плавных закруглений, компенсирующих избыточное давление, то утолщают горловины ребристыми выступами или увеличивают толщину их стенки или усиляют горловины с помощью стальных болтов, закрепленных (в нагретом состоянии) в проушинах утолщенных частей горловин. Усиление при помощи ребер трудно поддается расчету вследствие неопределенности распределения сил; кроме того могут получиться нежелательные напряжения чугуна. Если в этих ребрах сделать отверстия для скрепления ребер между собой болтами, то является возможным увеличить прочность горловины в 3—5 раз. Если обозначить через f_g и σ_g соответственно площадь поперечного сечения и допускаемое напряжение чугуна, а через f_s и σ_s соответственно площадь поперечного сечения и допускаемое напряжение стали, то мы можем написать (фиг. 20,*b* и 21):



Фиг. 21.

$$f_g\sigma_g + f_s\sigma_s = F \cdot p. \qquad (80)$$

Так как

$$F = \left[(0{,}5\,D + R)\,(0{,}5\,D_1 + R) - \frac{\pi R^2}{4}\right], \qquad (81)$$

то по ф-ле (80) получим

$$f_g = \left[(0{,}5\,D + R)\,(0{,}5\,D_1 + R) - \frac{\pi R^2}{4}\right]\frac{p}{\sigma_g} - f_s\frac{\sigma_s}{\sigma_g}. \quad (82)$$

Поперечное сечение f_g состоит из площади сечения горловины и площади ребра, что м. б. выражено ур-ием:

$$f_g = \frac{\pi R^2}{4} - \left[\frac{\pi d_1^2}{4} + \left(r^2 - \frac{\pi r^2}{4}\right)\right], \quad (83)$$

откуда

$$R = \sqrt{\frac{4}{\pi}\left\{f_g + \left[\frac{\pi d_1^2}{4} + \left(r^2 - \frac{\pi r^2}{4}\right)\right]\right\}}. \quad (84)$$

При расчете рассматриваемых фасонных частей сначала определяют размеры усиливающих ребра болтов и радиус закругления R. Радиус r определяют по ф-ле

$$r = d + 5 \div 10 \text{ мм}.$$

Толщина стенки горловины м. б. определена по формуле:

$$\delta = \frac{D \cdot p}{2\sigma_z} + C, \quad (85)$$

где σ_z—допускаемое напряжение на растяжение в $кг/см^2$; $C = 7 \div 10$ $мм$—практическая прибавка для чугуна.

Применяются тройники сферической формы, в пользу к-рой приводятся следующие соображения: при отливке исключается возможность образования пустот, получается более плавный переход по сравнению с тройником цилиндрической формы, нижняя часть шара удобна для присоединения трубки к конденсационному горшку при устройстве паропроводов (фиг. 22).

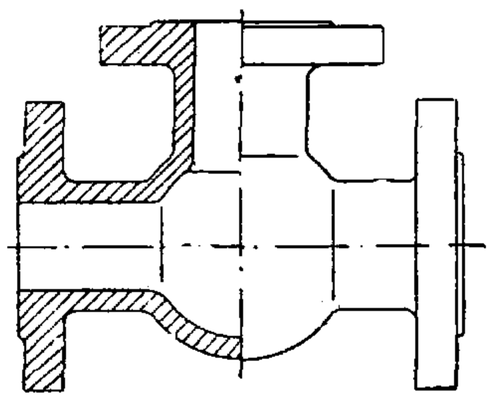
Такой тройник м. б. рассчитан по сл. ф-лам: 1) при малой толщине стенок сравнительно с диаметром (когда напряжения в стенках можно принимать равномерно распределенными)

$$\delta = \frac{D \cdot p}{4\sigma_z} + C; \quad (86)$$

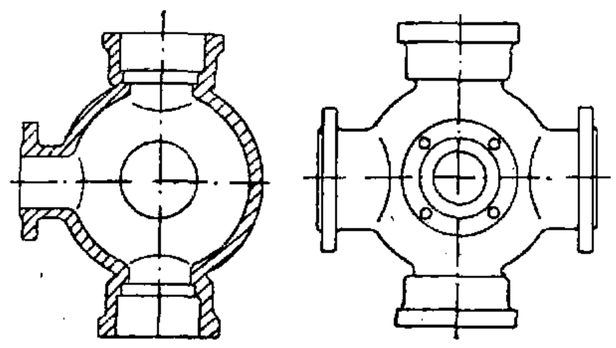
2) при сравнительно большой толщине стенок тройника

$$\delta = 0{,}5\,D\left(\sqrt[3]{\frac{\sigma_z + 0{,}4\,p}{\sigma_z - 0{,}65\,p}} - 1\right) + C. \quad (87)$$

Для лучшего распределения воды по всем направлениям применяется шарообразная крестовина, представленная на фиг. 23.



Фиг. 22.



Фиг. 23.

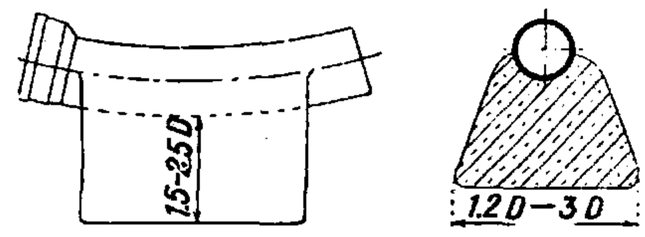
б) К о л е н а (при центральном угле в 90°) и о т в о д ы (при центральных углах в 45°, 30°, 15°) служат для плавного перехода от одного направления к другому (для перемены направления). При движении жидкости через колено или отвод со средней скоростью v и при давлении p в трубопроводе необходимо считаться с силою, стремящейся переместить колено по направлению биссектрисы угла между направлениями соединяемых линий труб. Сила, к-рая при этом развивается, определится из формулы

$$P = 1{,}57\,D^2\left(p + \frac{\gamma v^2}{g}\right)\sin\frac{\alpha}{2}, \quad (88)$$

где D—внутренний диам. колена или отвода, γ—вес единицы объема жидкости, g—ускорение силы тяжести ($g = 9{,}81$ $м/ск^2$), α—центральный угол колена или отвода. Когда статич. давление p_s внутри трубопровода больше давления p при движении жидкости, то силу P следует определять по ф-ле:

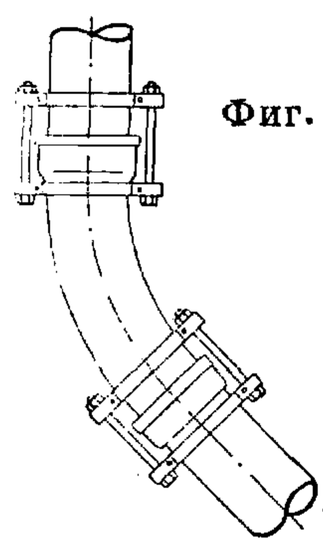
$$P = 1{,}57\,D^2 p_s \sin\frac{\alpha}{2}. \quad (89)$$

Из этого равенства видно, что сила, стремящаяся сдвинуть колено или отвод в сторону, противоположную углу поворота трубопровода, зависит от давления в последнем, от диам. колена или отвода и от их центрального угла или, что то же, от их радиуса кривизны.

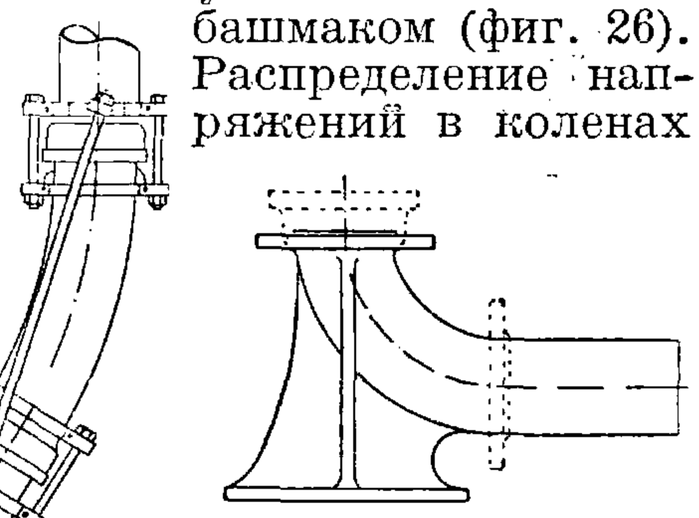


Фиг. 24.

Для укрепления колена или тройника, где это нужно, прибегают к их расположению на бетонной опоре (фиг. 24) или к их стягиванию анкерными болтами в хомутах (фиг. 25). На фиг. 24 меньшие цифры относятся к бóльшим диам. Т., а большие—к меньшим диам. Крепление хомутами считается более рациональным, если впоследствии может встретиться надобность в производстве работ в местах расположения колен или отводов. Хомуты д. б. плотно пригнаны к Т. Против ржавления соединение обматывают джутом и осмаливают. Для сборных колодцев, напорных резервуаров, часто для постановки пожарных кранов и в тому подобных случаях пользуются коленами с башмаком (фиг. 26). Распределение напряжений в коленах



Фиг. 25.



Фиг. 26.

и отводах не прямолинейное, а криволинейное и различное для каждого отдельного случая.

Ч у г у н н ы е и т о л с т о с т е н н ы е с т а л ь н ы е к о л е н а, подверженные изгибу, рассчитываются по ф-ле:

$$M_b = E \cdot I \cdot \left(\frac{1}{r'_k} - \frac{1}{r_k}\right), \quad (90)$$

где E—модуль упругости, I—момент инерции, r'_k и r_k—радиусы кривизны оси до и после изгиба. Т о н к о с т е н н ы е с т а л ь н ы е к о л е н а д. б. рассчитаны по ф-ле:

$$M_b = E \cdot \varkappa I \left(\frac{1}{r'_k} - \frac{1}{r_k}\right), \quad (91)$$

где в первом приближении величина $\varkappa$ по Карману (Kârmân) берется равной

$$\varkappa = 1 - \frac{9}{10 + 12\lambda^2}, \quad (92)$$

где

$$\lambda = \frac{4 r_k \delta}{D^2} > 0{,}3. \quad (93)$$

Напряжение σ на расстоянии y от нейтрального волокна в первом приближении приравнивается:

$$\sigma = y \cdot E\left(\frac{1}{r'_k} - \frac{1}{r_k}\right) \cdot \left[1 - \frac{24}{5 + 6\lambda^2}\left(\frac{y}{d}\right)^2\right]. \quad (94)$$

По итальянским нормам колена рассчитываются на допускаемые напряжения на 10% меньше, чем принятые для прямых Т. из того

же материала, причем стенки колен д. б. по крайней мере на 2 *мм* толще стенок прямых Т.

в) П е р е х о д ы применяются для плавного перехода чаще от большего диам. к меньшему и реже наоборот. Переходы надлежит рассчитывать по ф-ле

$$P_w = (F_o - F_u)\,H, \qquad (95)$$

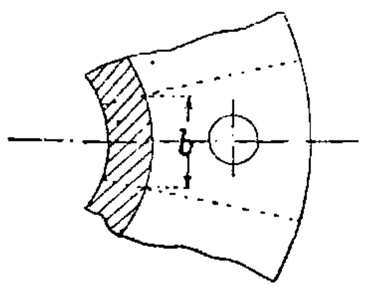
где P_w—давление воды на переход в *м*, F_o—площадь поперечного сечения широкой части перехода в $м^2$, F_u—площадь поперечного сечения узкой части перехода в $м^2$, H—полная высота напора в середине перехода в *м* вод. ст.

г) М у ф т ы употребляются: при ремонте, в случае устройства ответвления от магистрали, там, где надо поставить более длинные патрубки или удалить стык от слишком близкого соседства с другими фасонными частями. При подвижных Т. между ними оставляют зазор примерно в 5 *см* и ставят муфту, чем устраняется опасность появления в металле вредных напряжений. Разъемные муфты применяются для перекрытия дефектного места. Расчет муфт ничем не отличается от расчета прямых Т. (неразъемные цельные муфты) и свертных фасонных частей (разъемные муфты).

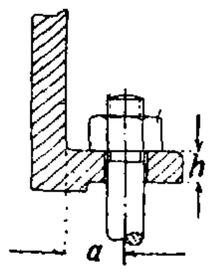
д) П а т р у б к и представляют собою короткие Т. с фланцем на одном конце и раструбом на другом или с фланцем на одном конце и буртом на другом; служат для перехода с фланцев на раструбы и, наоборот, при установке задвижек, вантузов, обратных клапанов и в тому подобных случаях. Рассчитываются патрубки, как Т.

е) З а г л у ш к и (фланцевые и раструбные) предназначены для заделки слепых концов трубопроводов как постоянного, так и временного характера. При больших внутренних давлениях заглушки следует укреплять хомутами и стяжками.

ж) Ф л а н ц ы н е п о д в и ж н ы е, представляющие собою одно целое с Т., м. б. рассчитаны, как балки, заделанные одним концом в стену. Примем следующие обозначения (фиг. 27а, 27б): h—толщина фланца в *см*, p—давление воды в трубе в $кг/см^2$, D—внутренний диам. Т. в *см*, D_1—внешний диаметр Т. в *см*, b—ширина куска фланца, приходящаяся на один болт, в *см*, a—плечо (расстояние от наружной поверхности Т. до центра болта) в *см*, n—число болтов, σ_b—допускаемое напряжение на изгиб в $кг/см^2$, P—нагрузка, приходящаяся на один болт. Изгибающий момент в данном случае выразится следующими двумя равенствами:



Фиг. 27а.



Фиг. 27б.

$$M = \frac{\pi D^2 p a}{4n} \qquad (96)$$

и

$$M = W \cdot \sigma_b = \frac{b h^2 \sigma_b}{6} = \frac{\pi D_1 h^2 \sigma_b}{6n}. \qquad (97)$$

Приравнивая последние выражения в обоих равенствах и определяя h, получим с прибавкой практич. величины C ур-ие:

$$h = 1{,}23\, D \sqrt{\frac{p \cdot a}{D_1 \cdot \sigma_b}} + C. \qquad (98)$$

Б о л т ы рассчитываются по ф-ле:

$$n = \frac{\pi D^2 p}{4 f \sigma_z}, \qquad (99)$$

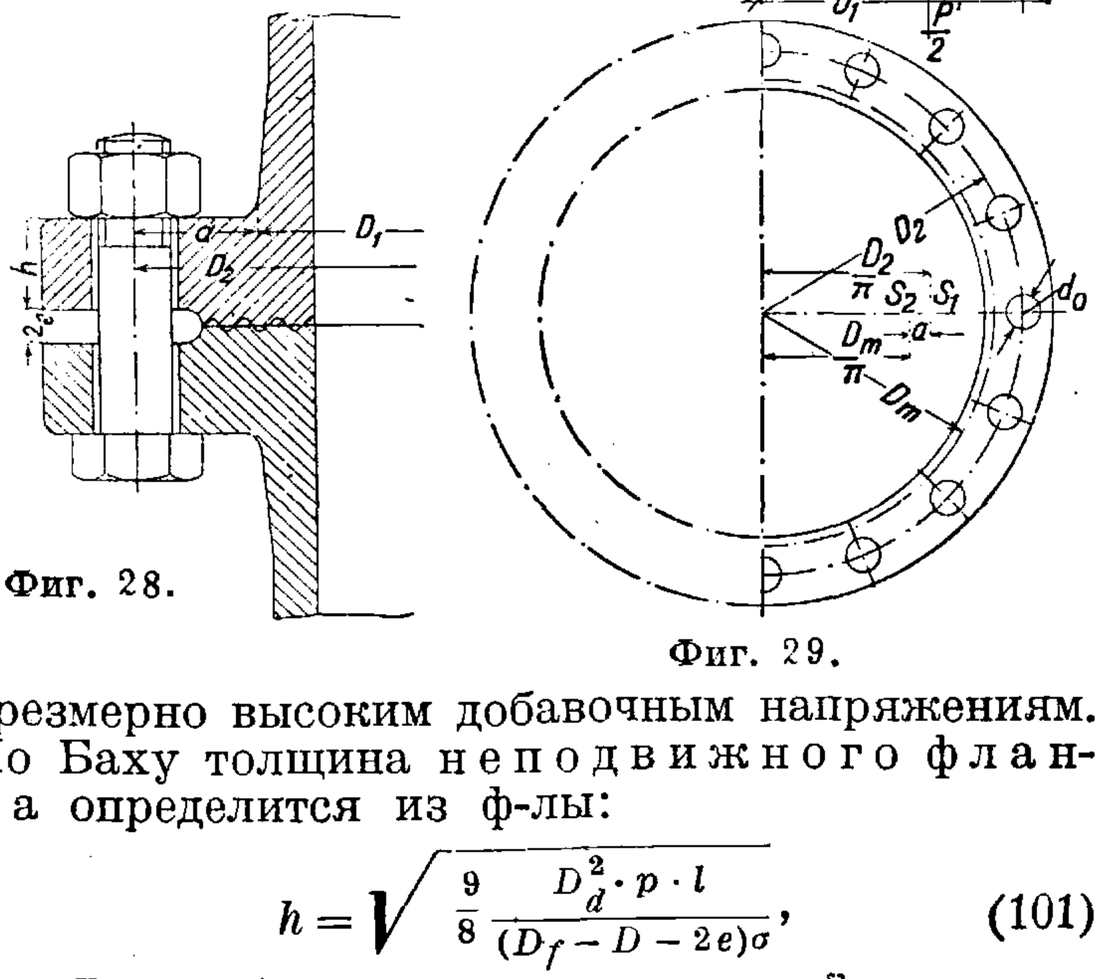
где f—площадь поперечного сечения стержня, σ_z—допускаемое напряжение на растяжение. Напряжение фланца от изгиба получится равным (фиг. 28)

$$\sigma_b = \frac{P \cdot a}{W},$$

где

$$P = \frac{\pi D_m^2 p}{4};\quad a = \frac{D_2 - D_1}{2};\quad W = \frac{\pi D_1 (h+c)^2}{6}; \qquad (100)$$

D_m—средний диам., считая по прокладке. Толщина фланца д. б. не менее $^5/_4$ толщины болта, дабы не подвергать стенку Т.



Фиг. 28.

Фиг. 29.

чрезмерно высоким добавочным напряжениям. По Баху толщина н е п о д в и ж н о г о ф л а н ц а определится из ф-лы:

$$h = \sqrt{\frac{9}{8}\,\frac{D_d^2 \cdot p \cdot l}{(D_f - D - 2e)\sigma}}, \qquad (101)$$

где D_d—диам., считая между крайними точками прокладочного шва, D_f—внешний диам. фланца, e—диаметр отверстия для болта, l—расстояние от середины ширины прокладочной площади до окружности, проходящей через крайнюю точку отверстий для болтов, за вычетом толщины стенки Т., σ—напряжение во фланце. Для воспринятия произвольной осевой силы S толщина фланца по Баху д. б.

$$h = \sqrt{S\,\frac{54}{\pi (D_a - D - 2e)\sigma}}. \qquad (102)$$

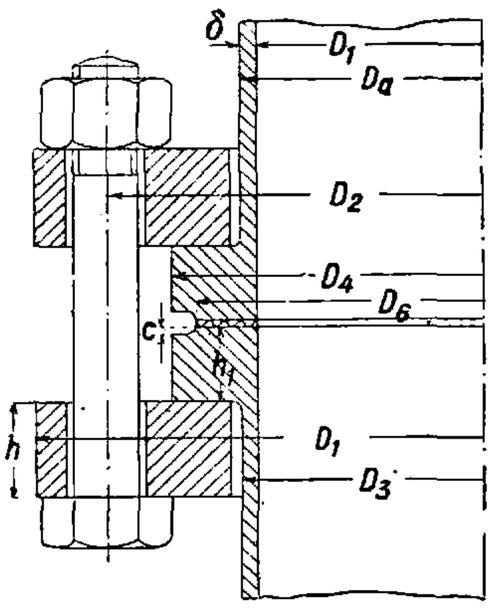
П о д в и ж н о й ф л а н е ц, удерживаемый на Т. наваренными на конце трубы кольцами, м. б. приближенно рассчитан из условия

$$M = \sigma_b \cdot W. \qquad (103)$$

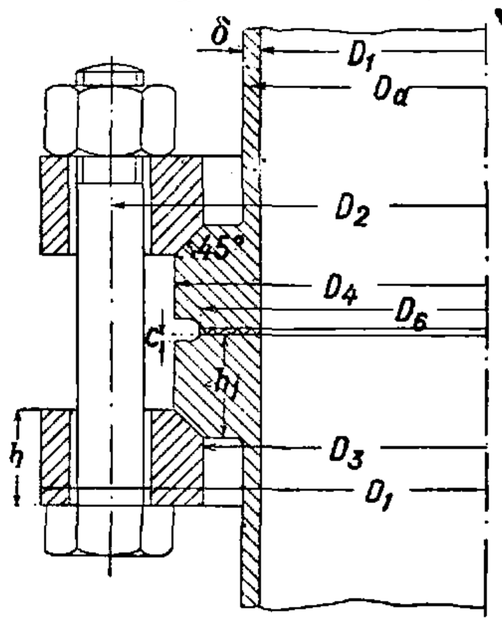
Тогда получим, принимая во внимание обозначения на фиг. 29,

$$\frac{P'}{2} \cdot \left(\frac{D_2}{\pi} - \frac{D_m}{\pi}\right) = \sigma_b \frac{1}{6} (D_1 - D_3 - 2d_0)\, h^2, \qquad (104)$$

откуда и определится толщина фланца h. Действующее в болтах усилие P' м. б. взято равным (фиг. 29, 30 и 31)



Фиг. 30.



Фиг. 31.

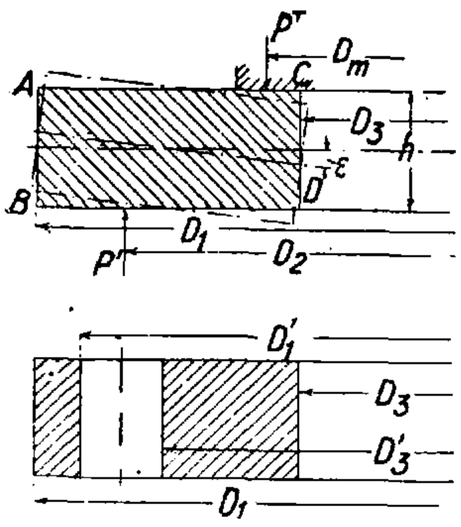
$$P' = \frac{\pi}{4} D^2_m\, p = \frac{\pi}{4} D_6^2\, p. \qquad (105)$$

Более точный расчет, учитывая и поворот фланца на угол ε (фиг. 32), получается по ф-лам Вестфаля (Westphal):

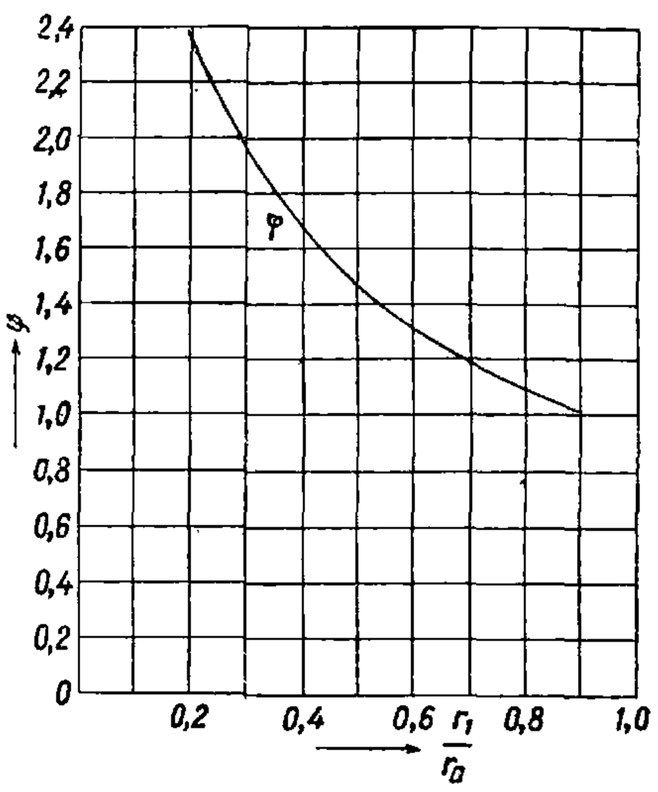
$$\sigma_1 = \pm \frac{3P'(D_2 - D_m)}{\pi D_3 h^2 \cdot \ln \frac{D_1}{D_3}}; \qquad (106)$$

$$\sigma_2 = \pm \frac{3P'(D_2 - D_m)}{\pi D_3 h^2 \cdot \ln \frac{D_1}{D_1'} \frac{D_3'}{D_3}}. \qquad (107)$$

Ф-ла (106) не учитывает ослабления сечения отверстиями для болтов и определяет наибольшие напряжения вдоль внутренних ребер C и D фланца (см. верхний рисунок фиг. 32). Ф-ла (107) учитывает влияние отверстий для болтов при числе их $n = \infty$. Для ограниченного числа отверстий действительное напряжение во фланцах будет находиться между



Фиг. 32.



Фиг. 33.

предельными напряжениями σ_1 и σ_2, определенными по ф-лам (106) и (107). Напряжение в подвижном фланце м. б. проверено по ф-ле Энслина (Ensslin), дающей однако преувеличенное значение этого напряжения. Формула Энслина имеет вид:

$$\sigma_3 = \varphi \frac{P'}{h^2}, \qquad (108)$$

где значение коэф-та φ может быть взято из графика (фиг. 33) по соотношению радиусов r_i и r_a. На фиг. 30 изображены плоские подвижные фланцы, а на фиг. 31 рекомендуемые Вестфалем подвижные скошенные фланцы. По этим фигурам

$$D_m = \frac{D_4 + D_3}{2}; \; r_i = \frac{D_m}{2}; \; r_a = \frac{D_2}{2}.$$

Напряжение б о р т о в о г о к о л ь ц а определится по ф-ле

$$\sigma_b = \frac{6P'a}{\pi D_a h^2}, \qquad (109)$$

где плечо a изгибающего момента будет равно

$$a = \frac{D_m - D_a}{2}.$$

Работа на срез выразится напряжением

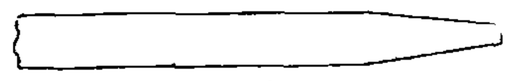
$$\sigma_s = \frac{P'}{\pi D_a h}. \qquad (110)$$

По немецким индустриальным нормам каждый фланец должен иметь число отверстий для болтов, кратное четырем (напр. 4, 8, 12, 16, 20 и т. д.), причем эти отверстия д. б. расположены симметрично по отношению двух главных осей и так, чтобы они (отверстия) не размещались по этим осям.

С. Брилинг.

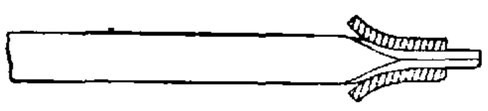
ТРУБОПРОКАТНОЕ ДЕЛО. Первые железные трубы изготовлялись в Англии в 50-х годах прошлого столетия. Материалом служило пудлинговое железо. С развитием процессов Бессемера и Сименс-Мартена для производства мягкой литой стали последняя начала постепенно вытеснять пудлинговое железо, и в настоящее время только еще в Америке 2—3 завода продолжают его применять. В течение 75—80 лет выработано много различных способов производства труб, из к-рых только применяемые в настоящее время на лучших з-дах будут описаны в нижеследующем, т. к. более ранние способы постепенно оставлены как нерациональные. В зависимости от способа производства трубы разделяются на с в а р н ы е и б е с ш о в н ы е. Для производства сварных труб существует несколько весьма различных между собой способов: 1) сварка встык с протяжкой через кольцо, 2) сварка взакрой, (внахлестку) посредством прокатки на дуо-стане, 3) сварка водяным газом на специальных станках с применением быстроходного молота или катка, 4) сварка ацетиленом и 5) сварка посредством электричества. Для производства бесшовных труб применяются в настоящее время следующие способы: 1) способ Маннесмана, состоящий из двух операций: пробивки дыры в сплошном теле и превращения толстостенного полого тела в тонкостенную трубу на так наз. п и л ь г е р-с т а н е, 2) способ Штифеля (американско-автоматический), 3) способ Фасселя с беспрерывной прокаткой, 4) способ Эргардта, 5) способ с u p p i n g—протяжка железного диска (штамповка). Со дня появления на рынке бесшовных труб применение сварных труб постепенно сузилось, и в Европе в настоящее время бесшовная труба занимает доминирующее положение для ⌀ 50—300 *мм* в ответственных установках, напр. для паропроводов, кипятильных труб, для водопроводов высокого давления и пр. В Америке сварная труба до сих пор успешно борется с бесшовной и применяется гл. обр. (кроме конечно маломерных газопроводных до 2″ включительно) для нефте- и газопроводов при больших диаметрах. Этому сильно способствовали успехи, достигнутые в деле сварки посредством электричества. Выпуск труб з-дами СССР составляет приблизительно 250 000 *т* в год, включая в это количество бесшовных труб ок. 50%. Однако с осуществлением проектов постройки заводов бесшовных труб с годовой производительностью в 100 000 *т* каждый это процентное отношение значительно изменится.

С в а р к а т р у б в с т ы к. Способ этот применяют для труб с внутренним ⌀ от 6 *мм* до 50 и даже 60 *мм*, гл. обр. для водо-, газо- и воздухопроводов. Для изготовления их в Европе применяется почти исключительно мягкое мартеновское литое железо с содержанием углерода не более 0,10% и марганца 0,40%, америк. же заводы применяют кроме пудлингового и мартеновского литого железа еще в большом количестве мягкую бессемеровскую сталь, исходя из соображений лучшей сварки и более легкого выполнения винтовой нарезки. Исходным материалом служит с т р и п с, т. е. железная полоса размерами соответственно диаметру и толщине изготовляемой трубы длиной в 6—7 *м*. Стрипсы эти заостряются на одном конце срезыванием краев под ножницами (стоящими близ нагревательной печи), как показано на фиг. 1, и кладутся загрузочной машиной в несколько рядов на под сварочной печи. Печь регенеративная системы Сименса и может ота-

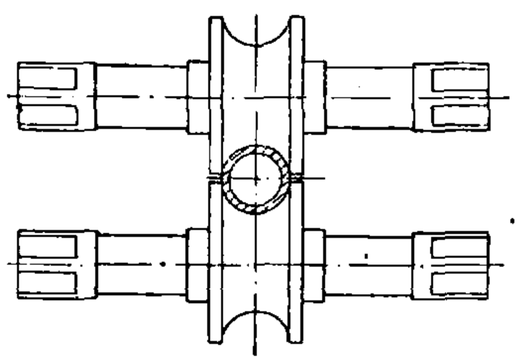


Фиг. 1.

пливаться газом или мазутом, имеет внутренние размеры около 7 *м* длины и 1—2 *м* ширины при посадочных дверцах на одном конце и выдаточных—на другом. Непосредственно перед первыми находится посадочная машина, а за вторыми—волочильный стан; обе эти машины могут перемещаться в направлении, перпендикулярном к оси печи. При надлежащем нагреве стрипса рабочий устанавливает волочильный стан против него и, надев на клещи волочильное кольцо, захватывает ими стрипс и вытягивает последний из печи, пока кольцо не станет в гнездо упорной доски стана, после чего закладывает крючок клещей в безостановочно движущуюся волочильную цепь, при посредстве к-рой производится уже протаскивание стрипса через кольцо и преобразование его в трубу (фиг. 2). Сварка шва происходит во время прохода стрипса через

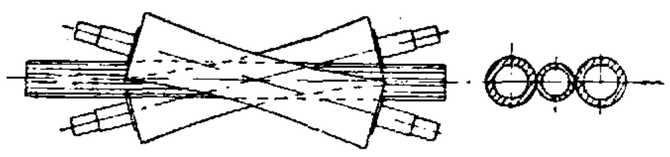


Фиг. 2.



Фиг. 3.

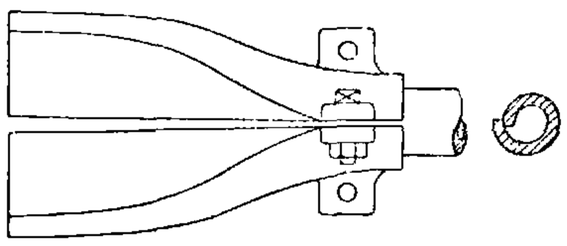
кольцо при взаимном нажатии кромок, обусловленном соответственным выбором соотношения ширины стрипса к диаметру кольца. Кольца изготовляются в последнее время из хромоникелевой стали, шлифуются наждачным кругом внутри и служат довольно долго. Производительность такого агрегата составляет до 500 штук дюймовых труб в час, или 200—250 *м* в день. Сваренная труба механически перебрасывается с волочильного стана на рольганг и пропускается через калибровочные валки (фиг. 3). После калибровки по другому рольгангу труба пропускается через валки (фиг. 4) правильного стана. Выправленную и очищенную от окалины трубу передают на холодильник для медленного охлаждения. После нарезки обоих концов на труборезных станках (в последнее время на автоматических станках, обладающих очень большой производительностью) на один конец наворачивают муфту, и после испытания гидравлич. давлением все операции можно считать законченными. Иногда трубы применяются оцинкованные. Оцинковка может производиться или горячим способом посредством опускания трубы в ванну расплавленного цинка или холодным путем посредством электролиза. В Америке за последнее время получила распространение сварка встык труб, начиная от диам. в 100 *мм* и до самых больших, посредством электричества, а также ацетилена. Фирма А. О. Смит в Мильвоки при 14 сварочных агрегатах может сварить до 30 000 *п. м* в день при длине труб в 12 *м*. Кромки листов обстругиваются, после чего листы поступают на станок специальной конструкции для загибания и придачи им цилиндрич. формы, а затем на особых тележках эти заготовки подаются к сварочным машинам. Последние могут сваривать до 80 *п. м/ч* при толщине в 6—7 *мм*.



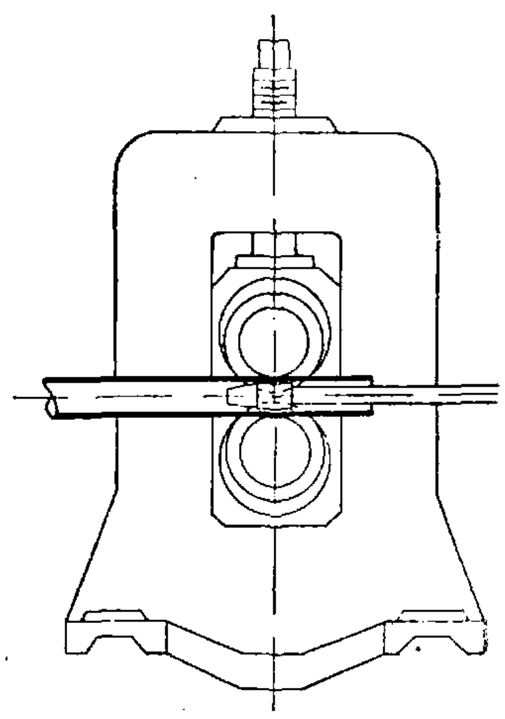
Фиг. 4.

Сварка труб взакрой. Трубы, сваренные взакрой, изготовляют диаметром от 50 *мм* до самых больших, причем до 300—400 *мм* свариваются прокаткой на двухвалковом стане, а начиная с 300 *мм* и выше—на сварочных машинах особой конструкции. Исходным материалом служит лист шириной, соответствующей диаметру трубы (с припуском на закрой в 6—10 *мм*), и толщиной, несколько превышающей, на 5—10%, толщину готовой трубы. Материал д. б. хорошо свариваемый, т. е. содержание углерода, марганца, серы и пр. должно быть возможно низким. Однако трубы, от к-рых требуется высокое сопротивление наружному давлению и не подвергающиеся сильному внутреннему давлению (обсадные трубы буровых скважин), свариваются на русских з-дах из материала с содержанием углерода 0,18—0,20% и марганца 1%; такой состав материала обеспечивает предел упругости не менее 28 *кг/мм²*. Для получения более прочного и лучше закатанного шва продольные кромки листов предварительно скашиваются или в холодном состоянии на специальном строгальном станке или в нагретом состоянии с пропуском через соответствующего профиля валки, установленные между печью и воронкой волочильного стана. После нагрева в печах регенеративного типа, где $t°$ достигает 900—1 000°, листы протягиваются через воронку (фиг. 5) при вставленной внутри пробке для придания им формы трубы с закроем краев.

Заготовленная т. о. труба передается в сварочную печь, а затем после нагрева до сварочного состояния выталкивается в ручей валков прокатного стана дуо (фиг. 6), находящегося близ лобовой стороны печи. Все манипуляции по подаче листов, протяжке их через воронки, передаче к сварочной печи, загрузке



Фиг. 5.

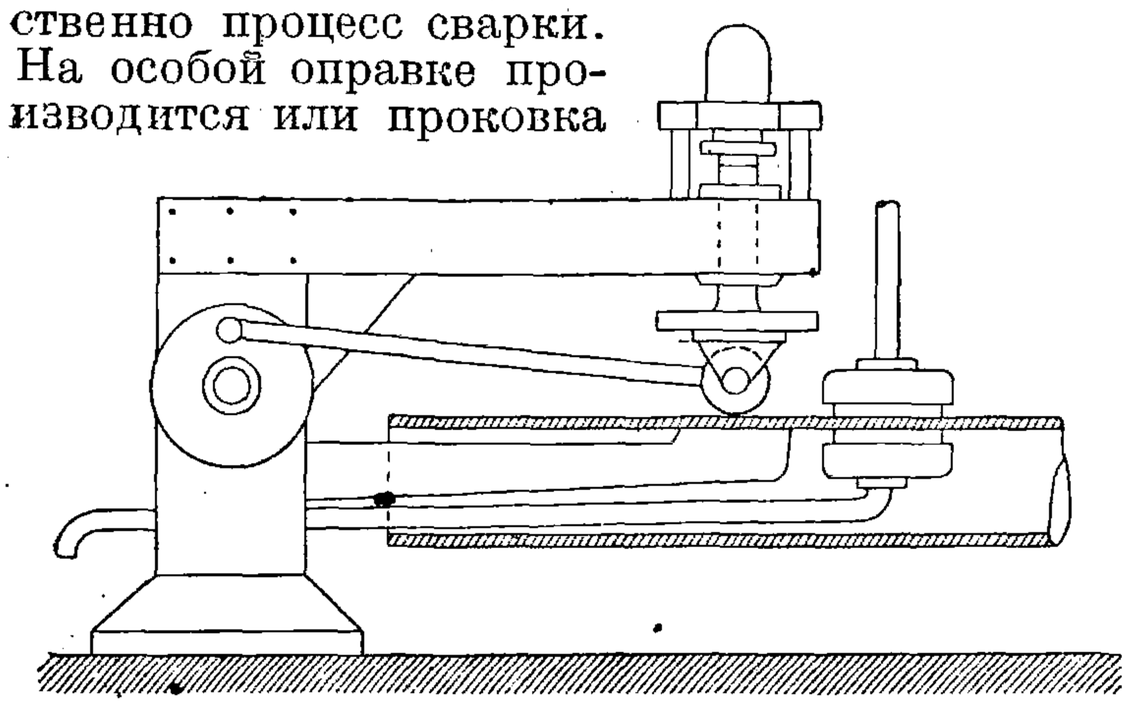


Фиг. 6.

и выталкиванию в стан дуо механизированы, и физич. труд рабочего заключается лишь в управлении этими механизмами. Между валками устанавливается пробка, укрепленная на длинном стержне. Для сохранения определенного положения пробки во время работы делают упор для свободного конца стержня. Диам. пробки выбирают меньше диам. ручья на двойную толщину листа. При проходе заготовленной трубы через валки двойная толщина на месте шва (закрой) уменьшается до толщины листа, т. ч. процесс сварки происходит под значительным давлением, чем и объясняется высокая прочность шва труб, сваренных прокаткой, в сравнении с трубами, сваренными встык. Процесс сварки обыкновенно производится два раза с соответствующим подогревом, причем свариваемый шов д. б. расположен обязательно сверху. Производительность агрегата достигает до 150 шт. 6″ труб и до 100 шт. 10″ труб в 8-часовую смену. Сварка труб диам. от 300 *мм* до самых больших производится при помощи водяного газа на машинах особой конструкции. Исходным материалом служит тот же лист, загнутый взакрой в холодном состоянии (при значительных толщинах—в нагретом состоянии) на загибоч-

ных вальцах (лучше всего четырехвалковых). На особых тележках эта заготовка подается к сварочной машине. После нагрева свариваемого шва как с наружной, так и с внутренней стороны на длине 300—500 *мм* посредством горелок, к к-рым газ и воздух подаются при давлении 2—3 *м* вод. столба, начинается собственно процесс сварки.

На особой оправке производится или проковка

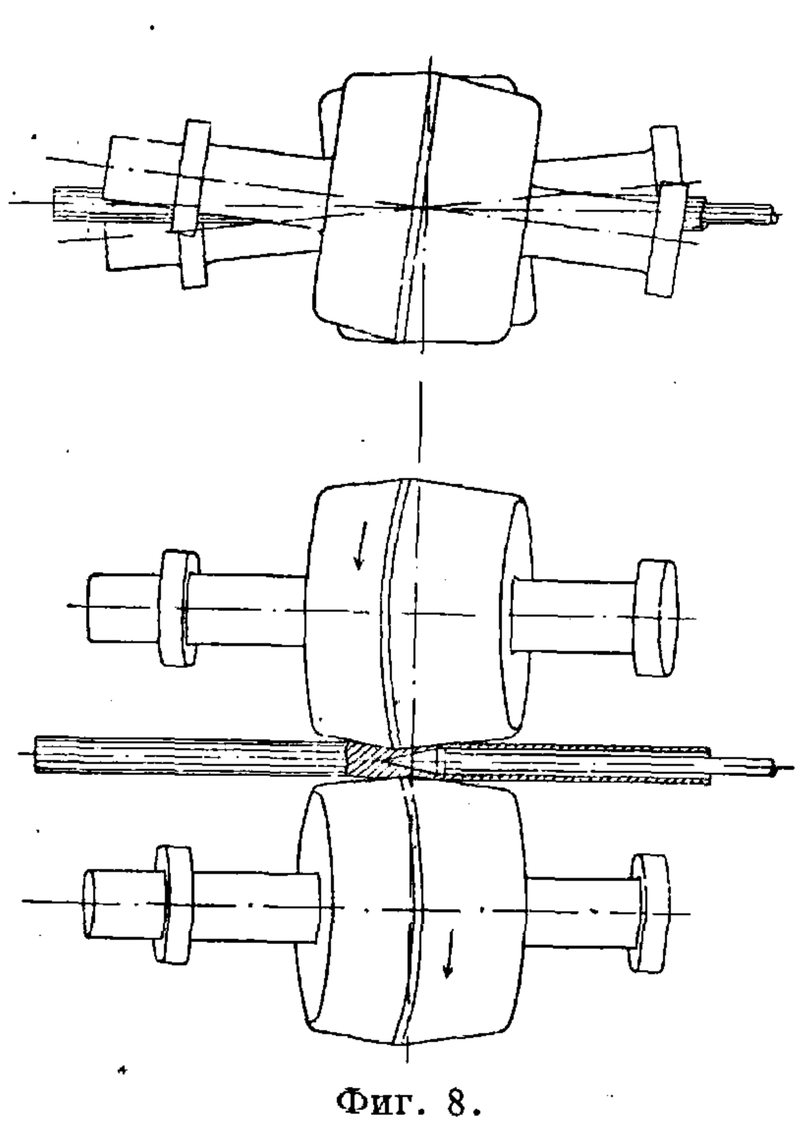


Фиг. 7.

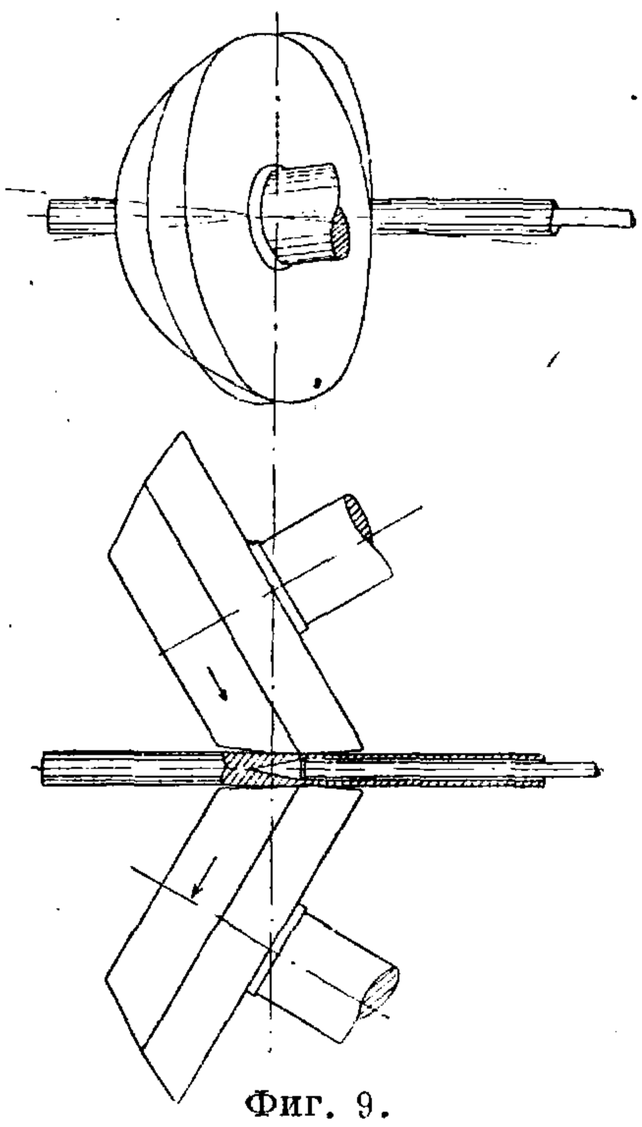
нагретой части шва посредством быстроходного пневматич. молота или прокатка особым катком, получающим требуемое давление от гидравлич. цилиндра (фиг. 7). Вследствие многократных местных нагревов и сварки отрывками процесс этот вызывает значительные напряжения материалов и деформации самой трубы; для устранения этих недостатков трубу отжигают в печи до 800—900° и на тех же загибочных вальцах выправляют и закругляют, устраняя одновременно все вредные напряжения.

Прокатка бесшовных труб. Бесшовные трубы отличаются от сварных тем, что изготовляются непосредственно из литой (при больших диам.) или предварительно обжатой болванки. Изготовление их происходит при двух операциях, т. н. прошивке, т. е. изготовлении сначала пустотелого стакана со стенками б. или м. значительной толщины, а затем в превращении этой заготовки в готовую трубу. В большинстве случаев обе операции происходят при одном и том же нагреве. Для прошивки болванки (литой для труб более значительных диам. и предварительно прокатанной для меньших диам.—менее 150 *мм*) существуют разные способы: способ Маннесмана посредством прокатки болванки бочкообразными наклонными друг к другу валками(фиг.8), способ Штифеля—прокаткой между грибообразными (фиг. 9) или дискообразными (фиг. 10) валками и способ Эргардта—посредством продавливания стержня соответствующего диам. по центру квадратной болванки, находящейся в матрице круглого сечения, и посредством штамповки из круглого диска (штамповочный способ). Первый способ применяется для труб диам. от 50 до 400—500 *мм*, второй и третий считаются рациональными для труб диаметром до 200 *мм*, хотя в настоящее время некоторые американские заводы изготовляют трубы по системе Эргардта диам. до 300 *мм*. При способах Маннесмана и Штифеля, т. е. прокаткой валками при конич. пробке, происходит сильное изменение сечения их и структуры болванки, связанной со значительным напряжением материала; поэтому можно применять лишь материал однородного безупречного качества. При способе же Эргардта можно перерабатывать материал обыкновенного, невысокого качества.

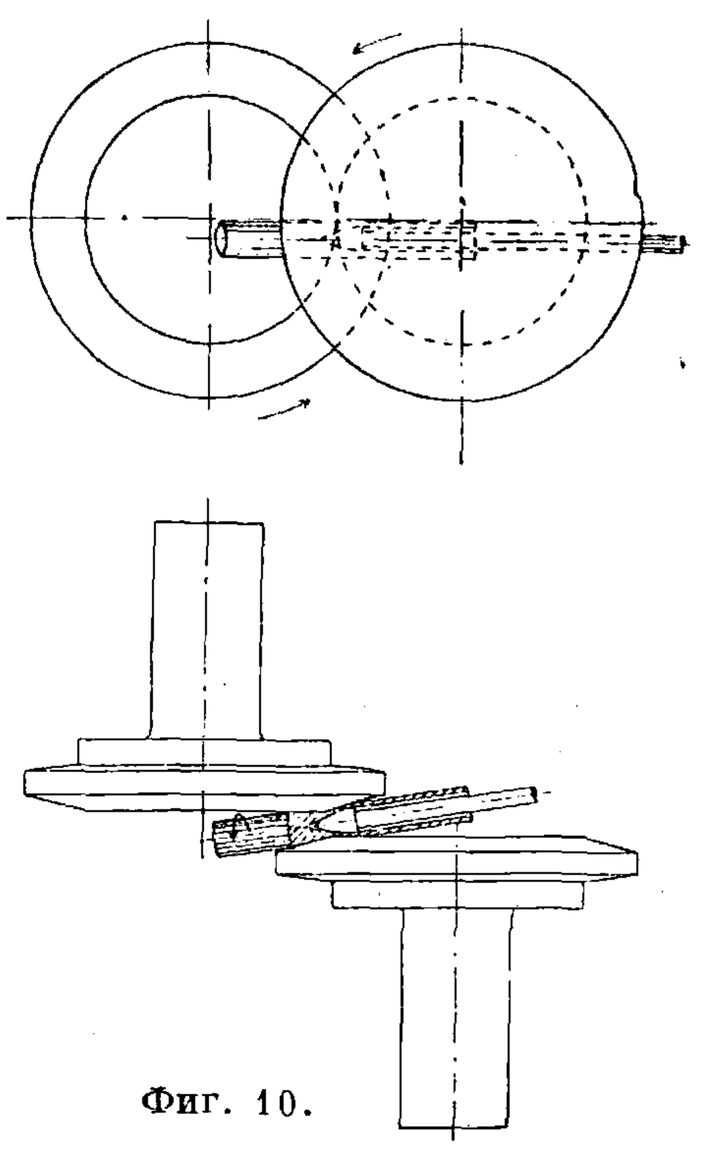
Для процесса растягивания пустотелой заготовки в трубу существуют следующие способы: способ прерывной прокатки на пильгер-стане (Маннесмана), способ непрерывной прокатки на стане Фасселя, способ раскатки на стане дуо (*автоматический, или шведский*), проталкивания через несколько протяжных колец с уменьшающимся ⌀ (*волочильный пресс Эргардта*).



Фиг. 8.



Фиг. 9.

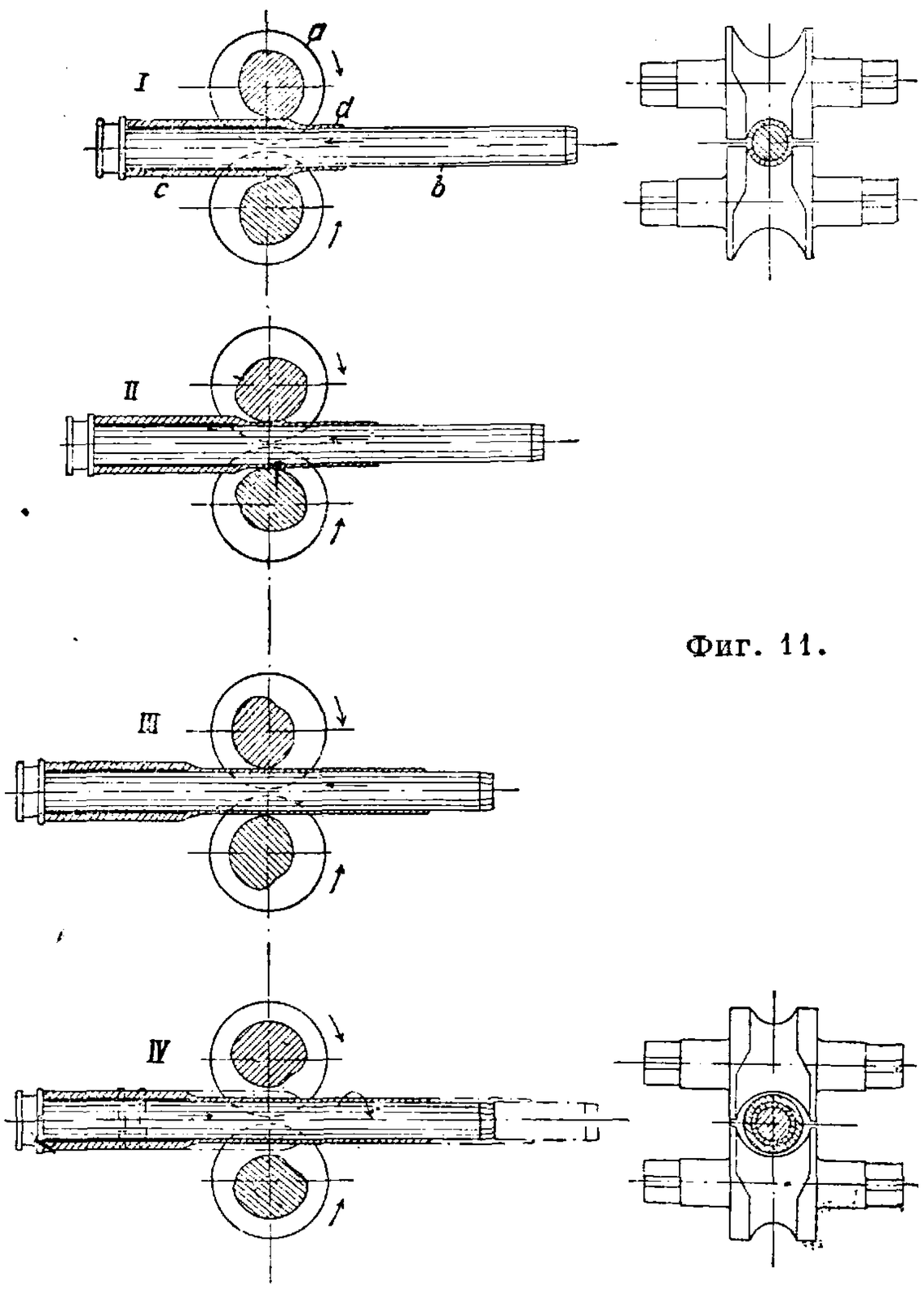


Фиг. 10.

Пильгер-стан Маннесмана применяется преимущественно в Европе; он состоит из двух вращающихся в обратном направлении по отношению к продвижению прокатываемой заготовки валков, приводимых в действие от мотора посредством зубчатой передачи. На схеме фиг. 11 показано: *a*—рабочие валки, *b*—оправка, *c*—прошитая заготовка, *d*—часть прокатанной трубы, *I*—первая стадия прокатки (обжимка), *II*—вторая стадия—прокатка обжатой части, *III*—третья стадия—вторая прокатка, сглаживание неровностей, *IV*—стадия четвертая—холостой ход. Обыкновенно 2 таких стана работают от одного мотора. Оба прокатных стана питаются одним прошивным прессом.

Сечение прокатных валков в месте рабочего ручья имеет особую форму, которая прибли-

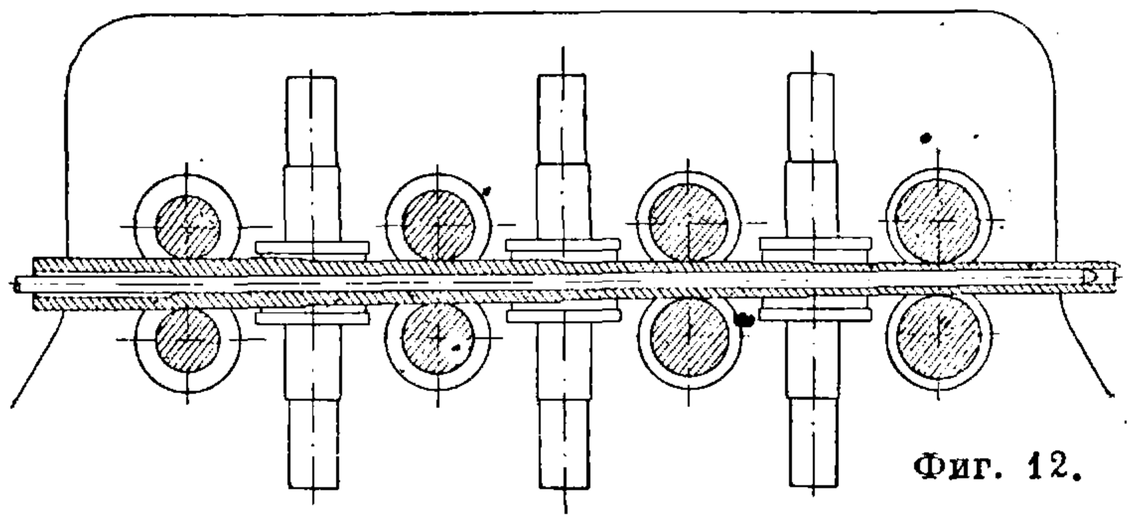
зительно на одной половине своей окружности представляет рабочую, т. е. полезную для прокатки, часть, а на другой половине—расширенную, холостую часть. Поступившая от прошивного стана заготовка надевается на оправку, закрепленную одним концом в замке питательного аппарата. Последний продвигается постепенно посредством гидравлики к прокатному стану и несет на себе солидный пневматич. цилиндр с поршнем, к скалке к-рого прикреплен замок для оправки. В момент освобождения заготовки из рабочей в холостую часть ручья валков поршень цилиндра немедленно возвра-



Фиг. 11.

щает ее в начальное положение, перемещенное однако несколько вперед, вследствие постепенного поступательного движения всего питательного аппарата, и процесс прокатки после полуоборота валков повторяется и продолжается т.о. до полной раскатки всей заготовки. Помощью особого приспособления (т. н. дреля и храповика) поршень, скалка, замок с оправкой и одетой на последнюю заготовкой поворачиваются во время продвижения расширенной части калибра на 90%, т. ч. прокатка происходит каждый раз на другом месте заготовки. При возвращении всего питательного аппарата (т. е. по окончании всего процесса прокатки) в первоисходное положение труба освобождается от оправки и после поднятия верхнего валка передается далее для обрезки концов на горячей пиле. Нагревшаяся во время прокатки оправка передается на помост для постепенного охлаждения на воздухе, а затем в наполненный водой бак; т. о. в работе находится несколько, иногда до 15 шт., оправок. Валки и оправки подвергаются сильному износу и поэтому изготовляются из легированной хромоникелеванадиевой стали, но несмотря на это ручьи валков после 20—24-часовой работы требуют проверки на токарном станке специальной конструкции, производящем автоматически необходимую форму калибра. Заготовка прошивается толщиной 50—70 *мм* в зависимости от диам., и длина ее равняется приблизительно двойной длине первоначальной болванки; т. о. при дальнейшей прокатке на пильгер-стане уменьшение толщины и следовательно увеличение длины—приблизительно 8—10-кратное. Поэтому можно прокатать трубы длиною в 25 и даже 30 *м*. Так, при установке пущенного в мае 1930 г. стана Мариупольского з-да и приобретаемых в настоящее время трех подобных прокатная длина труб принята в 24 *м*. Производительность 1 пильгерстана при трубе диам. 200—300 *мм* достигает 250 *м/ч*; месячная производительность на 2 станах достигает 10 000 *т*, а на одном америк. заводе достигнута месячная производительность в 15 000 *т* и годовая в 175 000 *т*. При втором способе раскатки заготовки—автоматическом, или шведском, последняя выходит из прошивного стана толщиной, лишь несколько превышающей толщину готовой трубы, и прокатывается на стане дуо, имеющем несколько рабочих ручьев соответствующих профилей, при помощи пробки, надетой на длинный стержень. Автоматич. способ применяется преимущественно на америк. з-дах, не требует дорого стоящих валков и оправок, но зато требует материала высокого качества и прокатанной предварительно болванки, потому что прошивка на почти окончательную толщину связана с более значительным изменением сечения и большим напряжением материала. Естественно, что при незначительном удлинении на стане дуо и прокатке на пробке, посаженной на длинный стержень, длина труб ограничена и максимально не превышает 8 *м*. Для изготовления труб диам. 150 *мм* и более на америк. з-дах применяют в последнее время двойную прошивку, т. е. прошивают последовательно в двух станах при одном нагреве, причем первый стан собственно прошивает, второй же расширяет диам., уменьшает толщину, понижает напряжение материала. При указанном способе работ производительность на нек-рых америк. з-дах доходит до 200 шт. труб диам. 100 *мм* в час.

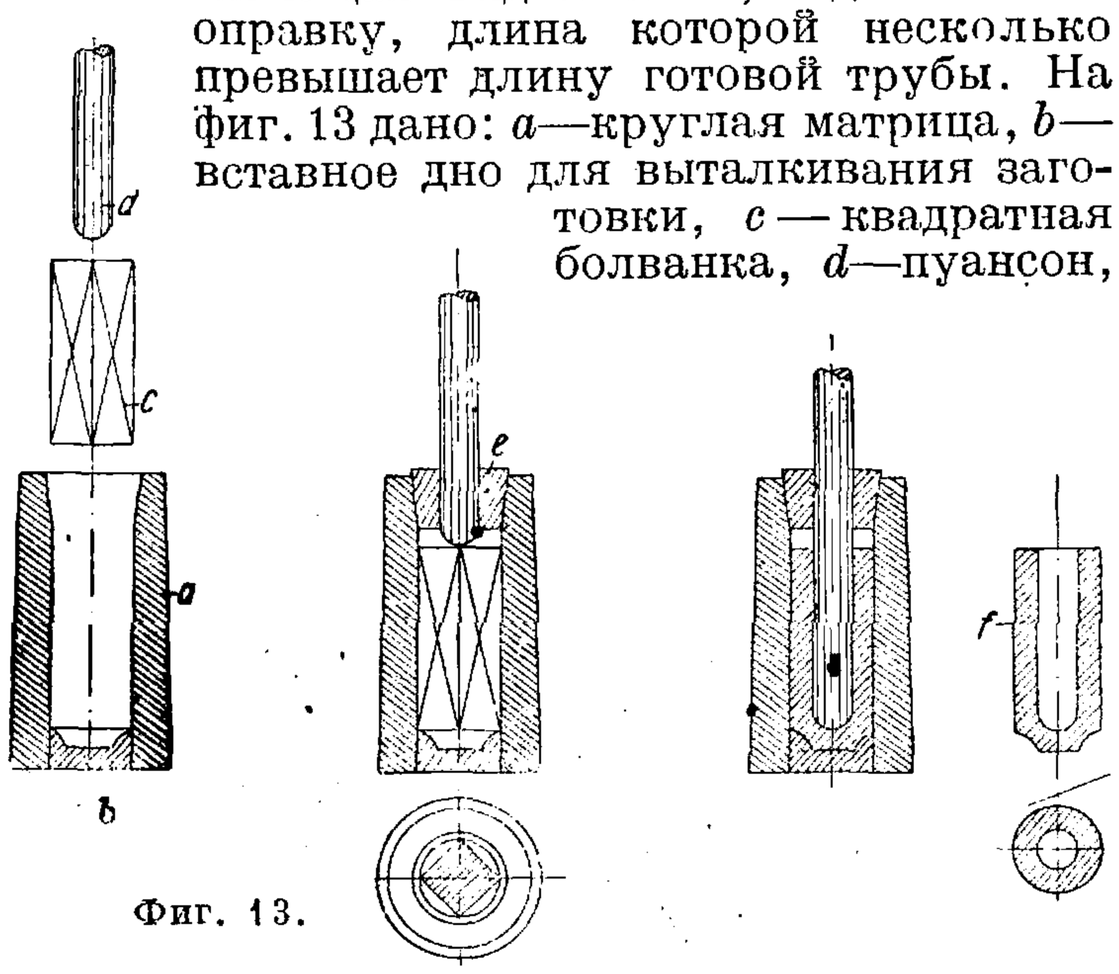
Способ раскатки заготовки на непрерывном стане Фасселя (фиг. 12) применяет-



Фиг. 12.

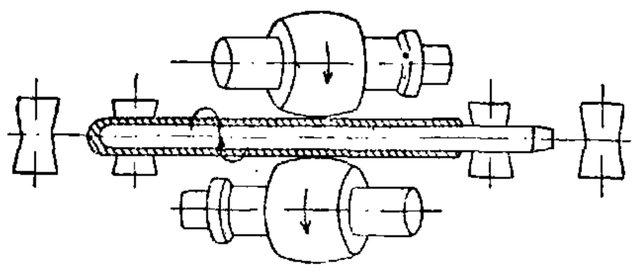
ся при массовом производстве труб небольших диам., примерно 50—80 *мм* (кипятильных труб для паровозов и пр.). Стан состоит обыкновенно из 7 пар валков, из к-рых 3 вертикальные. Скорость вращения их последовательно увеличивается соответственно уменьшению толщины заготовки. Последняя после прошивки надевается на оправку длиной ок. 6 *м*, вместе с ней проходит через стан и выходит в виде готовой трубы длиной 7—8 *м*. Весь процесс занимает 5—6 ск., часовая производительность—около 150 шт. На волочильном стане труба стягивается с оправки и поступает далее для обрезки концов и прочих операций отделки.

Способ протяжки на волочильном прессе Эргардта состоит в следующем: заготовка, прошитая на гидравлич. прессе (фиг. 13), имеющая вид стакана, надевается на оправку, длина которой несколько превышает длину готовой трубы. На фиг. 13 дано: *a*—круглая матрица, *b*—вставное дно для выталкивания заготовки, *c*—квадратная болванка, *d*—пуансон,



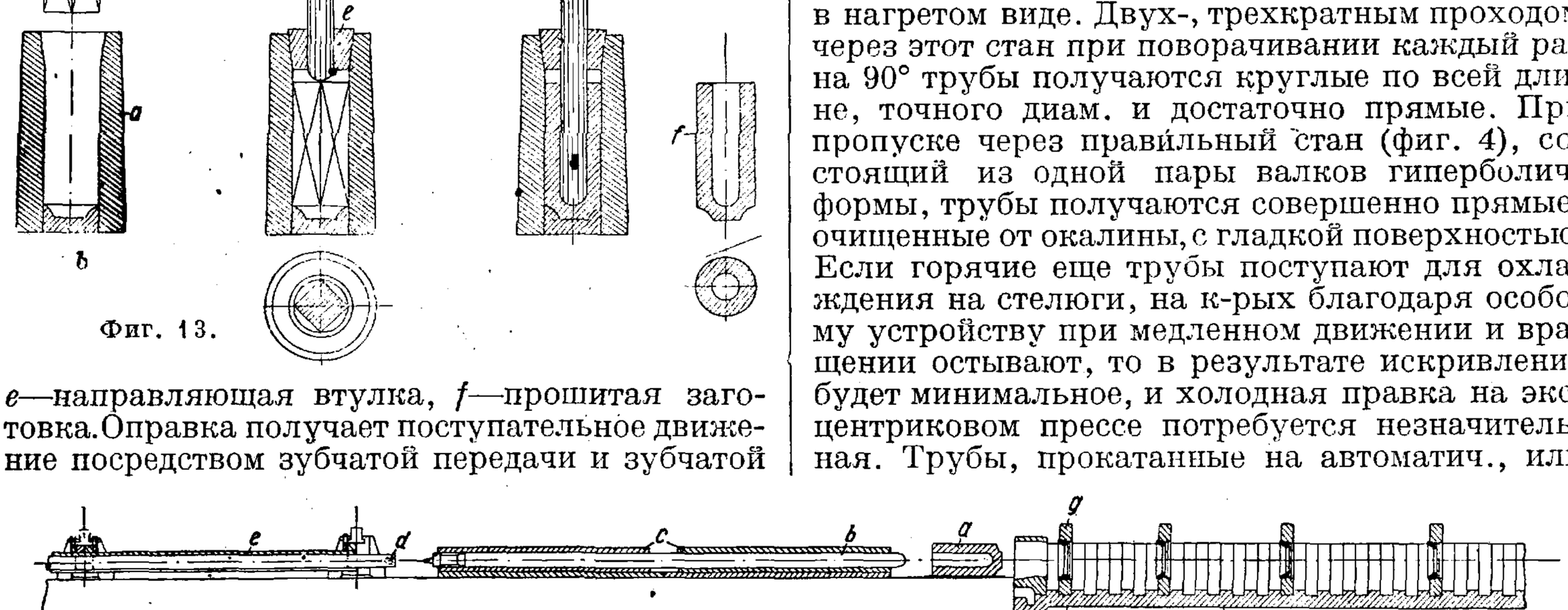
Фиг. 13.

e—направляющая втулка, *f*—прошитая заготовка. Оправка получает поступательное движение посредством зубчатой передачи и зубчатой рейки от мотора, проталкивает заготовку через протяжные кольца числом от 7 до 10 с постепенно уменьшающимся диам. до размеров готовой трубы. На схеме фиг. 14 показано: *a*—прошитая заготовка, *b*—оправка, *c*—направляющая для оправки, *d*—толкатель, *e*—направление для толкателя, *f*—станина, *g*—протяжные кольца. При обратном движении рейки оправка вместе с трубой снимается и передается в специальный

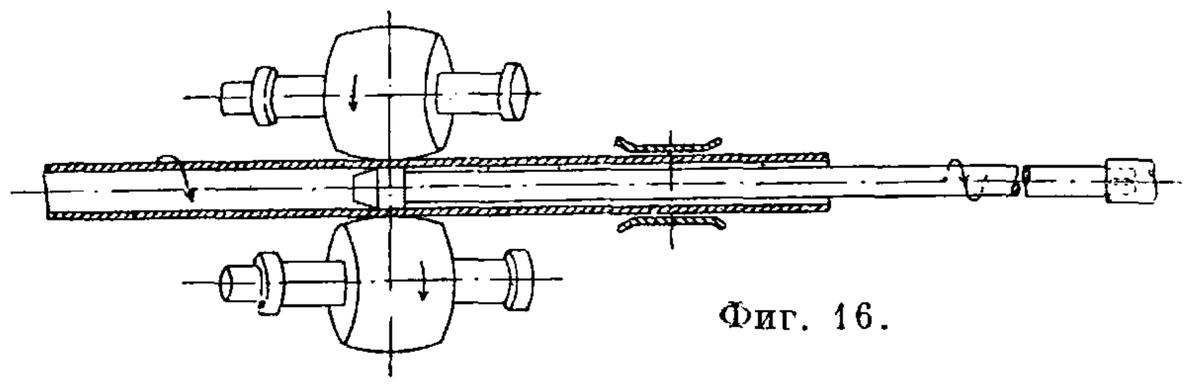


Фиг. 15.

станок (фиг. 15), проходя через валки которого труба несколько расширяется и свободно снимается с оправки, после чего она передается к пиле для обрезки дна и хвоста. Полученная тем или другим способом бесшовная труба должна еще пройти несколько дополнительных операций для устранения некоторых дефектов. Напр. трубы, прокатанные на пильгер-стане, не всегда круглые; диам. их может колебаться (в пределах $\pm 1^1/_2\%$), наружная поверхность не всегда ровная, заметны следы прерывной прокатки и пр. Для нек-рых установок эти обстоятельства не играют существенной роли, напр. для газо-, водо- и нефтепроводов со сварными, а не винтовыми соединениями. Трубы после правки, тщательной проверки относительно дефектов подвергаются испытанию внутренним гидравлич. давлением. Если на концах труб д. б. сделана винтовая нарезка или д. б. насажены фланцы и пр., то для получения б. или м. точного размера наружного диам. конца трубы необходимо калибровать последний на длине 200—250 *мм* в холодном состоянии в матрице гидравлич. пресса. Если же требуется более точный диам. по всей длине трубы, то необходимо в нагретом состоянии пропускать ее через калибровочный стан с одной или тремя парами валков, ручьи к-рых соответствуют требуемому наружному диам. трубы в нагретом виде. Двух-, трехкратным проходом через этот стан при поворачивании каждый раз на 90° трубы получаются круглые по всей длине, точного диам. и достаточно прямые. При пропуске через правильный стан (фиг. 4), состоящий из одной пары валков гиперболич. формы, трубы получаются совершенно прямые, очищенные от окалины, с гладкой поверхностью. Если горячие еще трубы поступают для охлаждения на стелюги, на к-рых благодаря особому устройству при медленном движении и вращении остывают, то в результате искривление будет минимальное, и холодная правка на эксцентриковом прессе потребуется незначительная. Трубы, прокатанные на автоматич., или шведском, стане, имеют внутри риски (следы пробки) и неравномерную по окружности толщину. Для устранения этих недостатков применяют гладильный стан (Realing) (фиг. 16) для получения гладкой внутренней и наружной поверхностей и равномерной толщины. Т. к. диам. при этом несколько увеличивается, то трубы направляются далее в калибровочный и правильный станы. Трубы, полученные по способу Эргардта, также требуют пропуска через

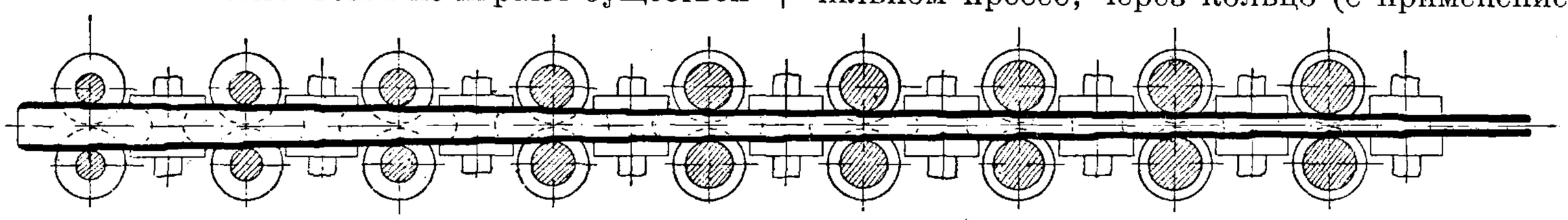


Фиг. 14.



Фиг. 16.

калибровочный и правильный станы. Минимальный наружный диам. бесшовных труб, допускающих рациональное производство, приблизительно 50—60 *мм*, а минимальная толщина 3 *мм*. Из таких труб м. б. получены трубы меньшего диам. и толщины посредством протяжки в нагретом или холодном состоянии на волочильном прессе, через кольцо (с применением



Фиг. 17.

пробки или оправки внутри или без таковой, смотря по требуемой толщине), или же пропуском через редукционный стан (фиг. 17), состо-

ящий из 12—18 пар калибровочных валков. Оси каждой смежной пары валков расположены под углом 90° друг к другу. Размер ручья для каждой пары валков постепенно уменьшается, а скорость вращения валков соответственно увеличивается. Указанным способом можно превратить в час 200 труб диам. 50 *мм* в трубы диам. 15 *мм*, причем длина труб увеличивается, толщина же не уменьшается, так же как и при горячей протяжке без пробки. В соответствии с назначением и способом соединения труб концы их подвергаются различной обработке в холодном или горячем виде. Штанговые трубы, применяемые при вращательном бурении на большую глубину (Rotary Drill Pipes), соединяются посредством винтовых муфт и получают утолщенные концы с целью придать им максимальную прочность. Утолщение концов посредством осадки их производят в нагретом виде посредством 300-*т* гидравлич. пресса в матрице соответствующего профиля и размера. Производительность одного пресса в 8-часовую смену 100—120 концов труб при наружном диам. в 168 *мм* и с осадкой с толщины 8 *мм* на толщину 12 *мм* на длине в 200 *мм* с одним нагревом. **Ф. Тиль.**

Лит.: Hütte, Справочник для металлистов, пер. с нем., М.—Л., 1927; Гавриленко А., Механич. технология металлов, 4 изд., ч. 3, М., 1926; Сидоров А., Трубы и их соединения, М., 1912; Ledebur A., Lehrbuch d. mech.-metall. Technologie, 3 Aufl., Brschw., 1905; Diegel C., Röhrenfabrikation, B., 1901; Gruber K., Ueber d. Herstellung nahtlosen Rohre mit besserer Berücksicht d. Mannesmann-Schrägwalzenverf, Düsseldorf, 1917; Kocks Fr., Das Schrägwalzen, Düsseldorf, 1926; Marks E., The Manuf. of Iron a. Steel Tubes, 2 ed., Manchester, 1903. **С. Таубман.**

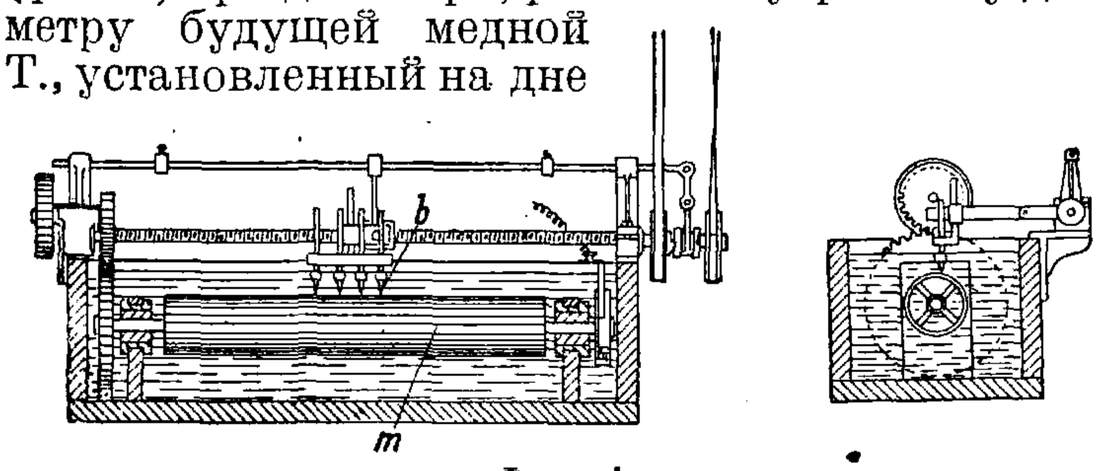
ТРУБЫ, детали машин и инженерных сооружений, имеющие по большей части цилиндрич. форму и служащие для проводки жидкостей, газов и твердых тел. Производство чугунных Т. см. *Труболитейное дело*, прокатка железных и стальных Т. изложена в ст. *Трубопрокатное дело* (см.). О Т. из различных некерамич. и неметаллических материалов—см. *Трубы специальные*.

Т. цветных металлов имеют обширное применение в целом ряде областей промышленности: судостроение, транспорт, турбостроение, авто- и авиастроение, химич. пром-сть, сахарная пром-сть, холодильное дело, пищевая пром-сть и пр. Наибольшее распространение имеют Т. из меди и ее сплавов с цинком, составляя в среднем 16—17% по весу от всех производимых медных и медно-цинковых полуфабрикатов (листов, лент, прутков, палок и проволоки). Медные Т. применяются в паропроводах силовых станций для неперегретого пара в качестве компенсаторов, в установках для горячей воды, в трубопроводах и воздухопроводах высокого давления, в трубопроводах для различного рода соков и сиропов, при малых диаметрах в качестве маслопроводов разных двигателей и машин. Латунные Т. применяются в разных машинах, в частности в поверхностных конденсаторах, а также в качестве полуфабриката для разнообразных целей. Для холодильников, охлаждаемых морской водой (конденсаторов), помимо латунных Т. с содержанием 70% Cu и 30% Zn применяются также Т. из морской латуни с содержанием 70% Cu, 1% Sn и Zn (остальное) или из бронзы: ~91% Cu, 9% Sn и 0,3% P. В настоящее время для конденсаторов наилучшими считаются: Т. из мельхиора (80% Cu и 20% Ni), купроникеля (70% Cu и 30% Ni) и монель-металла. Т. из алюминия и его лёгких сплавов применяются в конструкциях самолетов, самокатов, саней и пр., в виде змеевиков для различной химич. аппаратуры, в трубопроводах для бензина и газолина и в качестве проводников тока. Свинцовые Т. применяются в основной химической, коксобензольной, анилинокрасочной и фармацевтич. пром-сти, в трубопроводах для кислот, в газопроводах и в качестве спускных Т. Оловянные Т. применяются в трубопроводах для вина и пива, аппаратах для производства минеральных вод и т. п. Т. из чистого никеля, цинка и сплавов магния (электрон) имеют небольшое распространение. По способу изготовления Т. подразделяются на клепаные, паяные, сварные и бесшовные (литые, цельнокатаные, цельнотянутые и пр.). В настоящее время клепаные, паяные и литые Т. из цветных металлов применяются очень редко. Наибольшим распространением пользуются цельнотянутые Т. Химический состав металлов и сплавов, из к-рых готовятся Т., и их сортимент определяются общесоюзными стандартами (ОСТ 425, 426, 619, 620, 621, 2605, 2606, 3590, 4632) и промстандартами (ГЦМЗ 27, 30, 31, 32, 38, 48, 57, 59, 158 и Автоавио 134). Кроме состава сплава и основных размеров Т. характеризуются состоянием поверхности, внутренним гидравлич. давлением, к-рое они выдерживают без изменения формы и без проявления течи, и механич. качествами. Т. обычного или торгового качества в отличие от Т. ответственного назначения изготовляются по пониженным технич. условиям.

Способы производства Т. из цветных металлов. Процессы производства клепаных и фальцованных Т. из цветных металлов ничем не отличаются от процессов производства таких же Т. из черных металлов. Способы изготовления Т. из цветных металлов пайкой или сваркой шва мало отличаются от способов аналогичного производства Т. из черных металлов. Процесс производства сварных или паяных Т. состоит из следующих операций: 1) отрезаются полосы из листов или же прокатываются специальные полосы соответствующей ширины; 2) производится подготовка кромок полос под сварку или пайку; 3) свертывается полоса в Т., для чего обычно пользуются волочильным станом или ручным или специальным станком, причем в результате этой операции кромки полосы должны притти впритык; 4) сваривают или спаивают шов; 5) протягивают Т. через волочильное очко и 6) производят операции отделки Т. Медные Т. запаиваются крепким припоем (53% Cu, ⩾0,5% Pb, ⩾0,05% Fe и Zn—остальное). Процесс пайки представляет собой простую операцию и производится при нагреве Т. до $t°$, способной расплавить припой. Внутри стык прикрывается полоской для помещения флюса (буры) и припоя. Для нагрева Т. служит либо газовая паяльная печь, длина к-рой несколько больше длины Т., либо горн на древесном угле, либо пламя паяльной лампы. Латунные Т. спаиваются медноцинковым припоем, содержащим 36—38% Cu, 0,05% Fe, ⩾0,5% Pb, остальное—Zn. Цинковые Т. перед спайкой не нагревают. Для придания цилиндрич. формы полосы цинка свертывают на обычной вальцовке. Кромки соединяют взакрой и пропайку производят, наливая припой между кромками. Припой, состоящий из 32—34% Sn, ⩾1,5% Sb и Pb (остальное), расплавляют паяльником или газовой горелкой. Т. из алюминия м. б. изготовлены с

помощью автогенной сварки с применением флюса, состоящего из 45% KCl, 15% LiCl, 30% NaCl, 7% KF, 3% $NaHSO_4$.

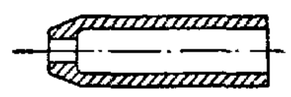
Цельные медные Т. изготовляются электролитическим путем по способу Эльмора (патент взят в 1866 г.). Впервые в России этот способ был применен инж. Н. А. Морозовым в 1895 г. на з-де «Красный Выборжец». Работа по этому способу происходит следующим путем: полированный стальной цилиндр *m* (фиг. 1) при диаметре, равном внутреннему диаметру будущей медной Т., установленный на дне



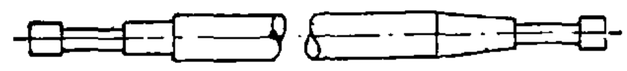
Фиг. 1.

ванны, заполненной раствором медного купороса (3 ч. медного купороса, 1 ч. серной к-ты и 20 ч. воды), медленно вращается посредством зубчатой передачи и служит катодом, а расположенные вокруг последнего медные пластины одинаковой длины служат анодами. При замыкании цепи цилиндр *m* медленно покрывается равномерным слоем меди, к-рому можно придать любую толщину. Для увеличения связи между отдельными отлагаемыми частицами меди Т. во время отложения равномерно уплотняют агатовыми катками *b*. Уплотняющий прибор, на к-ром находятся агатовые катки, помещается на тележке, которая автоматически передвигается по всей длине цилиндра *m* вперед и назад подобно каретке токарного станка. Это продольное движение комбинируется с вращательным движением цилиндра, вследствие чего агатовые катки действуют прессующе на все точки трубы и отлагающийся металл подвергается одинаковому давлению по всей ее длине. Толщина отлагающегося слоя между последовательными нажимами агатовых катков составляет $^1/_{300}$ *мм*. Когда отложенный слой меди достигнет желаемой толщины, цилиндр вынимают из ванны и подвергают его воздействию горячего пара. Так как медная Т. расширяется больше, нежели стальной цилиндр, то она легко снимается с цилиндра. Плотность тока составляет 200 А/*м*². По способу Эльмора можно изготовлять Т. большой длины и значительной толщины, достаточной крепости на разрыв, но с несколько пониженным удлинением. Последующим волочением Т. сопротивление их на разрыв значительно повышается. Однако по ОСТ 425 для изготовления паропроводных Т., а также воздухопроводных и водопроводных Т. высокого давления применять заготовки, полученные путем гальванич. осаждения меди на сердечнике, не разрешается. Бесшовные (цельнотянутые) Т. цветных металлов изготовляются волочением, штамповкой, прокаткой и прессованием. Часто некоторые из этих методов комбинируются.

Производство цельнотянутых Т. цветных металлов состоит из следующих трех процессов: а) получения заготовки для Т., б) получения Т. готового размера из заготовки и в) правки, обрезки и опробования готовой Т. Способов получения заготовки для Т. существует несколько. Наиболее старым является способ волочения пустотелого слитка через матрицу на волочильном стане. В настоящее время этот способ применяется при изготовлении Т. из слитков диаметром до 125 *мм*,

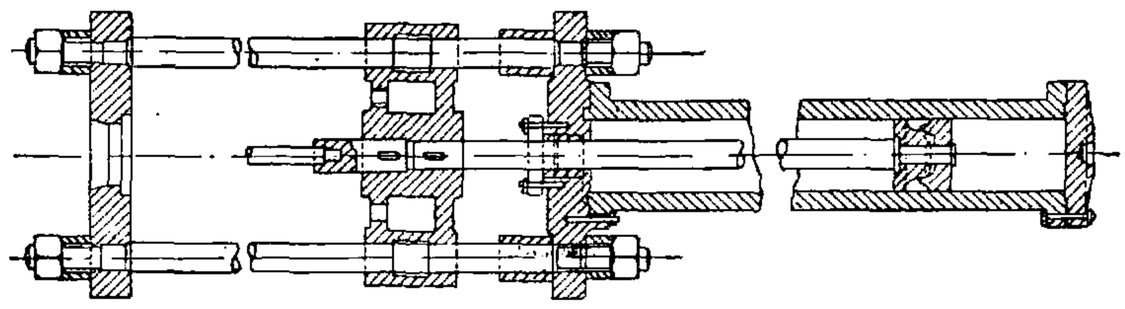


Фиг. 2а.



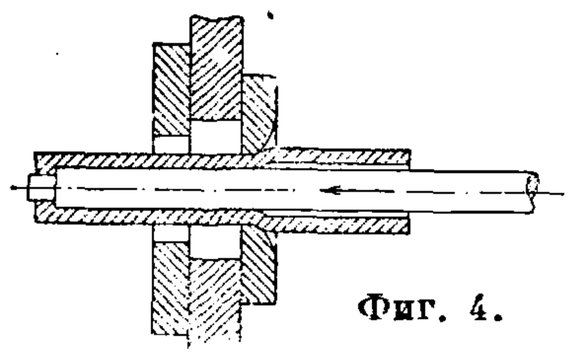
Фиг. 2б.

отлитых из сплавов, вследствие красноломкости трудно поддающихся обработке в горячем состоянии. Полые слитки получаются путем отливки в формы с шишками. Шишка готовится из куска стальной Т., в стенках к-рой просверлен ряд отверстий. Т. обматывается соломой, обмазывается слоем глины и фасонируется деревянным шаблоном вследствие того, что с одного конца отлитый слиток должен иметь внутренний кольцевой заплечик (шишка в нижнем своем конце должна иметь кольцевой уступ). После установки шишки в вертикальную форму, снабженную специальным устройством для удержания шишки на месте, не позволяющем ей сместиться во время заливки, производится заполнение формы металлом.



Фиг. 3.

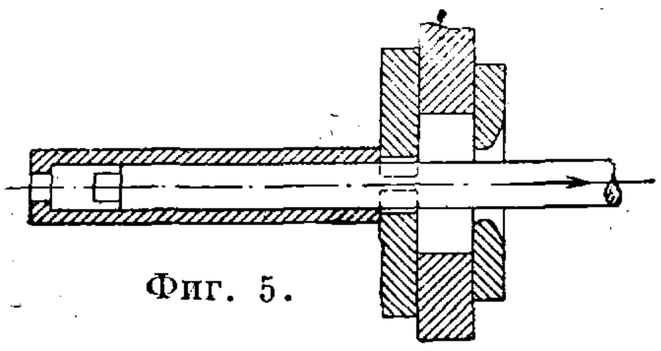
Из остывшего слитка сначала удаляется шишка, а затем слиток обтачивается на токарном станке для удаления поверхностного слоя окислов, раковин, трещин и других поверхностных недостатков. Обточенный слиток (фиг. 2а) надевается на стальной болт (фиг. 2б), головка к-рого захватывается клещами, после чего слиток проволакивается через кольца и превращается в заготовку для Т. После каждой операции протяжки заготовки медно-цинковых сплавов производятся отжиг, травление и промывка. Число протяжек заготовки до Т. готового размера 3—9. Для слитков диаметром больше 125 *мм*, отлитых из сплавов, трудно поддающихся обработке в горячем состоянии, первичный процесс волочения на цепных станах заменяется штамповкой (протяжкой) на горизонтальных гидравлич. прессах (фиг. 3). Слитки с наружным ⌀ от 130 до 400 *мм* и толщиной стенок 20—38 *мм* после очистки, просмотра, отжига, травления и промывки или обточки надеваются на пуансон пресса т. о., чтобы пуансон упирался в кольцевой заплечик заготовки. При движении пуансона вперед заготовка проталкивается через матрицу, укрепленную в станине пресса. Диам. матрицы меньше наружного ⌀ заготовки, а ⌀ пуансона меньше внутреннего ⌀ заготовки. В силу этого в момент протяжки через матрицу происходит уменьшение как внутреннего, так и внешнего ⌀ заготовки (фиг. 4). При обратном ходе пуансона заготовка снимается с него кольцом-сбрасывателем, состоящим из двух половин (фиг. 5). Операциям штамповки на прессе заготовки для Т. подвергаются 2—6 раз с непременным отжигом после каждой штамповки. Затем заготовка поступает на



Фиг. 4.

волочильный стан, где в 2—3 протяжки доводится до требуемого размера Т.

Для ответственных изделий (конденсаторных Т.) слиток отливают сплошным, а затем слиток просверливают и заготовку протягивают со стальным болтом на волочильном стане. Для изготовления толстостенных Т. больших ⌀ из латуни Л 60 (и очень редко из красной меди) применяют метод штамповки полых слитков в горячем состоянии. Для этой цели полый слиток нагревают и надевают на пуансон горизонтального гидравлич. пресса, после чего протягивают через матрицу с промежуточными нагревами несколько раз. С целью получения Т. больших ⌀ из литых заготовок меньшего ⌀ последние вначале подвергают раздаче в горячем состоянии. Для этого выбирают ⌀ пуансона несколько бо́льшим внутреннего ⌀ заготовки, заставляя в горячем состоянии под давлением пресса заготовку набегать на пуансон, вследствие чего происходит увеличение наружного и внутреннего ⌀ трубы. Затем заготовку, надетую на другой пуансон, проталкивают через матрицу, ⌀ отверстия к-рой меньше наружного ⌀ трубы; в результате этого происходит уменьшение наружного ⌀ заготовки, утонение ее стенки и увеличение ее длины. Окончательный размер заготовка получает путем штамповки (протяжки) в холодном состоянии на тех же прессах с уменьшением как внутреннего, так и внешнего ⌀ заготовки. Приведем в качестве примера схему изготовления трубной заготовки 190×213 *мм* красной меди:



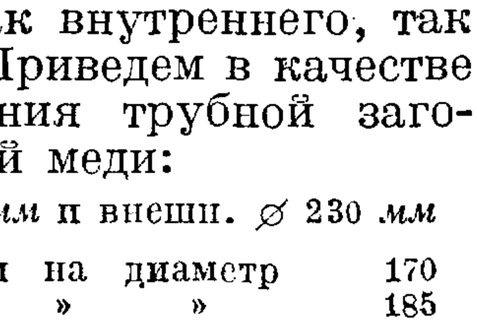
Фиг. 5.

Полый слиток с внутр. ⌀ 150 *мм* и внешн. ⌀ 230 *мм*

1	раздача в горячем состоянии на диаметр	170
2	» » » » » »	185
3	» » » » » »	195
4	штамповка (протяжка) в горяч. сост. на разм.	195×245
5	» » » » » » »	195×235
6	» » » » » » »	195×230
7	» » » » » » »	195×225
8	» » » холодн. » » »	190×213

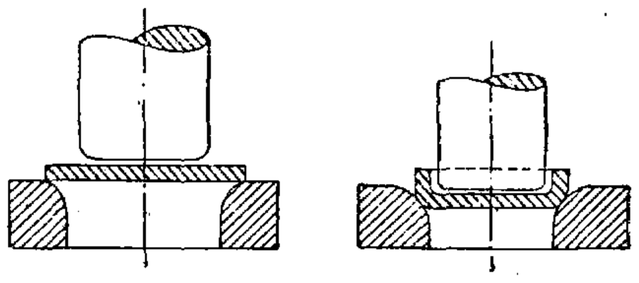
Полученная заготовка поступает затем на волочильные станы для волочения в Т. желаемых точных размеров.

Изготовление Т. красной меди большого ⌀ весом свыше 100 *кг* производится путем штамповки в горячем состоянии плоских круглых заготовок. Плоские круглые слитки весом до 1 000 *кг* для уплотнения сначала прокатывают в горячем состоянии на стане для прокатки толстых листовых заготовок. После этого прокатанные плоские круглые заготовки при $t°$ 900° подвергают штамповке на вертикальном гидравлич. прессе. При первых операциях штамповки образуется чашка, которая постепенными переходами вытягивается в цилиндрич. заготовку (фиг. 6). Перед каждым штампованием заготовку нагревают, устанавливают новые пуансоны и матрицы, ⌀ которых меньше ⌀ обрабатываемой трубной заготовки, т. ч. после каждой операции штамповки происходит уменьшение наружного и внутреннего ⌀ трубной заготовки. Дальнейшая штамповка ведется на горизонтальном прессе. В результате штамповки в горячем состоянии трубная заготовка получается длиной ок. 2,5 *м*, наружным ⌀ 200—300 *мм*, с толщиной стенки 15—25 *мм* и с полукруглым дном. В дне полученной заготовки просверливают отверстие, заготовку надевают на оправку и подвергают операции волочения в холодном состоянии на волочильных станах мощностью свыше 50 *т*. Вышеизложенный метод—очень медленный, требует многих и частых подогревов, а поэтому мало эффективен.



Фиг. 6.

Изготовление трубной заготовки для получения очень тонкостенных Т., напр. радиаторных, производится с помощью холодной штамповки. Еще недавно этот метод применялся и для обычных тонкостенных Т. ⌀ до 75 *мм*. Для этой цели исходным материалом служили круги толщиной ок. 15 *мм* и ⌀ ок. 400 *мм*. Из этих кругов на вертикальных механических приводных или гидравлических прессах сначала выштамповывали чашечку, которая путем ряда переходов с промежуточными операциями отжига и травления вытягивалась на прессах в тонкостенную заготовку (фиг. 7а и 7б). Окончательные размеры заготовка получала лишь последующим волочением на цепных станах. Исходным материалом для радиаторных трубочек ⌀ 7—12 *мм* с толщиной стенки 0,12—0,15 *мм* на нек-рых заводах являются кружки толщиной ок. 2 *мм*, к-рые на прессах (коленчатых или винтовых фрикционных) выштамповываются в холодном состоянии в гильзы длиной 400—500 *мм*. Дальнейшую обработку ведут на волочильных станах легкого типа.

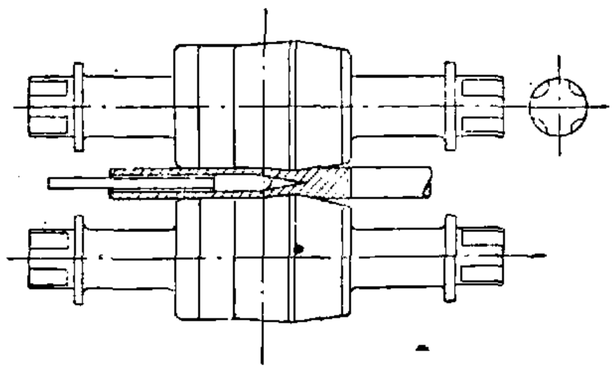


Фиг. 7а.

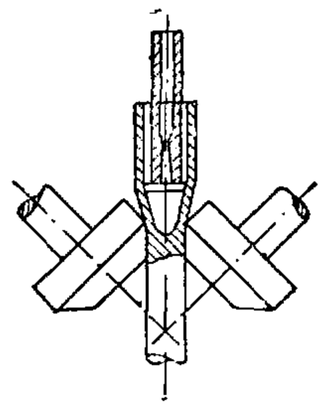
Фиг. 7б.

В большом количестве заготовки для производства Т. из меди и сплавов, хорошо поддающихся обработке в горячем состоянии, получают косой прокаткой круглых слитков. Косая прокатка трубных заготовок на стане Маннесмана существенно ничем не отличается от прокатки этим способом заготовок для стальных Т. В СССР цилиндрич. слитки красной меди для прокатки по способу Маннесмана отливаются в чугунные изложницы и имеют ⌀ 75—150 *мм* при весе 32—140 *кг*. Нагретые до 900° слитки прокатываются на стане Маннесмана в трубную заготовку с толщиной стенки 8—10 *мм* и более, напр. слиток ⌀ 100 *мм* дает заготовку 70×96, а слиток ⌀ 120 *мм*—90×116 *мм*. Дальнейшая обработка производится в холодном состоянии на волочильных станах с промежуточными отжигами при 700° и последующим травлением в 10%-ном растворе H_2SO_4. При изготовлении Т. красной меди ⌀ свыше 150 *мм* отлитые слитки подвергают прокатке на стане Маннесмана два раза. После раздачи на гидравлических прессах трубную заготовку протаскивают через матрицу для уменьшения наружного ⌀, утонения стенок и увеличения длины заготовки. Все операции штамповки производятся после отжига материала в холодном состоянии. Таким путем получаются трубные заготовки ⌀ до 300 *мм* и более. Окончательные размеры Т. получает при

последующем волочении на волочильных станах. Следует отметить, что на станах Маннесмана нормального типа не всегда удавалось получать трубные заготовки с высокими механическими качествами. На поверхности заготовок иногда появляются микроскопические трещины, что является исключительно следствием самой конструкции рабочих валков стана



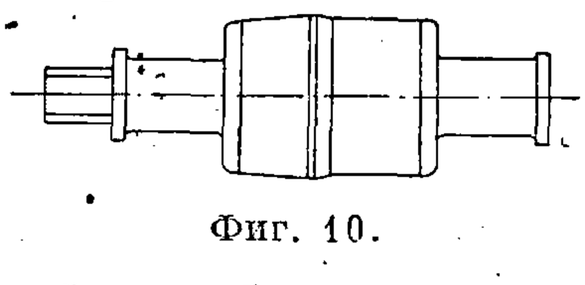
Фиг. 8.



Фиг. 9.

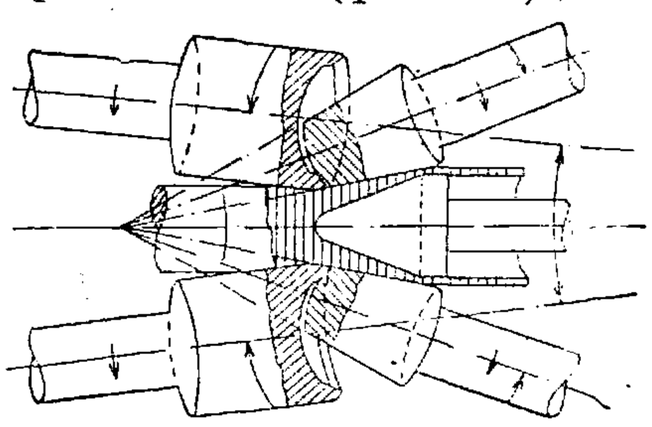
Маннесмана нормального типа (фиг. 8). В правой части каждый из валков представляет собой как бы два усеченных конуса, соединенных основаниями; наибольший ⌀ валка отвечает наименьшему ⌀ слитка, а наименьший ⌀ валка—наибольшему ⌀ слитка.

В виду значительной разницы в окружных скоростях слитка и валков в слитке получаются добавочные усилия скручивания, следствием чего являются вышеуказанные микроскопические трещины. Поэтому, оставляя в основном принцип Маннесмана без изменения, многие конструкторы внесли изменения, касающиеся гл. образом установки валков и их профиля. На фиг. 9 показаны валки стана Штифеля, на фиг. 10—валок стана Heer, на фиг. 11—валки, изготовляемые фирмой Зак, а на фиг. 12 изображен слиток с центрировкой для облегчения захвата его валками. Наиболее новой и рациональной конструкцией валков является конструкция герм. фирмы Зак. В стане этой фирмы имеются две пары валков, расположенных друг за другом, из к-рых первая пара цилиндрич. валков захватывает слиток и сужает его, а вторая пара конич. валков раздает слиток, образуя трубную заготовку. Конструкция валков и расположение их дают настолько незначительную разницу в окружных скоростях между слитком и валками, что скручивания слитка не происходит. Такой стан дает возможность получать трубную заготовку ⌀ 40—150 *мм* с толщиной стенки 3—5 *мм*. Вместе с тем этот стан обладает значительной производительностью. В то время как новейшие америк. станы дают от 12 заготовок размером от 110×160 *мм* до 40—50—размерами 60×75 *мм* в час, на этом стане производительность достигает 90—100 трубных заготовок среднего размера в час.

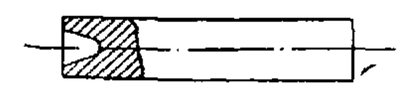


Фиг. 10.

В настоящее время наиболее распространенным методом производства заготовок для цельнотянутых Т. из цветных металлов является метод прессования слитков в горячем состоянии на специальных прессах. Трубная заготовка путем прессования получается с размерами настолько близкими к размерам готовой Т., что для получения Т. заданных размеров заготовке приходится давать всего 1—2 протяжки на волочильном стане. Прессование дает возможность получать трубные заготовки из сплавов, трудно поддающихся прокатке в горячем состоянии. Слитки изготовляются из меди, латуни, дельта-металла, алюминиевой бронзы, купроникеля, алюминия, дуралюмина, магниевых сплавов (электронов), цинка, свинца, олова и пр. Для того чтобы по остывании слитки легко вынимались из изложниц, металл отливается в чугунные, немного конические изложницы. Для получения трубной заготовки путем прессования необходимо хорошее качество слитка, без усадочной раковины, без поверхностного слоя окислов, с чистой и без изъянов поверхностью. Поэтому после остывания от слитков отрезается прибыль для удаления усадочной раковины в верхней части, а сами слитки обычно подвергаются обточке. Далее слитки подвергаются нагреву в печи при $t°$ нагрева слитков: красной меди 700°, латуни (в зависимости от состава) 700—780°, алюминия и дуралюмина 400—450°, электрона и других магнезиевых сплавов 330—380°. Нагретые слитки поступают на прессование. Полная гидравлич. установка для прессования (фиг. 13) состоит из: 1) горизонтального или вертикального пресса *1* для производства труб; 2) аппарата управления (дистрибутора) *2*, с помощью к-рого путем направления воды, находящейся под давлением 150—400 *atm*, к той или другой рабочей части пресса производятся все операции при прессовании; 3) насоса высокого давления *3*, приводимого в движение мотором и подающего воду к прессу непосредственно или к специальному устройству—аккумулятору; 4) аккумулятора (*4*—водяной резервуар, *5*—воздушный резервуар) для собирания воды высокого давления, поддержания равномерного давления воды в сети и сглаживания толчков при подаче насосами воды в трубопровод в промежутки между операциями прессования; 5) бака *6*, к-рый питает насосы и в к-рый поступает отработанная вода.

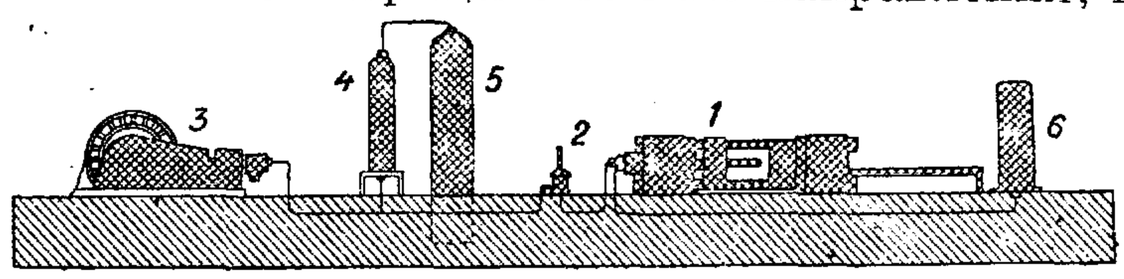


Фиг. 11.



Фиг. 12.

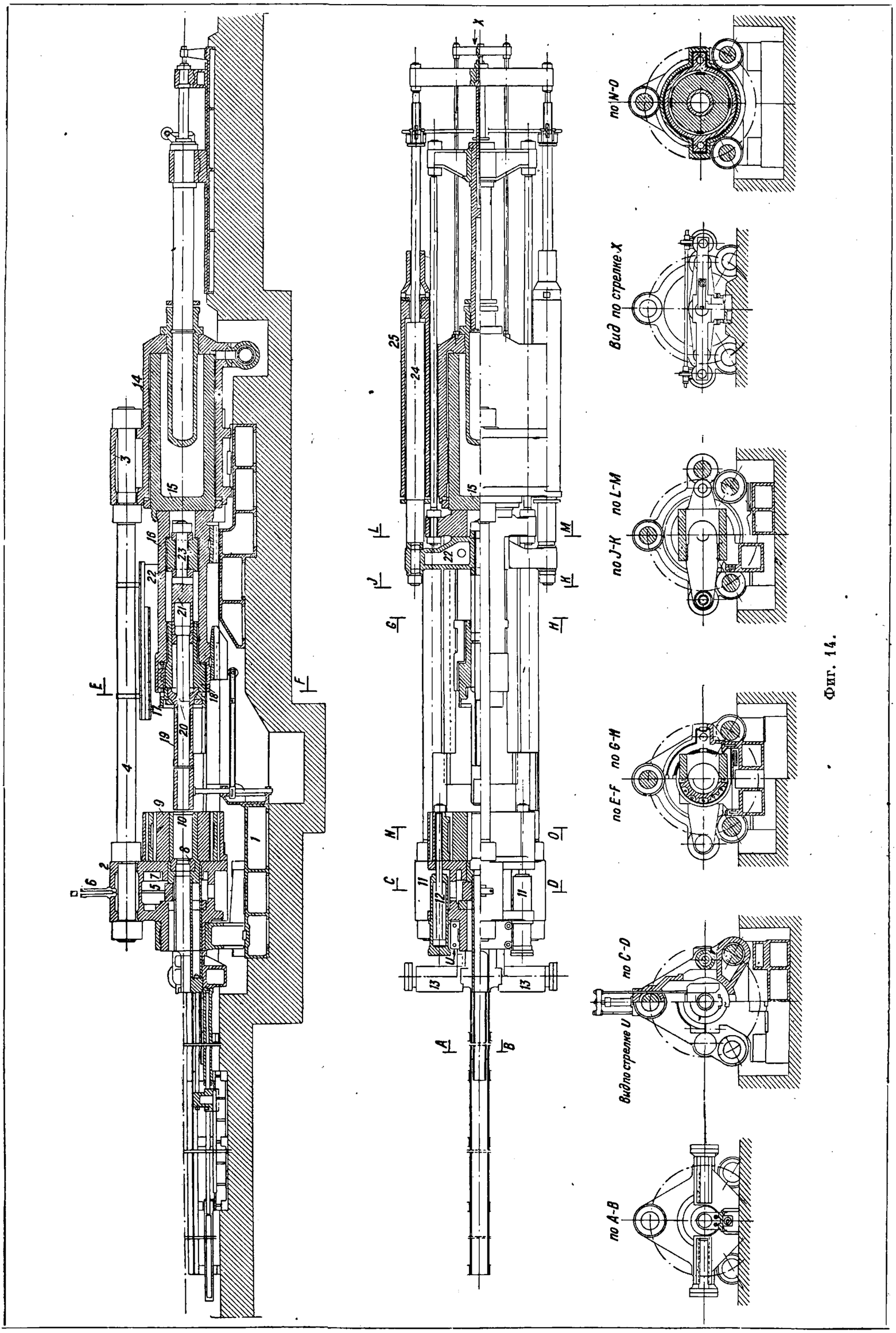
При производстве Т. пользуются т. н. прямым методом прессования, при к-ром металл вытекает из матрицы в том же направлении, в



Фиг. 13.

к-ром движется прессующий шток. Этот метод по количеству получаемых отходов при прессовании значительно уступает обращенному методу прессования, при к-ром металл движется в направлении, противоположном движению штока, и к-рый с успехом применяется при производстве прутков и профилей; т. к. на одном и том же прессе обычно прессуют не только Т., но и прутки и профили, то в настоящее время получили распространение гидравлич. горизонтальные прессы, комбинированные для работы по прямому и обращенному методам, причем на них обычно Т. готовятся прямым методом, а прутки и профили обращенным.

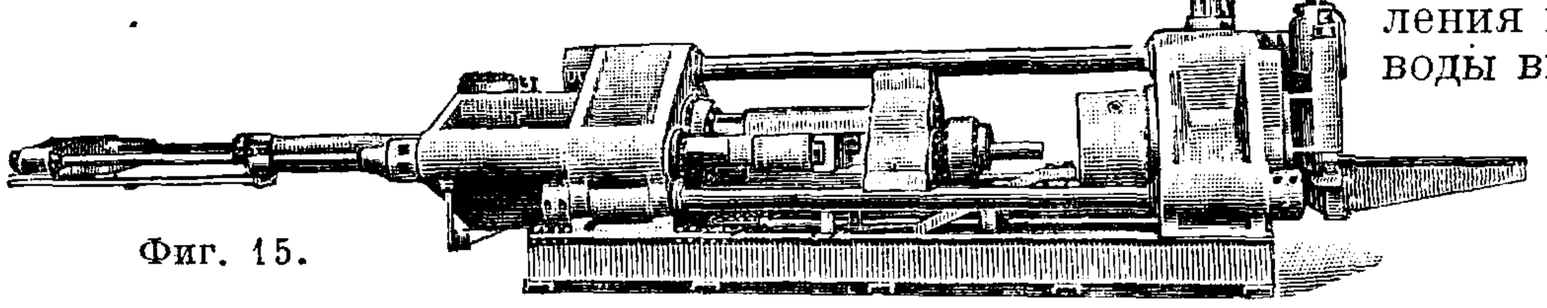
На фиг. 14 показан такой пресс мощностью в 3 000 *т*. В этом прессе на массивной литой


Вид по стрелке X
по N-O
по J-K
по L-M
по E-F
по G-H
Вид по стрелке U
по C-D
по A-B

Фиг. 14.

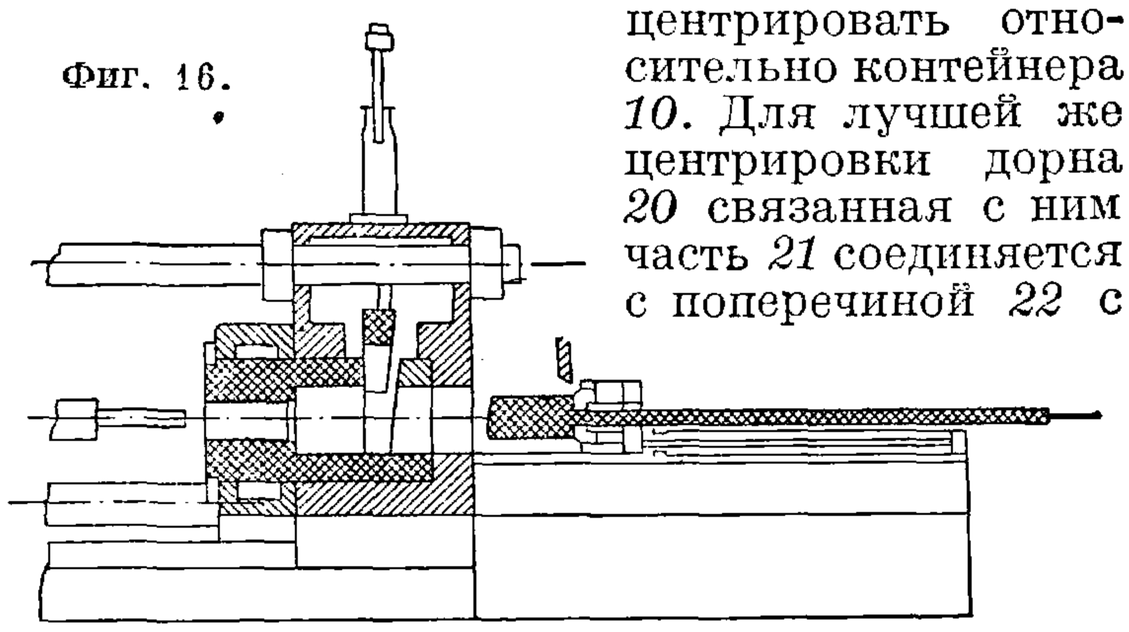
чугунной раме *1* установлены основные станины пресса—передняя *2* и задняя *3*, связанные между собой при помощи тяг *4*. В передней части станины помещена матрица с матрицедержателем *8*, упором *7* и замком *5*, закрепляющим упор. Замок *5* может приподниматься при помощи цилиндра *6*, и матрицедержатель тогда освобождается. К матрице, имеющей отверстие, равное наружному ⌀ прессуемой Т., примыкает рабочий цилиндр *10*, в к-рый вводятся для прессовки нагретые слитки, т. н. контейнер. Новейшие конструкции предусматривают в корпусе *9* устройство специальной камеры с электрич. подогревателем контейнера до 700°. Корпус *9* вместе с контейнером *10* при помощи цилиндров *11* может передвигаться, т. к. плунжеры *12* цилиндров скреплены с корпусом *9*. В задней станине помещается главный стальной гидравлич. цилиндр *14*, имеющий пустотелый стальной плунжер *15*, к торцу к-рого прикреплен цилиндр *16*. В передней части цилиндра *16* помещается головка *18* со штоком *19* и с дорном *20* для прошивки слитка. Дорн *20* посредством деталей *21* и *23* связан с поперечиной *22*. Последняя может получать передвижение от плунжеров *24* гидравлич. цилиндров *25*. Пресс той же конструкции, но меньшей мощности изображен на фиг. 15.

Процесс изготовления трубной заготовки на подобных прессах протекает сл. образом: нагретый круглый слиток несколько меньшего ⌀, чем ⌀ контейнера, вводится в последний, к-рый для предохранения слитка от остывания все время подогревается электрич. подогревателем. После того как слиток введен в контейнер, дается ход штоку *19*, к-рый так нажимает на слиток, что целиком заполняется вся полость контейнера по диаметру. Затем шток *19* немного отводится назад и дается рабочий ход дорну *20*, к-рый прошивает всю толщу слитка по горизонтальной центральной оси и несколько заходит своим концом в очко матрицы, закрепленной гидравлич. клиновым затвором. Т. о. между телом дорна *20* и краями очка матрицы остается кольцеобразное отверстие, отвечающее по форме и площади поперечному сечению тела требующейся трубной заготовки. После того как прошивка слитка окончена, дается рабочий ход штоку *19*, к-рый прессует слиток, заставляя металл течь в кольцевое отверстие между дорном и матрицей с образованием трубной заготовки определенного размера по диаметру и по толщине стенок. По окончании операции прессования замок *5* поднимается вверх, шток *19* получает еще небольшое движение вперед и выталкивает матрицедержатель с недопрессованной частью слитка, к-рая обрезается затем ножницами, работающими от цилиндров *13*. На фиг. 16, изображающей переднюю станину пресса другой конструкции, показан выведенный матрицедержатель с недопрессованной частью слитка. После отрезки остатка матрицедержатель с матрицей возвращают на место и закрепляют.



Фиг. 15.

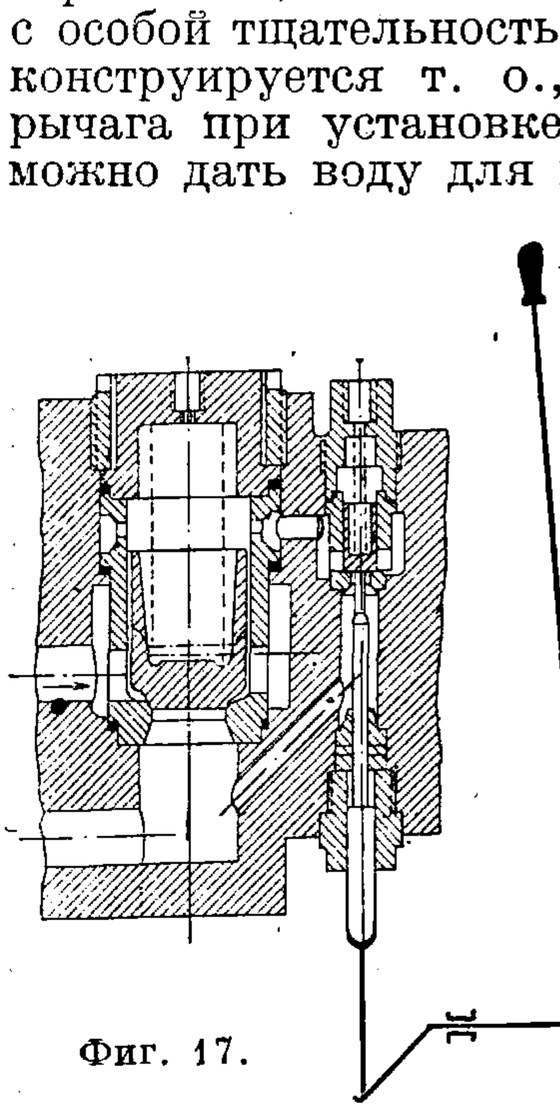
Для получения строго концентрич. трубных заготовок независимо от износа трущихся частей пресса (плунжеры, направляющие и пр.) весьма важно следить за тем, чтобы ось дорна находилась в состоянии полной и постоянной концентричности по отношению к контейнеру и очку матрицы. Для этой цели головку *18* с укрепленным к ней штоком *19* и дорном *20* с помощью установочных клиньев *17* можно центрировать относительно контейнера *10*. Для лучшей же центрировки дорна *20* связанная с ним часть *21* соединяется с поперечиной *22* с помощью шаровидных шайб и болта *23*. Шаровидные шайбы служат для уничтожения перекоса. В целях избежания нагрева станины пресса от контейнера и тем самым для предотвращения перекашивания всей системы в современных прессах контейнер устанавливают всегда в особом, независимом от станины корпусе. Кроме того контейнер в лучших конструкциях вставлен не прямо в своем корпусе, а укрепляется четырьмя клиньями в особом цилиндре, что дает ему возможность свободно расширяться в своем гнезде. Этот цилиндр вставлен в корпус и крепится в нем также с помощью клиньев, причем он опирается по своему диаметру в горизонтальной плоскости на две опоры так, что нагрев контейнера почти не передается корпусу. Ввод нагретого слитка в контейнер производят с помощью штока *19* при пуске воды в цилиндры *14* и *25* и приведении пресса в движение. Для этой цели вода высокого давления не требуется. В целях экономии воды высокого давления в современных прессах устанавливают «виндкессель», представляющий собой сваренный баллон котельного железа, верхняя половина которого наполнена сжатым воздухом с давлением 10—20 *atm*. В виндкессель вода подается из главного цилиндра при обратном ходе пресса. Установкой виндкесселя достигается 40—50% экономии в воде высокого давления, что ведет к значительному снижению стоимости прессования. Вода высокого давления поступает в питающую пресс сеть от насосов. При прессовании требуется чрезвычайно быстро дать полный ход рабочему поршню. Это обстоятельство вызывает необходимость подачи за короткий промежуток времени прессования значительного количества воды. Для возможности быстрой работы, поддержания равномерного давления воды в сети и удешевления насосной установки ставят аккумуляторы. Аккумуляторы позволяют насосам небольшой мощности, рассчитанным не на максимальный действительный расход воды во время прессования, а на средний в ск., сообразно количеству операций прессования в час, работать почти непрерывно. При этом насосы подают воду в аккумулятор, имеющий значительный объем, с тем, чтобы в момент прессования аккумулятор мог быстро дать потребное количество воды из произведенного им запаса. Аккумуляторы устанав-



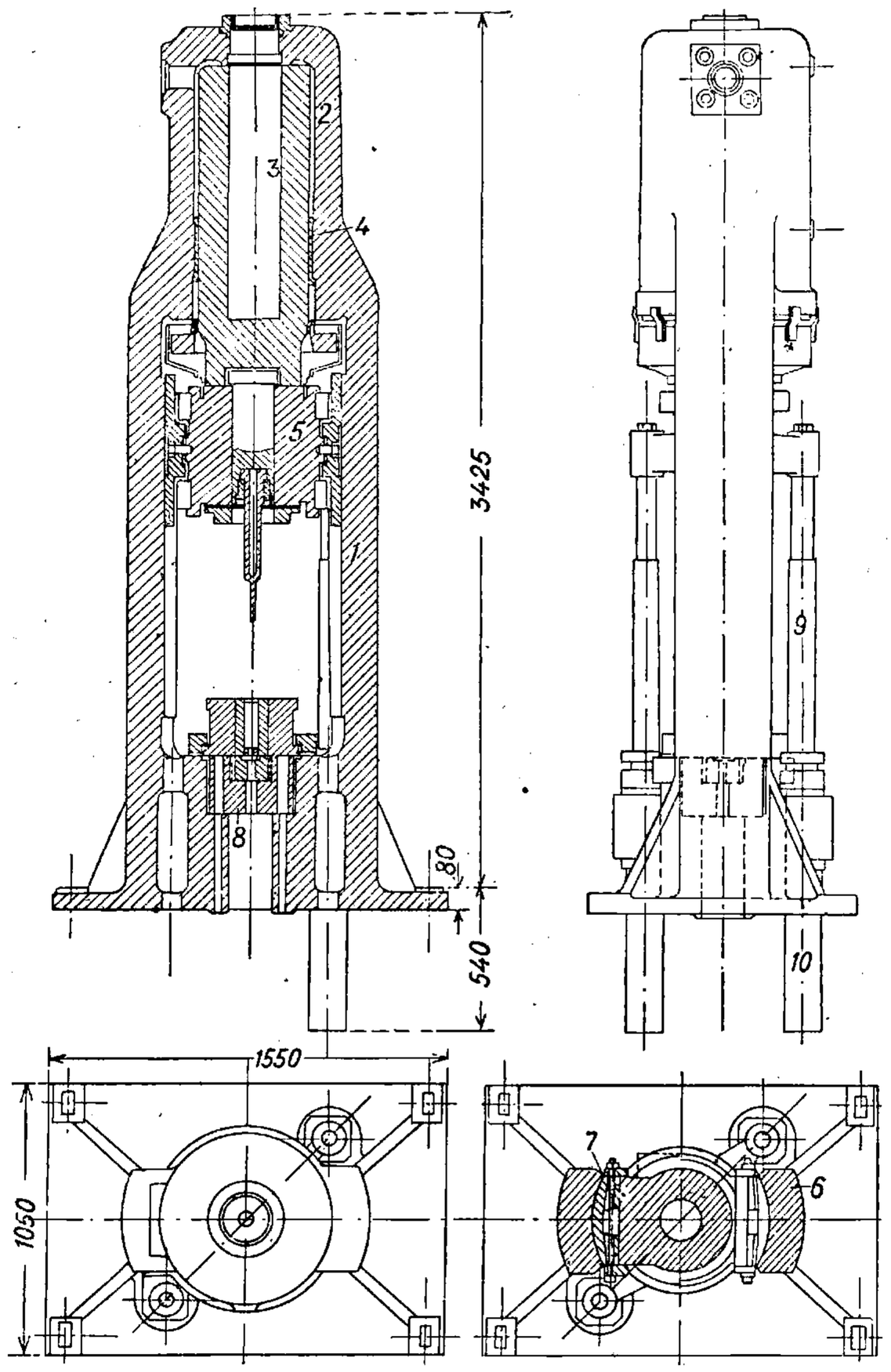
Фиг. 16.

ливаются двух типов: грузовые и пневматические. Грузовые *аккумуляторы* (см.) обладают тем существенным недостатком. что их нагрузка является постоянной, а вследствие этого они не позволяют работать с переменным давлением. Необходимость в перемене давления возникает при прессовании разных цветных сплавов с целью вести прессование с наивыгоднейшей для данного сплава скоростью. К числу других недостатков грузовых аккумуляторов следует отнести сравнительную громоздкость и значительную дороговизну установки, возможность получения гидравлических ударов при быстром закрытии распределительных кранов, результатом чего могут быть весьма частые разрывы и аварии в водопроводной сети прессовой установки. Пневматические аккумуляторы не обладают указанными выше недостатками, дают почти постоянное давление, к-рое может быть повышено или понижено. Пневматический беспоршневый аккумулятор не имеет никаких трущихся и снашивающихся частей и является наиболее совершенным из всех остальных конструкций (см. *Прессы*). Насосы для питания прессов водой высокого давления ставятся горизонтальные или вертикальные, обычно двух-, трех- и четырехплунжерные, могущие давать воду под давлением 50—400 *atm* (см. *Насосы*).

Дистрибутор, или распределитель воды, работает обычно под большими давлениями. В силу этого все его части изготовляются из кованой стали, а клапаны и их гнезда — из нержавеющей стали. Все части д. б. пригнаны с особой тщательностью. Дистрибутор обычно конструируется т. о., что одним поворотом рычага при установке его против указателей можно дать воду для полного давления, хода вперед, остановки и хода назад. Дистрибутор состоит из стальной поковки, помещающейся на литой стальной станине. Для уменьшения усилия при открывании клапана в аппарате управления клапаны делают двойными. На фиг. 17 изображена конструкция клапана для прессов мощностью около 3 000 *т*. В этой конструкции при начале движения рычага поднимается маленький разгрузочный клапан и вода поступает по каналу вниз под главный клапан. Под влиянием давления снизу большой клапан автоматически открывается. По характеру выполняемой работы прессовые установки можно разбить на три основные группы: 1) для трубных заготовок крупного сортамента—горизонтальные гидравлич. прессы мощностью 2 000—5 000 *т*, дающие заготовки для Т. наибольшего размера 300 × 280 *мм* и ниже; 2) для трубных заготовок среднего сортамента—горизонтальные гидравлич. прессы мощностью 1 000—1 500 *т*, дающие заготовки Т. максимального размера 200 × 180 *мм* и ниже; 3) для трубных заготовок мелкого сортамента: а) горизонтальные гидравлич. прессы мощностью 750 и 600 *т*, дающие заготовки для Т. наибольшего размера 110 × 100 и ниже, б) вертикальные гидравлич. прессы мощностью 750, 600, 450 и 300 *т*, дающие заготовки для Т. наибольшего размера 90 × 80 и ниже, в) вертикальные механические прессы в 600 и 300 *т*. Прессы в 600 *т* дают заготовки для Т. ∅ до 50 *мм* при



Фиг. 17.



Фиг. 18.

толщине стенки 1½ *мм*, а прессы в 300 *т* дают заготовки для Т. ∅ 16—30 *мм* при толщине от 1 *м* и выше. В производстве труб мелкого сортамента и точных по размерам вертикальные прессы имеют перед горизонтальными значительные преимущества. В вертикальных прессах не приходится считаться с возможностью смещения центральной линии контейнера по отношению к прошивному дорну вследствие расширения корпуса контейнера от повышения *t*°. В них отпадает возможность износа горизонтальных рабочих поверхностей пресса, требующих особого наблюдения. Получение на горизонтальных прессах трубной заготовки внутреннего ∅ ниже 45 *мм* при толщине стенки ниже 3 *мм* является экономически менее выгодным, чем на вертикальных прессах, почему в настоящее время считается нормальным производить заготовку для Т. ∅ 45—50 *мм* на горизонтальных прессах, заготовку Т. ∅ 25—45 *мм* на вертикальных 600-*т* прессах, а заготовку с ∅ менее 25 *мм* на вертикальных 300-*т* прессах.

На фиг. 18 изображен гидравлич. вертикальный пресс, отличающийся чрезвычайной простотой конструкции, большой производительностью и небольшими размерами по высоте. Главный гидравлич. цилиндр *2* расположен на-

верху стальной станины *1*. Внутри главного цилиндра *2*: бронзовая букса *4*, плунжер *3*, оканчивающийся снизу ползуном *5*, перемещающимся по направляющим *6*. Для выверки правильности движения ползуна служат подтягивающие клинья *7*. Внизу станин установлено гнездо для головки матрицедержателя *8*. Ползун *5* поднимается плунжерами *9*, работающими от гидравлич. цилиндров обратного хода *10*. Для обеспечения правильности работы пресса главный цилиндр, цилиндрич. направляющие для ползуна и гнездо для головки матрицедержателя растачиваются с одной установки. Дорн скреплен вместе со штоком и отдельного хода от штока не имеет. Это обстоятельство требует обязательного применения только центрированных слитков. Подобные прессы работают при давлении в 200 *atm*. Недостатком прессов описанной конструкции является возможность изгиба прошивного дорна при работе. В других конструкциях, где дорн для прошивки имеет ход независимо от хода штока, дорн не подвергается изгибу, так как прошивка начинается лишь после того, как шток предварительно несколько сжал заготовку. Однако эти прессы гораздо сложнее, мало производительны и требуют для своей установки более высокого помещения. Вертикальные механические приводные прессы получили небольшое распространение. По конструкции они очень сходны с вертикальными гидравлич. прессами, отличаясь лишь способом действия. В смысле производительности, сортамента, количества отходов, приемов работы и пр. приводные вертикальные прессы никаких преимуществ при сравнении с гидравлическими не дают.

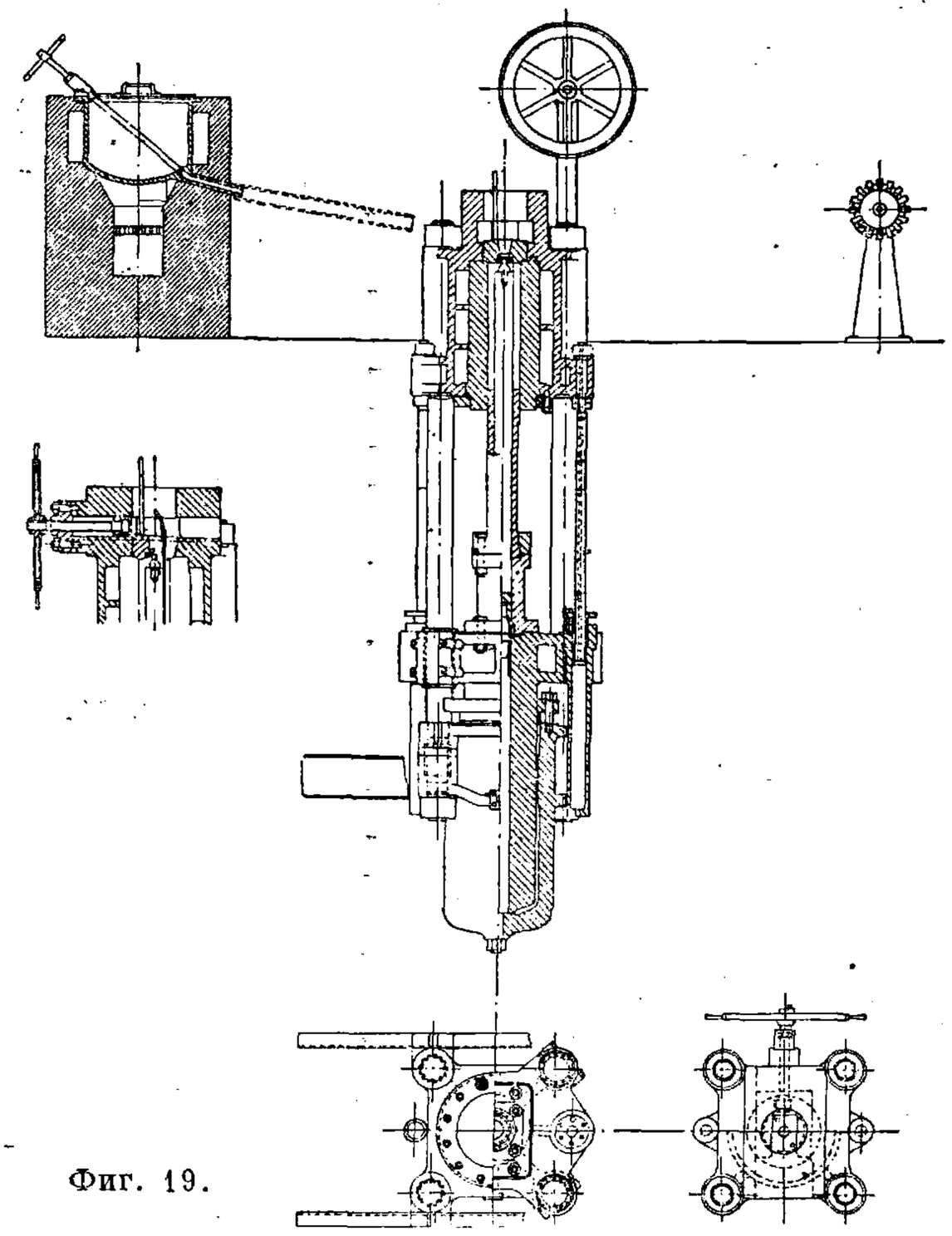
На фиг. 19 изображен вертикальный пресс мощностью 400 *m* для прессования свинцовых и оловянных Т. Пресс работает при давлении воды в 300 *atm*. Подъем штока пресса равен 750 *мм*. Перед началом работы контейнер пресса наполняется расплавленным металлом из рядом расположенной печи с котлом для плавки. Прессование начинается сейчас же после отвердевания металла. Для предохранения слитка от остывания контейнер подогревается. Около пресса устраивается ворот с горизонтальной осью, на к-рый наматывается выпрессованная готовых размеров Т. В таблице даны характеристики нек-рых приводных и гидравлических прессов для изготовления Т.

Характеристики гидравлических и приводных прессов для изготовления труб.

Прессы	Прессование		Прошивка дыр		Рабочее давление, *atm*	Слиток		Производительность			Расход воды в *л* на прессование выпускаемых Т.	
	Давление, *m*	Ход, *мм*	Давление, *m*	Ход, *мм*		Наиб. длина, *мм*	Наиб. ∅, *мм*	Трубы ∅, *мм**1	Трубы ∅, *мм*	Выпуск в час*2	в час	в мин.
Горизонт. гидравлические	3 000	2 100	300	2 400	300	900	425	50/54	280/300	25	1 200	500—700
	2 500	2 100	250	2 400	300	900	400	45/47	280/300	30—40	1 000	500—670
	2 000	1 800	200	2 150	300	800	360	34/36	230/250	40—50	800	530—670
	1 500	1 600	150	2 000	300	700	310	22/24	180/200	50—60	600	500—600
	1 000	1 600	100	2 000	200	700	260	19/21	130/150	50—60	600	500—600
	600	1 200	60	1 600	200	500	195	14/16	100/110	60—70	425	425—500
Вертик. гидравлические	750	825	80	1 150	200	275	220	16/18	80/90	65—85	170	185—210
	600	730	70	970	300	200	110	14/16	60/65	70—90	95	110—145
	600	730	70	970	200	200	140	14/16	60/65	70—90	140	165—210
	300	630	35	810	300	150	95	10/12	40/45	80—100	60	80—120
	300	630	35	810	200	150	95	10/12	40/45	80—100	90	120—180
Вертик. механические	600	—	—	—	—	190	100	30/33	50/53	40—60	—	—
	300	—	—	—	—	160	60	16/18	30/32	60—80	—	—

*1 Величины следует считать как возможные; при массовом производстве стенки трубы обычно получаются толще. *2 На многих з-дах такая производительность еще не достигнута.

Следует отметить, что минимальная толщина стенки трубной заготовки, площадь ее сечения и коэф. вытяжки, получаемые при прессовании из слитков одного и того же размера и на одном и том же прессе, зависят от сплава, из к-рого трубная заготовка изготовляется.



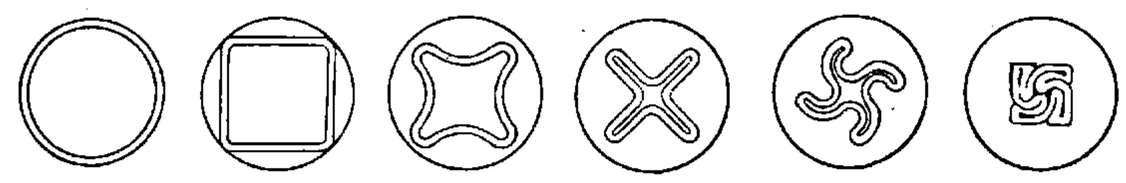
Фиг. 19.

По трудности прессования металлы можно разделить на следующие 4 группы: а) легко прессуемые: алюминий, олово, цинк, свинец и Л 59, б) нормально прессуемые: чистая медь, нек-рые сплавы алюминия и Л 62, в) трудно прессуемые: латунь с содержанием меди 65—70%, г) очень трудно прессуемые: дуралюмин,

морская латунь, купроникель и прочие медноникелевые, а также бронзовые сплавы. Исходя из трудности настройки прессов, экономии на расход инструмента и снижения процента брака и отходов, практикой в настоящее время выработаны следующие толщины Т. как минимальные (в *мм*):

Сплав	Горизонт. пресс	Вертик. пресс
Латунь Л 62, Cu и Al . .	2—3	1
Л 68	3—5	1
Дуралюмин	3—6	2

Для получения хороших механических качеств трубной заготовки необходимо, чтобы при прессовке слиток был в достаточной мере обжат. Величиной минимально возможной вытяжки $\mu=\frac{F}{f}$ принимают равным 15, где F — сечение слитка, а f—сечение готовой трубной заготовки. Обычно же в целях получения трубной



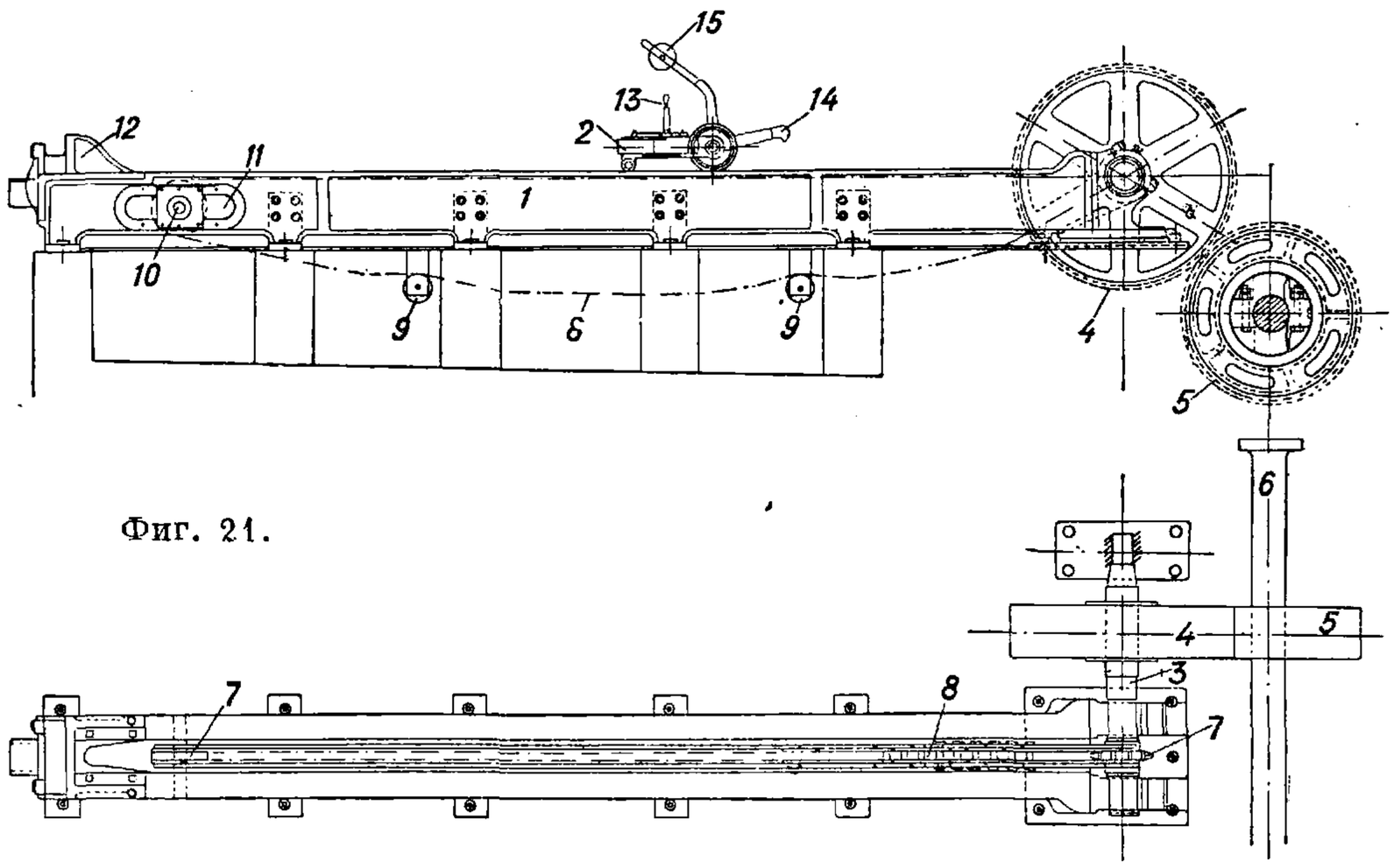
Фиг. 20.

заготовки наилучшего качества при соблюдении необходимых $t°$-ных границ прессования принимают коэф. μ вытяжки не менее 50. Для облегчения работы с тяжело прессуемыми сплавами прибегают к работе не с цельными, а с пустотелыми слитками, причем отлитое или просверленное отверстие в слитке делается по ⌀ равным внутреннему ⌀ прессуемой трубной заготовки. Учитывая все условия работы при прессовании (сплав, $t°$, скорость деформации, форму матрицы, трение металла и пр.), определяют фактически потребное давление истечения материала при прессовке, а отсюда и мощность пресса, необходимую для прессования той или иной трубной заготовки. До сих пор однако точных формул для определения фактически потребного давления истечения металла при прессовании трубных заготовок вывести не удалось, а потому приходится пользоваться данными, установленными практикой, также не всегда дающими точные результаты. Так, давление истечения принимают равным при прессовании трубных заготовок из латуни Л 59 — 25 *кг/мм²*, меди 30 *кг/мм²*, морской латуни ЛМ 70 — 70 ÷ 80 *кг/мм²*, дуралюмина нормально 70, max. 85 *кг/мм²*. Скорость истечения металла при прессовании Т. из цветных металлов: из меди 0,1—0,2 *м/сек*, латуни 0,1—0,2, дуралюмина 0,02—0,04, электрона 0,04—0,09 *м/сек*.

Отходы при прессовании трубных заготовок разделяются на остатки от прессования и остатки от прошивки. Практически величина остатка при прессовке Т. 10—20% от веса слитка. Отходы при прошивке дыры составляют 5—8%. Брак от неправильной термич. обработки (по задирам, царапинам и пр.) в среднем составляет 5% от веса слитков. В среднем можно считать выход латунных и медных труб в 75 — 85%, а дуралюминовых — 55%.

Инструмент для прессов работает при высоких $t°$ в крайне тяжелых условиях, а потому должен приготовляться из высококачественной стали. Материалом для изготовления матриц служит малоуглеродистая вольфрамовая сталь с содержанием хрома (0,25—0,4% C, 2—3% Cr и 8—9% W). В среднем матрица выдерживает ок. 600 прессований на латуни и ок. 300 прессований на дуралюмине. Материалом для прошивных дорнов служит вольфрамовая сталь с содержанием хрома и никеля (0,25—0,3% C; 2,5—3% Cr; 1,5—2% Ni и до 10% W). При прошивке дорн подвергается продольному сжатию, а при прессовании — растяжению силой трения вытекающего металла; в силу этого дорн часто выходит из строя. При правильном уходе и наблюдении за инструментом дорн из высокосортной вольфрамовой стали выдерживает около 1 000 прессований. Прессовый шток при прессовке трубной заготовки делается полым для прохождения дорна. Шток изготовляется из хромоникелевой или вольфрамовой стали (с содержанием 10—18% W).

Заготовка для Т., полученная со стана Маннесмана или с гидравлич. прессов, за исключением свинцовой или оловянной, поступает на волочение в холодном состоянии. Обычно на поверхности трубных заготовок имеются пороки в виде плен, задирин и пр. Для удаления этих пороков трубные заготовки после предварительного отжига подвергают травлению в к-те или щелочи с окончательной промывкой, а затем ручной шабровке или обрубке пневматич. зубилами. Очищенная трубная заготовка затем поступает на ковку захваток, необходимых при протяжке. Ковку захваток производят под молотками

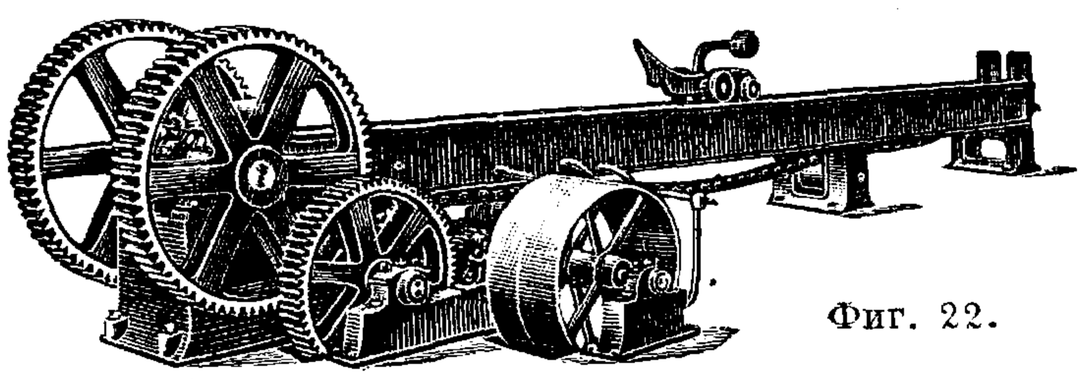


Фиг. 21.

или на специальных прессах. При ковке захваток в горячем состоянии нагревают только концы длиною около 250 *мм*. Последовательность процесса по отковке захваток на специальных прессах показана на фиг. 20. На фиг. 21 изображен волочильный стан мощностью в 35 *т*. Стан состоит из следующих частей. В чугунной литой станине *1* движется тележка *2* с крючком для захватывания цепи, противовесом и запорной ручкой. На одном конце станины установлены подшипники, в к-рых вращается вал *3* с насаженным зубчатым

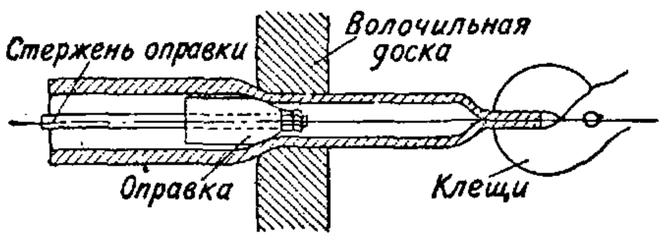
колесом *4*, сцепляющимся с другим *5*, закрепленным на трансмиссионном валу *6*. На вал *3* насажена зубчатка *7*; такая же зубчатка имеется и на противоположном заднем конце станины *1*. Через эти зубчатки проходит цепь Галля *8*, поддерживаемая снизу роликами *9*. Валик *10* имеет зажимное устройство, позволяющее переставлять зубчатку в отверстие *11* станины *1* для производства натяжки цепи *8*. В этом же конце балки *1* укреплен упорный кронштейн *12*, в к-рый вставляется при волочении матрица. Каретка *2* подводится к кронштейну *12*, через очко матрицы протягивается обжатый конец Т. посредством рукоятки *13* и захватывается в зажим, после чего крюк *14* зацепляется за цепь и Т. протаскивается через очко матрицы. Перед концом хода, чтобы каретка не была сброшена или повреждена, устанавливается специальная отводка, к-рая отбрасывает груз *15* назад и снимает крюк *14* с цепи *8*. Каретка останавливается, Т. вынимается, каретка отводится опять к кронштейну *12* и станок вновь готов для дальнейшей работы. В новейших станах применяется обратный ход каретки путем установки стана в наклонном положении. Общий вид стана изображен на фиг. 22.

Волочение трубных заготовок производится на неподвижной оправке (фиг. 23). Величина обжатия при волочении трубных заготовок на



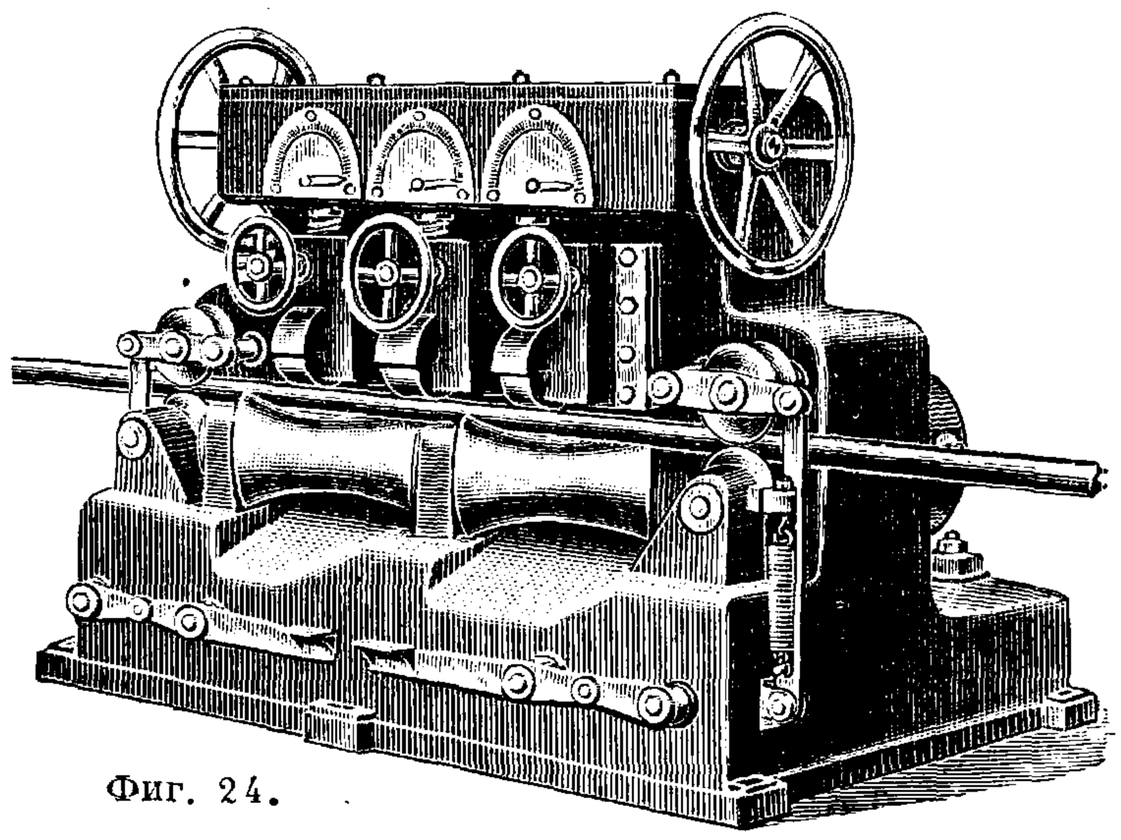
Фиг. 22.

оправке зависит от сплава, степени отжима, смазки при волочении, состояния матрицы и оправки и от скорости волочения. В среднем величина обжатия за одну протяжку составляет для заготовок из красной меди 20—25%, латуни 30—40%, алюминия 30—50%, дуралюмина 12—20%, электрона 6—7%. Скорость волочения зависит от сплава и в большой степени от сортамента протягиваемых заготовок. Так, для Т. из дуралюмина ⌀ 150—100 *мм* она равна 4—6 *м/мин*, для Т. ⌀ 100—75 *мм* 6—8 *м/мин*, а для Т. ⌀ 75 *мм* и ниже скорость волочения возрастает до 8—12 *м/мин*. Для латуни эти скорости можно увеличивать на 25%, а для алюминия на 50%. Перед волочением Т. смазываются особыми смазками или обычным минеральным маслом. Весьма распространенным составом смазки для медных, латунных и дуралюминовых Т. является смазка, состоящая из 20% по весу зеленого мыла, 21% машинного масла, 59% воды и 0,12% едкого натра. Отжиг труб производится после каждой протяжки, что имеет место при волочении латунных Т. Трубы из дуралюмина требуют отжига через два прохода, из красной меди—через каждые 3—4 прохода и мельхиоровые 80/20 можно протягивать совсем без отжига до готового размера; $t°$ отжига зависит от сплава и величины обжатия перед термообработкой: для меди 550÷600° и латуни 650—730°, причем



Фиг. 23.

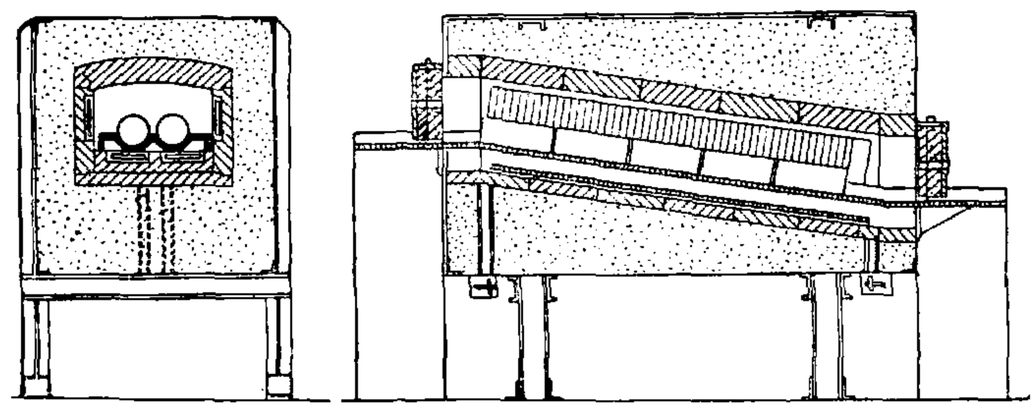
садка в 1—1,5 *m* выдерживается от 2 до 3 часов. Для дуралюмина $t°$ отжига колеблется около 400°, причем садка в 0,75 *m* выдерживается $2^1/_2$—3 часа. Дуралюминовые Т. перед окончательной отделкой подвергаются закалке, для чего нагреваются до 490—500° и быстро погружаются в воду, лучше путем опускания их в бак вертикально или наклонно. Возмож-



Фиг. 24.

на закалка тонкостенных Т. и в струе холодного воздуха, подаваемого вентилятором. Дуралюминовые Т. через 4—6 часов после закалки, а Т. других цветных металлов непосредственно после волочения подвергаются калибровке, т. е. окончательной операции волочения на обычном волочильном стане, с доведением до точных размеров. При калибровке протяжка производится через матрицу без оправки. Затем дуралюминовые Т. подвергаются дальнейшему старению (закалке—см. *Дуралюмин*).

Правка искривленных Т. ⌀ свыше 100 *мм* производится под прессами или вручную, ⌀ ниже 100 *мм*—в машинах с гиперболическими валками (фиг. 24). Т. протаскивается через машину двумя парами роликов, поставленными в начале и в конце машины. Скорость правки

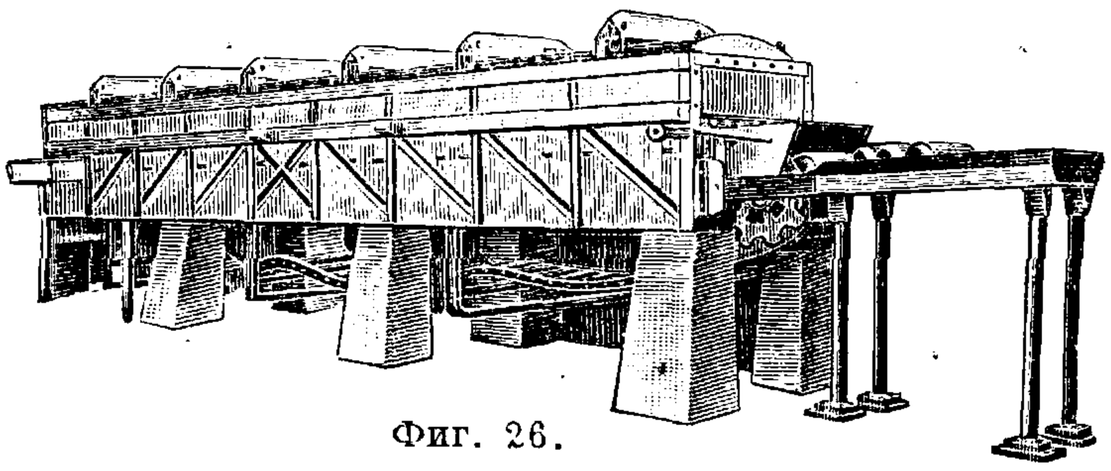


Фиг. 25.

5—30 *м/мин* в зависимости от диаметра Т. Разрезка Т. и отрезка захваток производятся на обыкновенных ленточных пилах. Ширина ленты пилы 25—40 *мм* при толщине в 1 *мм*. Готовые трубы испытываются гидравлическим давлением до 100 *atm*. Тонкостенные трубы испытываются воздушным давлением до 7 *atm*, причем для обнаружения течи испытания производятся под водой.

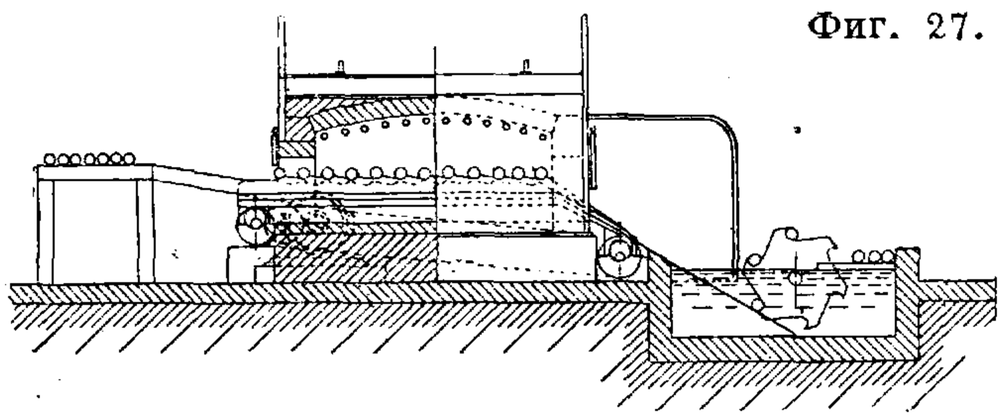
Печи для нагрева слитков перед прессовкой ранее работали исключительно на жидком топливе или газе, в настоящее время заменяются электрическими. На фиг. 25 изображена такая печь с наклонным подом для нагрева латунных слитков перед прессовкой, а на фиг. 26—электрич. печь для нагрева слитков дуралюмина перед прессовкой. Наибольший ⌀ слитков 420 *мм* при длине 1 100 *мм*. Слитки в печи передвигаются по наклонному поду, передвижка регулируется бесконечной цепью.

Рабочая $t°$ печи 480°. Нагревательные элементы сопротивления разделены на 6 групп, включенных звездой. Мощность печи 815 kW. Потери на излучение 75 kW. Расход электроэнергии 175 kWh на 1 *m* нагретых слитков. Внутренние размеры печи $14 \times 1{,}7 \times 0{,}5$ *м*. Продолжительность нагрева самых крупных слитков 2 ч. Печь для отжига имеет длину 4 *м*. Загрузка печи производится сбоку при помощи шарнирного крана с лапой. Потолок печи плоский. Нагревается печь с пода. Установленная мощность печи 240 kW. Этого достаточно для нагрева 1 *m* Т. до 600° в течение часа, причем средний расход электроэнергии составляет 127 kWh на 1 *m* отожженного металла.



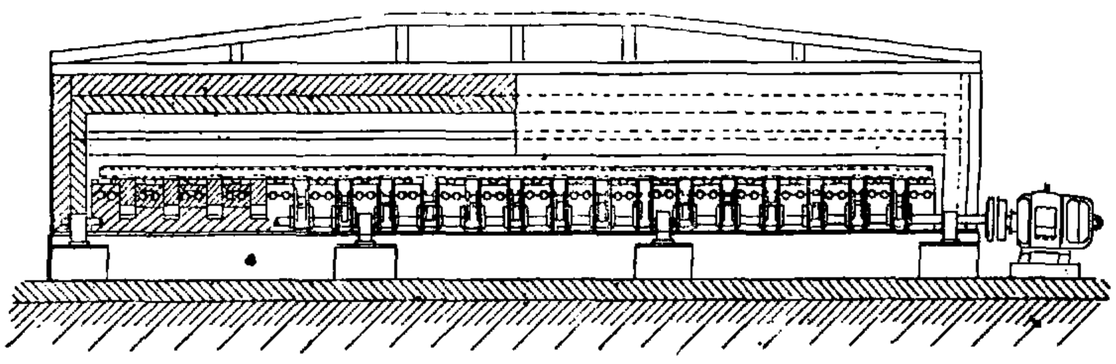
Фиг. 26.

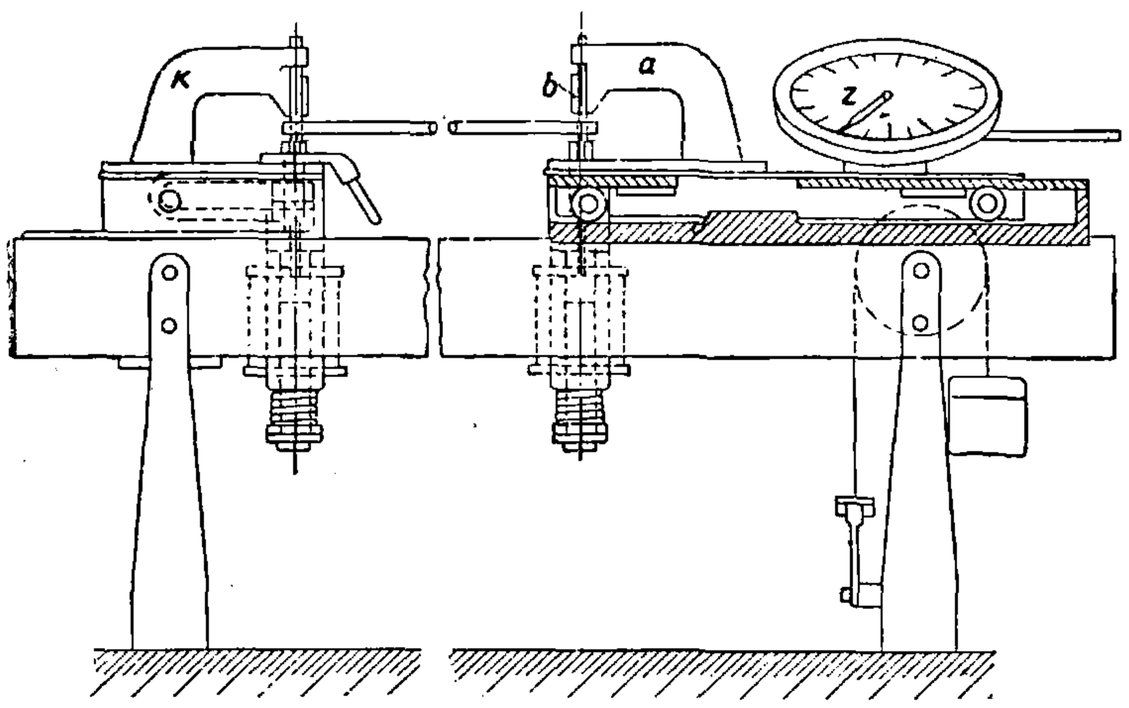
На фиг. 27 изображена электрич. печь для закалки дуралюминовых Т.; Т. автоматически продвигаются через печь и по достижении $t°$ 490° выходят из печи и, скатываясь по наклонной плоскости, попадают в бак с холодной водой, откуда после закалки захватываются особым приспособлением и подаются к контрольному столу. Для устранения внутренних напряжений от волочения готовые Т. подвергаются отпуску. Если в латунных и конденсаторных трубах внутренние напряжения не будут устранены, то такие трубы могут дать трещины (season cracking). Для устранения внутренних напряжений без потери механич. качеств Т. из Л 70 подвергают нагреву до 300°, а Т. из Л 59 до 250°. Такой нагрев производят или в муфельных печах или на машине Снида.



Фиг. 27.

На фиг. 28 изображена схема машины Снида для отжига Т. Обрабатываемая Т. с одной стороны зажимается тисками неподвижной бабки *k*, с другой,—тисками подвижной бабки *a*. Подвижная бабка имеет контрбаланс и смонтирована на шариковых подшипниках, что сводит к минимуму потери на трение при перемещении подвижной бабки. Зажим Т. между губками *b* тисков производится включением тока, так как губки тисков находятся под действием электромагнитов. После зажима трубы через нее пропускается ток, и Т. нагревается, при этом вследствие расширения длина ее увеличивается и подвижная тележка стремится отодвинуться. Это движение передается на стрелку, снабженную контактами, и при достижении известного удлинения ток выключается. Отжиг Т. требует 6—8 ск., вследствие чего окисление обрабатываемого предмета сводится к минимуму. При обработке конденсаторных Т. морской латуни эта машина обслуживается двумя работницами и отжигает в час 220 *кг* Т., имеющих длину 6,4 *м* при наружном ⌀ 19 *мм* и толщине стенки 1,6 *мм*. В Германии такие машины установлены мощностью в 150 kW. Примерный расход энергии на нагрев 11 *кг* латуни до 500°, или 4,2 *кг* дуралюмина до 500°, или 5 *кг* никеля или монель-металла до 900° равен 1 kWh.





Фиг. 28.

Ниже приведены технологич. схемы производства цельнотянутых Т. из красной меди, латуни и дуралюмина.

а) Т. красной меди 40×44 *мм*. Слиток ⌀ 99 *мм*, длина 1 100 *мм*, вес 77,5 *кг*. 1) Разрезка слитка на пиле на заготовки длиной 215 *мм*; 2) сверловка пяти заготовок; 3) нагрев заготовок; 4) прессовка заготовок в горячем состоянии на 600-*m* прессе на размер 500×56 *мм*; 5) отрезка концов; 6) отжиг и травление; 7) просмотр и шабровка; 8) нагрев и ковка захваток; 9) первое волочение на размер $48 \times 53{,}5$ *мм*; 10) второе волочение на размер $46 \times 50{,}5$ *мм*; 11) третье волочение на размер $43 \times 47{,}3$ *мм*; 12) четвертое волочение на размер 40×44 *мм*; 13) правка Т.; 14) обрезка концов; 15) гидравлич. испытание; 16) браковка; 17) взвешивание.

б) Т. латунные Л62 размер 45×48 *мм*. Слиток ⌀ 175 *мм*, длина 450 *мм*, вес 92 *кг*. 1) Нагрев слитка; 2) прессовка в горячем состоянии на 1 500-*m* прессе в заготовку 53×59 *мм*; 3) обрезка концов и разрезка заготовок на 8 ч.; 4) отжиг и травление; 5) просмотр и шабровка; 6) нагрев и ковка захваток; 7) волочение первое на размер 51×56 *мм*; 8) волочение второе на размер 49×53 *мм*; 9) отжиг и травление; 10) правка захваток; 11) волочение третье на размер $47 \times 50{,}5$ *мм*; 12) волочение четвертое на размер 45×48 *мм*; 13) правка; 14) обрезка концов; 15) отпуск; 16) гидравлич. испытание; 17) браковка и взвешивание.

в) Т. дуралюминовые 55×60 *мм*. Слиток полый, наружный ⌀ 190 *мм*, внутренний ⌀ 62 *мм*, длина слитка 400 *мм*, вес 28 *кг*. 1) Нагрев; 2) прессовка в горячем состоянии на 2 500-*m* прессе в заготовку 60×69 *мм*; 3) разрезка заготовки на 4 части; 4) просмотр, вырубка и браковка заготовки; 5) отжиг заготовки; 6) нагрев концов; 7) ковка захваток; 8) волочение первое на размер 59×67 *мм*; 9) отжиг; 10) волочение второе на размер 58×65 *мм*; 11) отжиг; 12) волочение третье на размер 57×63 *мм*; 13) отжиг; 14) правка захваток с нагревом концов труб; 15) волочение четвертое на размер 56×61 *мм*; 16) закалка; 17) калибровка на размер 55×60 *мм*; 18) правка; 19) обрезка захваток и концов; 20) зачистка; 21) браковка.

Лит.: Истомин П., Прессование металлов, М.—Л., 1932; Цветные металлы, Технология цветных металлов и сплавов, под ред. Е. Деречей, М.—Л., 1932; Современное оборудование цветной металлопромышленности и возможности изготовления его в СССР, М.—Л., 1931; Кодрон К., Горячая обработка металлов, т. 3, М., 1929; Бергман О., Горячая обработка металлов, т. 4, Л.—М., 1928; Жирнов А. и Цамутали Н., Производство и оборудование з-да «Красный Выборжец», Л., 1927; Барбонель Р. и Вишнепецкий И., Прессовка цветных металлов, М.—Л., 1933; Коварский М., Кольчугалюмин (дуралюмин), М.—Л., 1932; Коварский М., Широков П. и Рутковская Г., Производство ультралегких сплавов, М.—Л.,

1933; Жуков Н., Электрометаллургия и обработка металлов электрическим током, М., 1895; Барбонель Р. и Виштынецкий И., Волочение труб из цветных металлов, М.—Л., 1932; Ледебур А., Производство труб, пер. с нем., СПБ, 1904; Сарычев П., Применение гидравлич. прессов и прошивочных машин в технике производства медных и латунных труб, «Цветные металлы», М.—Л., 1932, 2; Берг А., Производство металлических труб путем прессования, «Германская техника», Берлин, 1931, январь; Гинцветмет, Объединенное бюро стандартов цветной и золотой промышленности, вып. промстандартов 2—20, М., 1930—1933; Ahrens F., Handb. d. Elektrochemie, 2 Aufl., Stg., 1903.

С. Берман.

Т. керамические канализационные относятся к классу так наз. каменного товара и характеризуются плотным спекшимся черепком. Сырые материалы. Для изготовления канализационных Т. необходимо, чтобы глиняная масса была достаточно пластична и совершенно однородна и чтобы при сушке и обжиге не давала сильную усадку. Сырые материалы д. б. по возможности свободны от серного колчедана и гипса. Химич. состав глины еще мало дает для решения вопроса о пригодности ее для изготовления канализационных Т. Пригодными являются глины, характеристика которых приведена в нижеследующей таблице.

Характеристика глин для изготовления керамических канализационных труб.

Химический состав в %							Потеря при прокаливании в %	$SiO_2+Al_2O_3=100\%$		RO на 100	$t°_{пл.}$ по SK	$t°_{сп.}$ по SK
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O		SiO_2	Al_2O_3			
67,44	23,57	1,04	0,10	0,20	0,60		7,15	74,3	25,7	2,2	—	—
51,62	33,00	2,12	0,03	—	0,54	0,21	12,54	61,0	39,0	3,4	32	3a
52,85	42,13	3,19	0,02	—	1,15	0,16	—	55,6	44,4	5,4	33/34	—
56,2	39,3	1,6	—	1,4	—	—	—	58,8	41,2	4,7	33	1a
57,7	38,2	1,8	0,9	0,3	—	—	—	60,2	39,8	4,3	32/33	1a
62,1	34,4	1,1	—	—	—	—	—	64,4	35,6	3,6	32	3a
59,73	28,14	0,89	0,09	0,02	0,30	0,09	10,52	68,0	32,0	1,7	34	—
56,20	31,00	1,30	0,21	0,31	1,30		9,85	64,0	36,0	4,3	33/34	—
56,24	30,70	1,31	0,21	0,32	1,31		9,85	64	36	3,1	34	—
61,56	27,35	1,10	—	0,03	1,58		8,8	69	31	2,6	30	—
58,26	28,92	1,56	0,05	0,23	2,93	—	8,17	67	33	5,3	30	—
55,59	27,20	5,82	0,14	0,69	2,61	—	7,92	67	33	11,4	29	—
61,72	33,63	1,26	—	—	—	—	—	65	35	5	32/33	—
67,39	26,31	1,58	0,13	0,02	2,26	2,45	—	71,5	28,5	6,7	28/29	3a
62,27	29,21	1,12	0,29	—	0,17	—	6,94	68	32	1,8	31	3a
53,27	33,82	1,44	0,12	—	—	—	7,94	62	38	5,7	32	—
72,12	25,28	1,12	0,26	0,12	0,80	—	—	71	26	2,4	—	—
57,61	38,67	1,37	0,14	1,30	0,68	0,26	—	61,5	38,5	3,9	33	5a
55,01	42,53	2,13	0,03	—	0,19	0,10	—	56,4	43,6	2,57	34	2
59,73	26,88	2,39	0,46	0,91	—	—	9,44	69	31	4,7	30/32	1
73,73	22,54	0,81	—	0,41	2,76		—	77	23	4,0	—	—
70,09	21,75	2,55	1,05	1,15	3,35		—	76	24	8,7	—	—
68,49	25,28	2,43	0,73	1,05	1,54		—	73	27	6,5	—	—
50,92	32,43	1,27	—	—	—		12,58	61,3	38,7	4,25	33	—
58,80	27,20	2,00	—	—	2,00		10,00	68,0	32,0	4,7	—	—

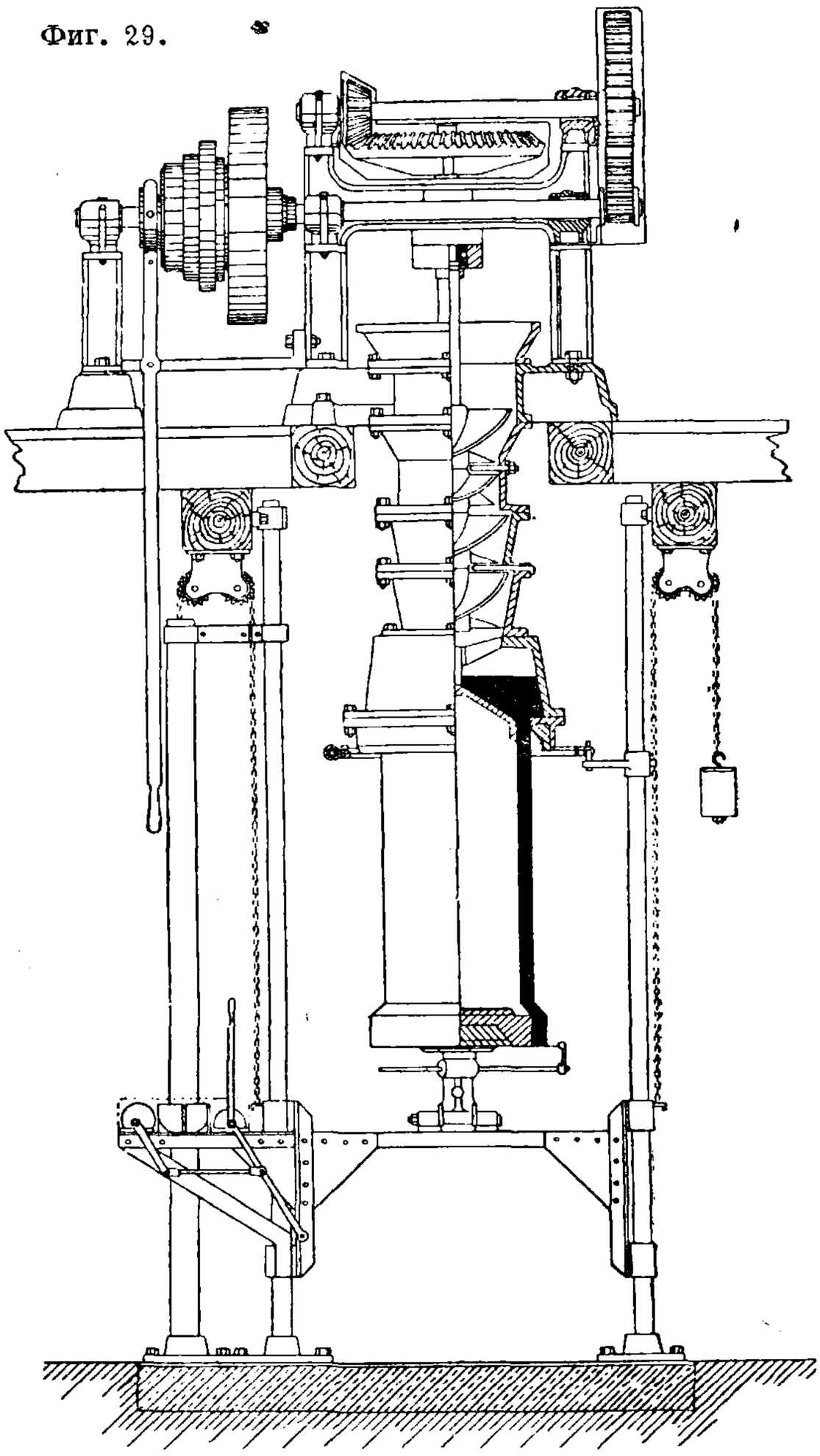
Особенно пригодны для производства канализационных Т. нек-рые сорта боровичских, щекинских, украинских (напр. николаевская, дружковская и часов-ярская) глин. Для уменьшения усадки к глине добавляют отсеянный клинкерный шамот, искусственно отощенную глину, а иногда и нек-рое количество тонко измельченного кварцевого песка. Подготовка массы производится как мокрым, так и сухим путем. Шамот и подсушенная в сушильном барабане глина после измельчения, пройдя через дозирующие аппараты, попадают в двойной сухой, а затем двойной мокрый смеситель; из последнего масса направляется в ленточный пресс с гладкими вальцами. После вылеживания в течение 5—7 дней масса часто пропускается еще через т. н. перегонный пресс (без вальцов). Если масса не подвергается вылеживанию, то ее следует пропустить через ленточный пресс не менее двух раз. Формование производится на фрикционных горизонтальных и вертикальных прессах, которые в последнее время вытесняются винтовыми прессами.

Один из таких прессов новейшей конструкции показан на фиг. 29. Вертикальный винтовой пресс проталкивает глиняную массу равномерным давлением через мундштук. Винт сделан в виде двойного шнека. Включение и выключение пресса производятся при помощи фрикционной муфты или при помощи специального электромагнитного устройства. К нижней расширенной части пресса присоединяются различные мундштуки. Мундштук придает трубе внешнюю форму, а конус (к-рый может сменяться)—внутреннюю форму. Для прессования муфты служит подставка, расположенная на подвижном столе пресса. Подставка для муфты снабжена обрезным приспособлением. Когда Т. вышла из пресса на определенную длину, ее обрезают. Обрезное приспособление укреплено на двух роликах и может при помощи цепей и противовеса скользить вверх и вниз по вертикальным направляющим штангам. Обрезка Т. при этом способе м. б. произведена во время работы пресса. Сформованную Т. кладут в полукруглый переносный ящик. Хорошей производительностью пресса следует считать, если он вырабатывает в час 120 шт. Т. диам. в 10 *см*, 100 шт.—в $12\frac{1}{2}$ *см*, 85 шт.—в 15 *см* и 60 шт.—в 30 *см* при длине в 1 *м*. Чаще же производительность пресса составляет только $\frac{2}{3}$ указанной. Для нарезки и отделки Т. применяют иногда горизонтальные вращающиеся деревянные станки (фиг. 30).

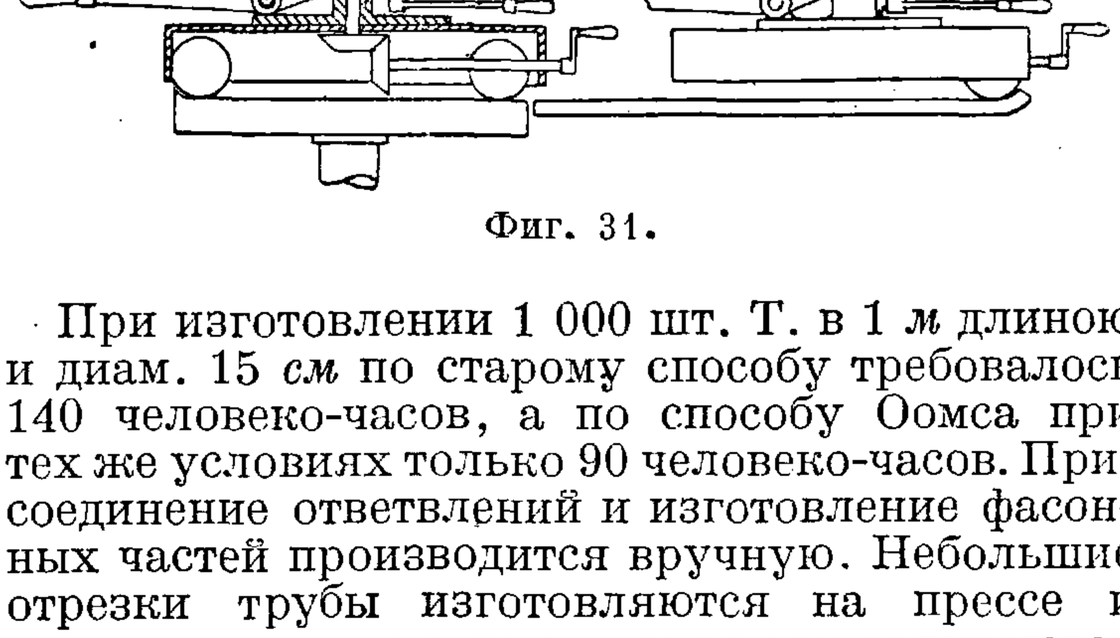
После подсушки (спустя 5—20 ч.) Т. нанизывается на деревянный вал, при вращении к-рого она срезается, снабжается нарезкой и сглаживается сначала снаружи, а затем внутри (куском резины) со стороны раструба на такую глубину, на какую достает рука. На следующий день Т. ставится раструбом вниз и верхний конец ее снова сглаживается. После прессовки Т. переворачивают муфтой вверх и ставят на вращающийся от руки диск. Внутрь трубы вставляют штангу, после чего спускают направляющую крестовину, при этом между направляю-

щими планками и внутренними стенками Т. оставляется пространство примерно в 1 *см*. При вращении Т. лишняя часть глины срезается но-

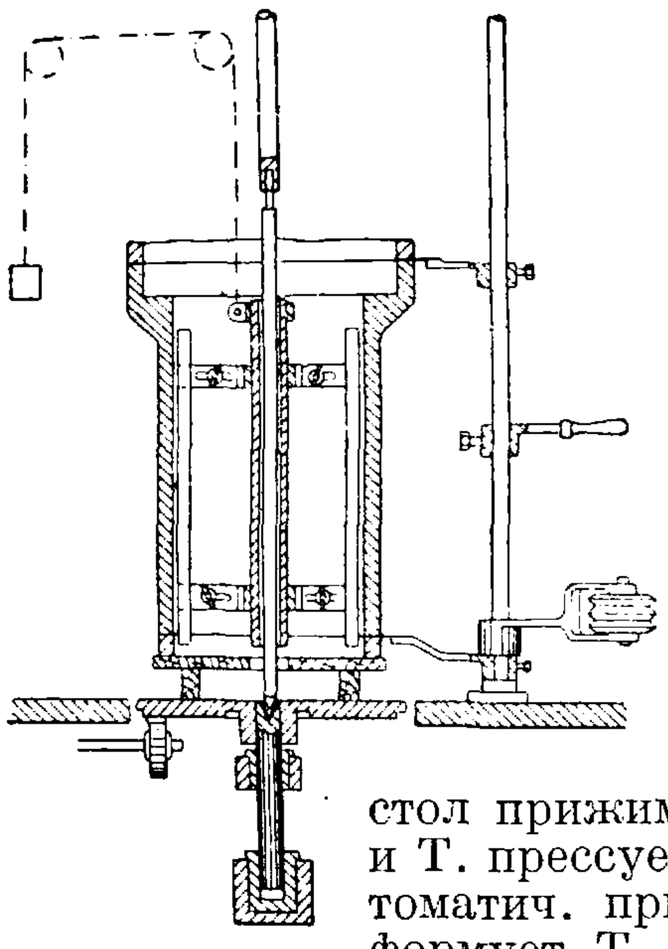
Фиг. 29.



жом. Приспособление для нарезки Т. регулируется от руки. Лучшим способом изготовления Т. является способ Оомса. При нем Т. отделывается непосредственно после прессовки, когда еще не произошло в ней никаких деформаций. Пресс работает одновременно с двумя оправочными станками (фиг. 31). На небольшой тележке, двигающейся по рельсам, устанавливается сердечник для раструба, который может вращаться от ручного привода. Прессовой стол прижимается к мундштуку и Т. прессуется. Особое полуавтоматич. приспособление точно формует Т. по размеру, принимая во внимание усадку. Сформованная труба на тележке передвигается к оправочному станку, находящемуся на расстоянии 0,5 *м* от пресса, между тем пустая тележка с другой стороны подается к прессу. Для нарезки муфты рабочий поворачивает рукоятку тележки; в это же время второй рабочий нарезает другой конец Т. Через отделанную Т. продевается железная штанга и соединяется с муфтовой пластинкой; на верхний же конец кладется крышка. После этого штанга захватывается подъемным приспособлением, Т. с муфтовой подставки поднимается и передается к поворотному приспособлению (на 180°); затем штанга с Т. подвешивается на цепной транспортер (фиг. 32) и подается в сушильное помещение.

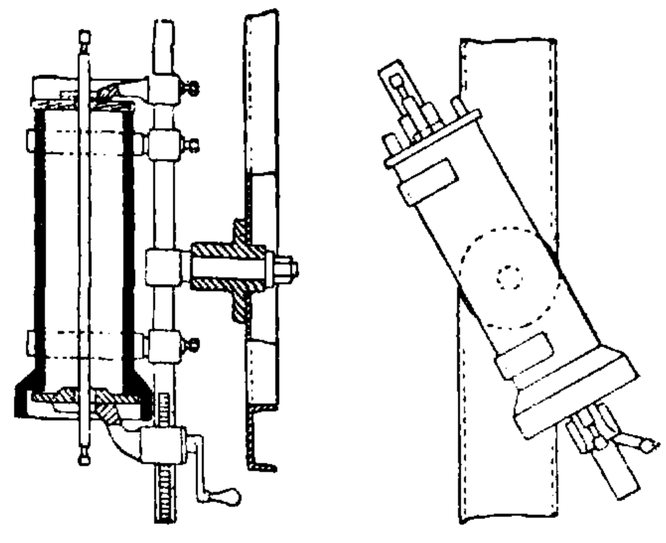


Фиг. 31.



Фиг. 30.

При изготовлении 1 000 шт. Т. в 1 *м* длиною и диам. 15 *см* по старому способу требовалось 140 человеко-часов, а по способу Оомса при тех же условиях только 90 человеко-часов. Присоединение ответвлений и изготовление фасонных частей производится вручную. Небольшие отрезки трубы изготовляются на прессе и в разрезанном на куски виде выкладываются или в гипсовые или в деревянные формы и затем соединяются. Замазывание швов при этом производится той же глиной, т. к. при обжиге в противном случае образуются трещины. При производстве змеевиков применяют мундштук, сердечник которого находится немного в эксцентричном положении, благодаря чему выдавливаемая труба отклоняется в сторону.

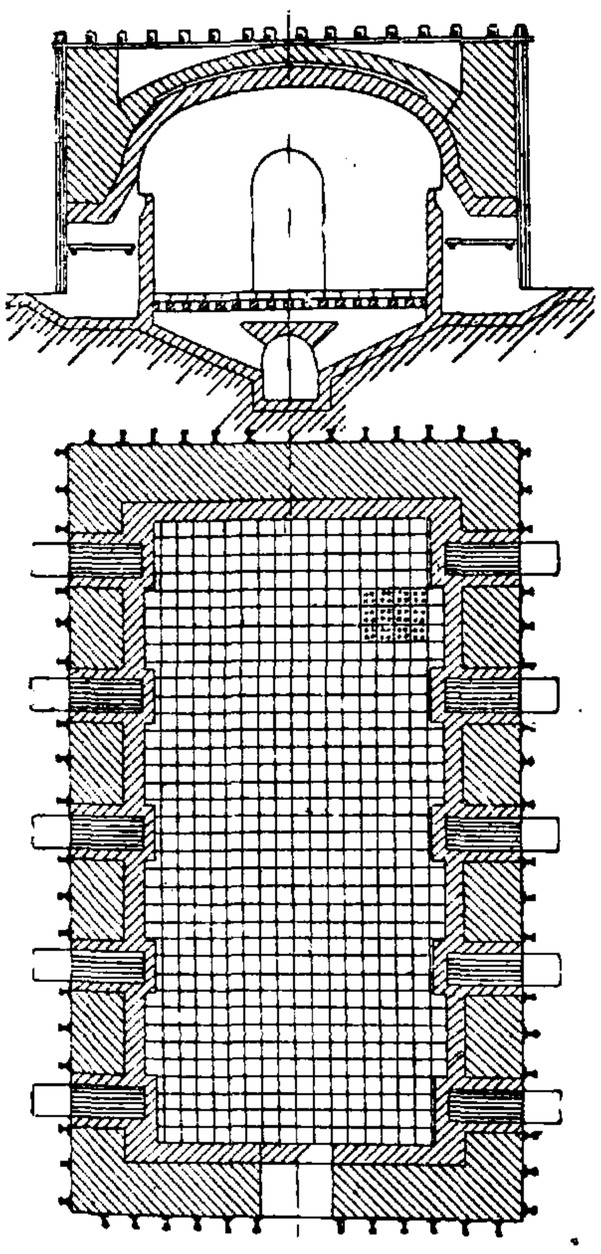


Фиг. 32.

Сушка Т. должна быть медленной и осторожной. Она производится за счет отходящего тепла печей и продолжается 14—21 день. Во время отделки и сушки Т. получают усадку от 4 до 6%, что зависит от глины и количества шамота. Глазуровка Т. производится или глиняной с добавлением полевого шпата или соляной глазурью с целью уменьшить трение протекающих жидкостей внутри Т., а, с другой стороны, предохранить их от проникновения жидкости внутрь черепка. Поливка глазурью производится по высушенным, но не обожженным Т. В качестве глазури применяют железосодержащие глины, точка плавления к-рых м. б. понижена добавкой извести. Для окраски

глазури прибавляют иногда MnO_2. Если температура обжига изделий SK 3 или 4, то глазурь применяют такого состава, чтобы она соответствовала $t°_{пл.}$ SK 1.

Состав глазури для канализационных Т. одного из керамич. з-дов Украины: 12 ч. константиновской отмученной глины, 3—5 ч. обожженного и размолотого полевого шпата, 22 ч. воды. Глазурь размалывается в барабане в течение 18 ч. Обжиг Т. с этой глазурью производится при SK 9—8. С момента погрузки труб в печь (системы Мендгейма) до выгрузки проходит 20 дней. Состав (в %) константиновской глазурной глины: SiO_2 61,04; Al_2O_3 13,61; Fe_2O_3 4,89; CaO 6,30; MgO 3,53; щелочей 2,19; потери при прокаливании 8,44. Вместо глиняной глазури часто применяют соляную, к-рая получается улетучиванием поваренной соли в конце обжига. Т. к. в топочных газах имеются пары воды, то поваренная соль под действием их разлагается: $2NaCl + H_2O = Na_2O + 2HCl$; Na_2O соединяется с силикатами глинозема черепка в алюмо-натриевый силикат, а HCl уходит в дымовую трубу. На печь, содержащую 30 *m* труб, требуется ок. 150 *кг* поваренной соли. Для получения глазури необходимо, чтобы черепок содержал определенное количество SiO_2. Т. к. трудно добиться того, чтобы Т. внутри достаточно омывались парами, то предпочитают сначала полить глиняной глазурью, а в конце обжига подвергнуть еще действию паров NaCl.



Фиг. 33.

О б ж и г каменных Т. производится в стоячем положении в отдельных печах средней величины (при SK 5—9) с обратным пламенем (фиг. 33). Эти печи часто соединяют друг с другом, при этом теплота отходящих газов идет на подогрев других камер. Темп-ру в печи поднимают постепенно; затем, когда достигнут $t°$ спекания, ее некоторое время поддерживают, после чего медленно охлаждают. Чтобы во время обжига Т. достигнуть по возможности одинаковой $t°$ во всех частях печи, обжиг в течение нек-рого времени ведут при сильно восстановительном пламени. Т. ставят в печь в 2 ряда, при этом на под кладут 1 слой кирпичей на ребро, а другой плашмя. Один $м^3$ печного пространства вмещает 250—300 *кг* Т.

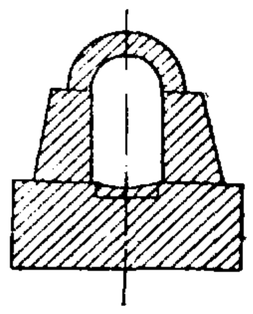
Т. должны хорошо противостоять действию к-т и щелочей. Испытание канализационных Т. на стойкость против к-т, щелочей и солей производят в растворе, состоящем из 13 *г* поваренной соли, 3,25 *г* кристаллич. фосфорнокислого натрия, 1,3 *г* соды, 1,3 *г* сульфата натрия и 1,3 *г* хлористого аммония и 6,5 *л* воды; кусок Т. длиною по крайней мере в 30 *см* погружают в раствор так, чтобы половина его длины была покрыта жидкостью. После 10—15 дней кусок Т. вынимают, промывают водой и просушивают. Та часть поверхности глазури, которая была погружена в раствор упомянутых солей, не должна измениться. Неглазурованный черепок канализационной Т. должен быть также кислотоупорным и достаточно плотным, т. к. с течением времени действием песка глазурь изнашивается и поверхность черепка открывается. Для испытания канализационных Т. по южноамериканским нормам 20 *г* измельченного черепка (тонкость помола—сито в 900 отверстий на 1 $см^2$) помещают в сосуд с 50 $см^3$ HCl (уд. в. 1,19) и 50 $см^3$ воды, в к-ром держат при комнатной $t°$ в течение 24 ч., а затем фильтруют, промывают и взвешивают. Максимальная разница в весе не д. б. больше $2^1/_2$%.

Лит.: Б у д н и к о в П., Керамическая технология, Харьков, 1932; «Нормальный метрический сортамент», М., 1925; Б о к О., Н а в р а т А., Кирпичное производство, пер. с нем., М., 1927; Д е м е н т ь е в К., Технология строительных материалов, Киев, 1912; П е р е в а л о в В., О производстве канализационных труб, «Строительные материалы», М., 1930, *6*, стр. 6; К р а м а р е н к о А., Производство канализационных труб в США, там же, 1931, *5*, стр. 54; Л ы с и н Б., Керамиковые канализационные трубы, Киев, 1916; Б у д н и к о в П., Ж и х а р е в и ч С. и Ш а х н о в и ч И., Подбор шихт из украинского сырья для изготовления кислотоупорных изделий и канализационных труб, Харьков, 1932; S c h u e n W., Die Herstellung der Steinzeugröhren, Berlin, 1928; H e c h t H., Lehrbuch der Keramik, 2 Auflage, W.—Lpz., 1930.

П. Будников.

Трубы под насыпями применяются наравне с мостами для пропуска под полотном дороги ливневых вод, ручьев и небольших речек. По материалу различают трубы каменные, бетонные, железобетонные, чугунные, железные и деревянные. Находясь постоянно в среде влажного воздуха, дерево трубы быстро загнивает. Для ремонта труб требуется вскрытие насыпи и устройство объездного пути. Поэтому для Т. применяются преимущественно долговечные материалы, а деревянные Т. устраиваются на грунтовых дорогах районного и сельского значения или на временных путях.

К а м е н н ы е Т. до появления железобетона имели наибольшее распространение. Такая Т., технически правильно построенная, представляет долговечное сооружение, не требующее тщательного надзора и ремонта при эксплоатации. В каменных Т. надо различать: свод, подпорные стенки, оголовок, основание и лоток. Посредством свода передается давление на подпорные стенки, которые кроме того подвержены боковому давлению насыпи. Подпорные стенки через фундамент передают давление на основание. Фундамент м. б. сплошной (фиг. 34 и 37) или раздельный под обеими стенками. При слабом грунте основание устраивается свайное. Дно Т. укрепляется мостовой или каменным лотком в зависимости от ожидаемой максимальной скорости течения воды по дну Т.

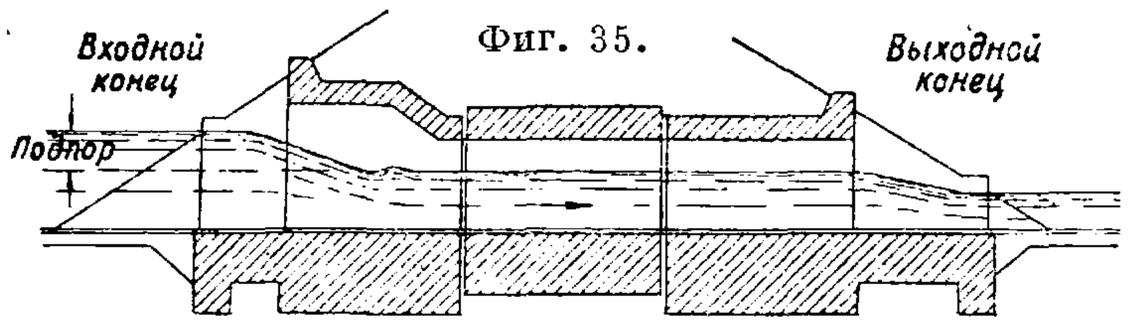


Фиг. 34.

Ширина между подпорными стенками называется *о т в е р с т и е м* Т. Отверстие д. б. принято таким, чтобы Т. пропускала максимальный расход воды по водотоку с предельной допускаемой скоростью в зависимости от принятого способа укрепления дна Т.

Т. сильно изменяет характер естественного потока, представляя стесненное отверстие, вызывающее образование подпора, вследствие чего скорость течения воды в трубе увеличивается. Повышение подпора и увеличение скорости происходят до тех пор, пока расход воды через Т. не станет равным притоку воды к Т. по логу. Тогда наступает равновесие, уста-

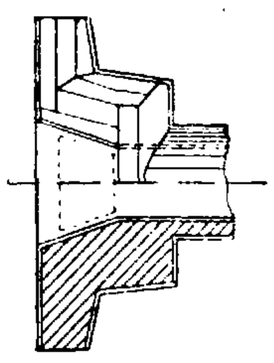
навливается наивысший подпорный горизонт у входного конца и наивысший горизонт воды в Т. По правилам проектирования требуется, чтобы Т. заполнялась не более как на $^3/_4$ высоты ее от лотка до нижней поверхности ключа свода, а при полуциркульных сводах,—чтобы вода не доходила на 0,10 *м* до пят свода.



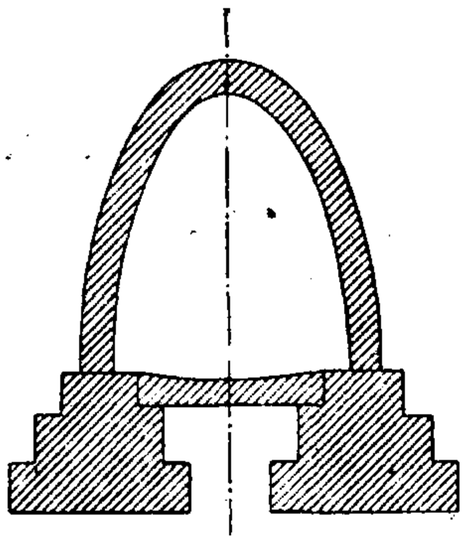
Фиг. 35.

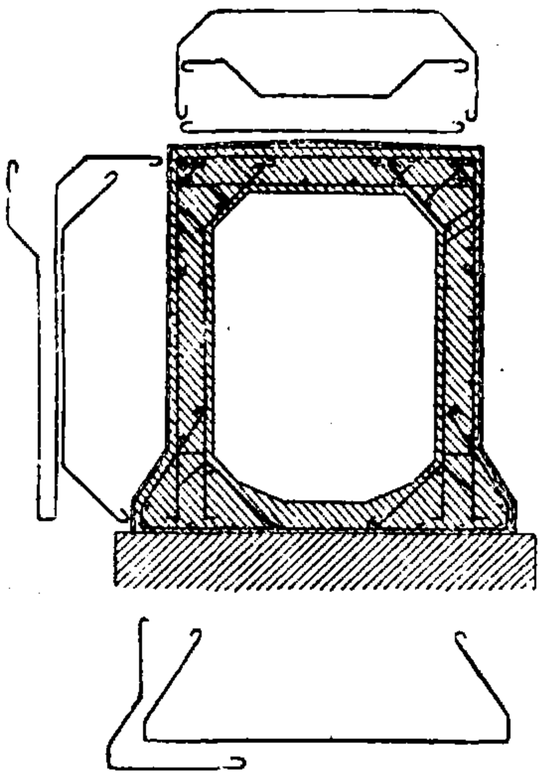
Поэтому входное кольцо трубы делается выше, чем остальная часть трубы, на величину подпора (фиг. 35 и 36).

Вода поступает из Т. благодаря подпору с большей скоростью по сравнению с бытовой. Эту скорость следует довести до допускаемой величины, что происходит в пределах оголовка, т. к. стенки последнего постепенно расходятся, ширина потока увеличивается и скорость уменьшается. Если естественное русло ниже трубы по течению имеет значительную ширину и протекание воды происходит там при малой глубине и малой скорости, то скорость потока в пределах оголовка не удается довести до скорости в естественном русле. Поэтому ниже Т. нужно сделать укрепление дна русла в зависимости от скорости, с к-рой вода переходит порог оголовка. Устройство входного и выходного оголовков Т. может быть выполнено путем срезки конца Т. параллельно откосу насыпи без расходящихся откосных крыльев с обделкой срезанной плоскости бетонным или каменным карнизом. Это дает экономию в кладке, но при таком оголовке получается понижение скорости течения воды, и поэтому коэф. расхода воды таких Т. меньше примерно на 5—7%.


Фиг. 36.

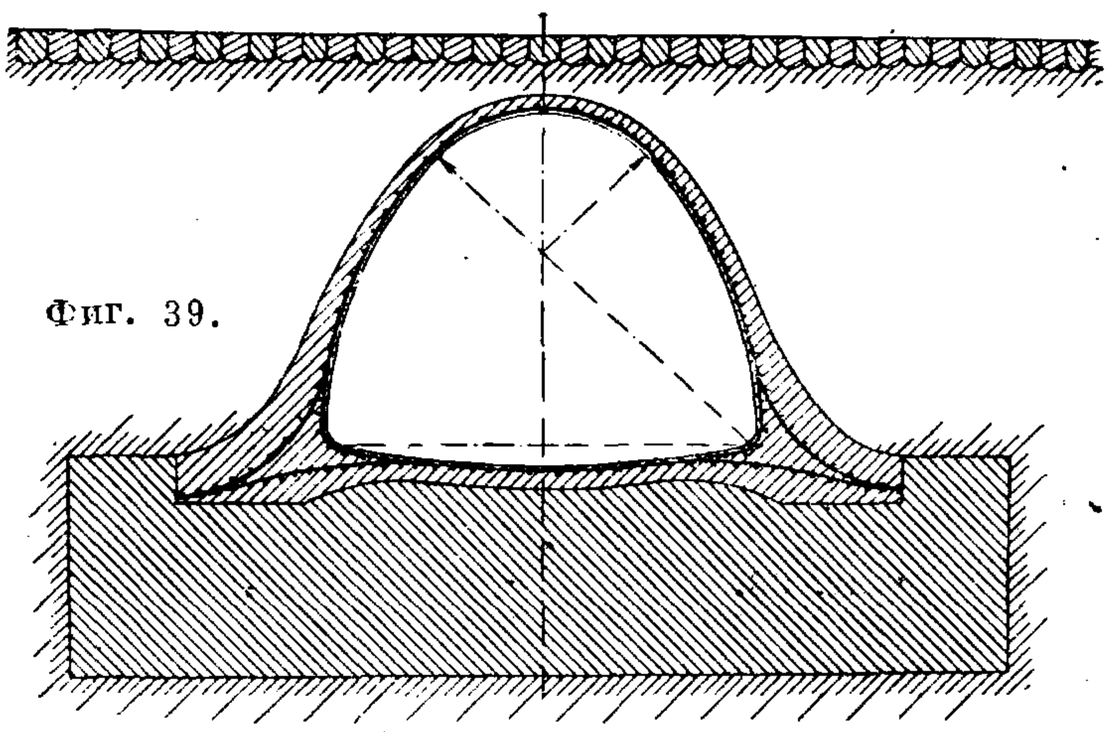
Взамен полуциркульного свода с конца прошлого столетия стали применять подъемистый свод, очерченный по кривой давления, а позднее—по коробовым кривым, что значительно упростило разбивку кружал. При этом отпадает необходимость в подпорных стенках, к-рые заменяются телом свода, опирающегося непосредственно на фундамент (фиг. 37). Площадь поперечного сечения кладки уменьшилась, что дало известную экономию.


Фиг. 37.


Фиг. 38.

Прочность каменных Т. зависит гл. обр. от правильного выбора глубины и устройства основания, т. к. небольшая неравномерность в осадке одной и другой сторон вызывает трещины в своде. Основания наружных колец и откосных крыльев должны быть заложены ниже глубины промерзания грунта, а для внутренних колец Т. основание закладывается на меньшую глубину, так как последняя определяется промерзанием кладки лотка. Принимая во внимание неравномерность нагрузки от середины к концам и возможность неодинаковости грунта по длине, Т. делают из отдельных колец длиною 3—5 *м* во избежание трещин при неравномерной осадке. Свод средней части имеет наибольшую толщину. При расчете свода принимают высоту насыпи в 7—8 *м*. Этот же тип применяется и для меньших высот. Для ж.-д. полотна величина засыпки над сводом д. б. не менее 1,2 *м*, а для обыкновенных дорог не менее 0,5 *м*. Пропускная способность Т. зависит от ширины отверстия, от высоты слоя протекающей воды и от скорости течения. Эти величины в свою очередь заранее определяются в проекте высотою Т. и типом укрепления лотка.

Железобетонные Т. делаются круглого или прямоугольного сечения (фиг. 38) и в виде подъемистого свода с горизонтальным дном


Фиг. 39.

(фиг. 39). Иногда железобетон применяется только для перекрытия потолка Т., а стенки выполняются из каменной кладки. Железобетонные трубы применяются для небольших расходов. Чтобы Т. пропускала максимальный возможный расход, ей необходимо придать продольный уклон, соответствующий допущенной средней скорости.

Гидравлические элементы.

Размеры отверстий в *м*	Наиб. допускаемый расход в *м³/сж*	Наиб. средняя скорость в *м/сж*	Допуск. уклон Т. в зависимости от ее длины		
			10 *м*	20 *м*	30 *м*
0,75×0,75	0,686	2,86	0,0044	0,0031	0,0027
1,0 ×1,0	1,405	3,30	0,0052	0,0035	0,0029
1,0 ×1,25	1,778	3,31	0,0051	0,0033	0,0027
1,25×1,25	2,102	3,50	0,0130	0,0071	0,0052

Круглые железобетонные Т. изготовляются обыкновенно на з-де и доставляются на место укладки в готовом виде звеньями длиною ок. 2 *м* с толщиною стенок 8—12 *см*. Стыки звеньев перекрываются заготовленными на з-де железобетонными кольцами, и вся Т. для достижения водонепроницаемости обкладывается слоем бетона на глине толщиною 0,5 *м*. Благодаря заводскому изготовлению круглые железобетонные Т. являются самыми дешевыми из долговечных типов Т.

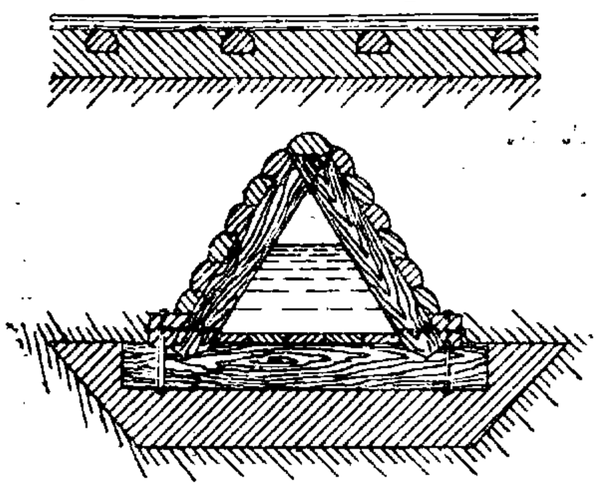
Металлические Т. бывают чугунные или из волнистого оцинкованного железа. Последние легко портятся и потому под насыпями укладываются только на временных или второ-

степенных путях. Чугунные Т. употребляются диам. 1 или 1,5 *м* при наименьшей высоте насыпи над Т. 1,2 *м* и наибольшей до 20 *м*. Т. состоит из ребристых звеньев длиною ок. 2 *м*, укладываемых на глиняном бетоне при скорости течения в ск. не более 3,5 *м* или на сплошном каменном или бетонном фундаменте при небольших скоростях. При устройстве железобетонных или чугунных Т. допускается работа Т. полным сечением с превышением подпорного горизонта над центром Т. на величину h_1 (при бетонном или каменном фундаменте) и на h_2 (при глиняном) в зависимости от высоты насыпи H. Допускаемый подпор над центром трубы в *м*:

H	2	4	6	8	10	12	16	20
h_1	0,5	1,5	2,5	3,0	3,5	4,0	4,6	5,0
h_2	0,5	0,6	0,7	0,75	не допускается			

При работе Т. полным сечением давление в Т. меньше атмосферного. Поэтому Т. всасывает через швы влагу из насыпи, отчего в теле насыпи образуются каверны, могущие вызвать обрушение насыпи. Вследствие этого при устройстве Т., работающих полным сечением, необходима особенно тщательная заделка швов и трамбовка глиняного слоя над швом. Входное отверстие Т., в особенности малого размера, д. б. защищено от плавающих предметов (ветви деревьев, сено и пр.) во избежание закупорки Т.

Деревянные Т. имеют треугольное, прямоугольное и трапецоидальное сечение. Для устройства Т. делают раму из брусьев, накатника или бревен и обшивают ее пластинками или накатником (фиг. 40). Прямоугольного сечения Т. делаются еще так: сколачивают щиты из пластин, связанных шпонками; вертикальные стенки внизу входят в днище Т., а сверху связаны распорками и перекрыты накатом из пластин, уложенных поперек Т. В основу Т. большого размера кладется рама трапецоидального сечения. Такая Т. может выдержать большую нагрузку и обладать большой пропускной способностью.



Фиг. 40.

Лит.: Николаи Л., Мосты, СПБ, 1901; Передерий Г., Курс железобетонных мостов, 3 изд., М., 1925; Кропотов И., Мосты и трубы на обыкновенных дорогах, М., 1931; Голов А., Мосты и трубы, 1931; Белзецкий С., Рациональные формы сплошных упругих арок в железнодорожных мостах и трубках, СПБ, 1905.

Б. Беккер.

ТРУБЫ СПЕЦИАЛЬНЫЕ. В отношении материала, из к-рого сделаны трубы, следует различать алюминиевые, асфальтовые, бетонные (цементные), керамиковые (гончарные), деревянные, железобетонные, латунные, медные, свинцовые, стальные, чугунные, этернитовые (асбоцементные) и др. трубы.

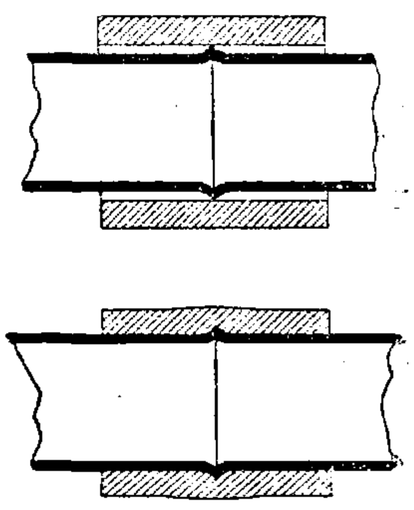
1) Алюминиевые трубы заслуживают внимания вследствие сопротивляемости материала (алюминия) действию сухого и влажного воздуха, углекислоты, сероводорода и многих органич. к-т. С другой стороны, вода с большим содержанием соляной, азотной, разбавленной серной к-ты или растворов едких щелочей растворяет алюминий. Алюминиевые трубы изготовляют длиной от 1 до 5 *м* цельнотянутыми, гладкими. Временное сопротивление растяжению равно 2 000 *кг/см*^{2} (минимум); допускаемое напряжение на растяжение равно $300 \div 400$ *кг/см*^{2}. Алюминиевые трубы значительно легче всех других металлических соответственно равного диаметра (в свету) и толщины стенок. Толщина стенок алюминиевых труб рассчитывается по ф-ле Баха:

$$\delta = 0{,}5\, D \left(1 - \sqrt{\frac{\sigma_z - 1{,}3\,p}{\sigma_z + 0{,}4p}}\right), \qquad (1)$$

где D—наружный диам. трубы в *см*, δ—толщина стенок в *см*, p—внутреннее давление в *atm* (*кг/см*^{2}), σ_z—допускаемое напряжение на растяжение в *кг/см*^{2}. Определенная по формуле (1) и по другим нижеприведенным формулам толщина стенок труб д. б. увеличена на нек-рую практич. величину C, зависящую от материала стенок труб. Вес 1 *п. м* трубы будет равен

$$G = \gamma \cdot \pi \cdot (D \cdot \delta - \delta^2), \qquad (2)$$

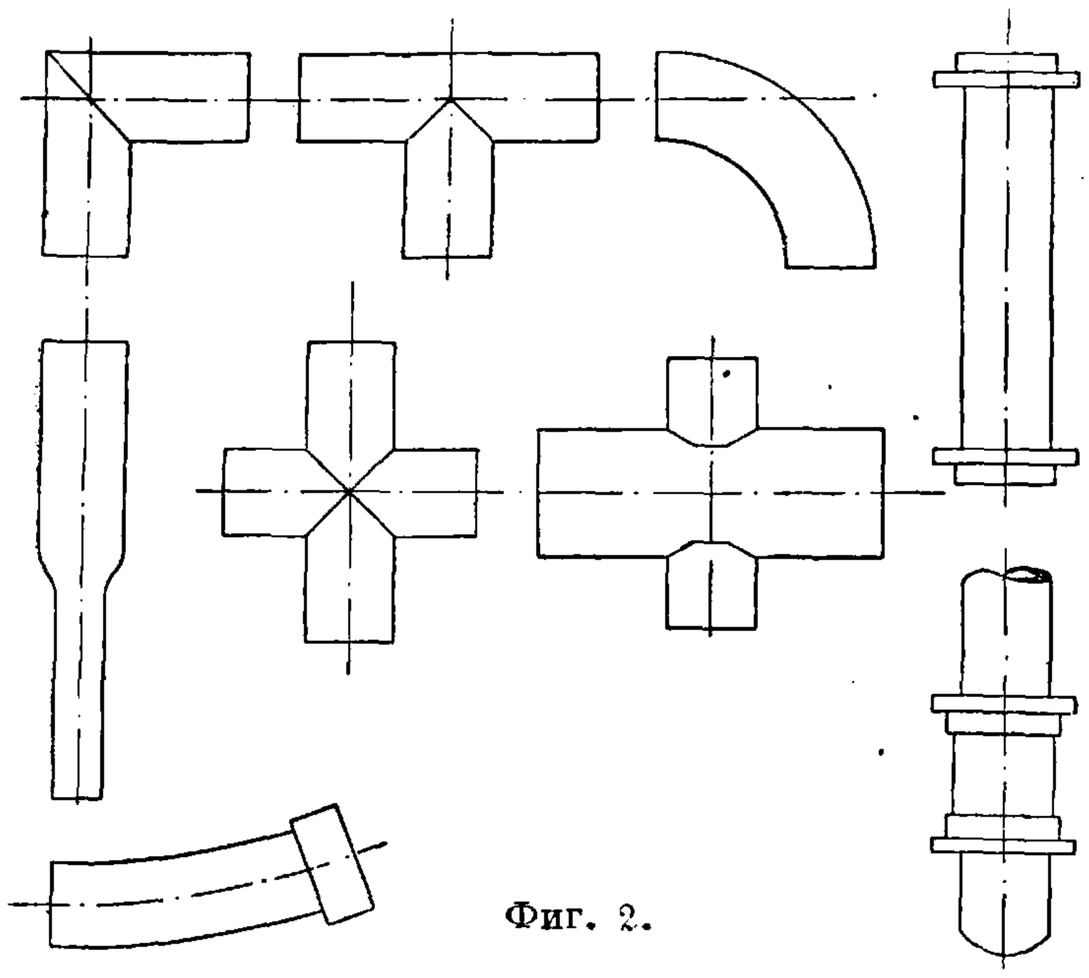
где γ—вес 1 *м*^{3} материала Т., D и δ в *м*. При $p = 10$ *atm* и $\sigma_z = 300$ *кг/см*^{2}: наружный диам. D труб $5 \div 80$ *мм*, расчетная толщина стенок $0{,}07 \div 1{,}13$ *мм*, обыкновенная толщина стенок $0{,}5 \div 1{,}25$ *мм*, вес 1 *п. м* $0{,}0190 \div 0{,}8350$ *кг*. При $p = 20$ *atm* и $\sigma_z = 300$ *кг/см*^{2}: наружный диам. $D = 5 \div 80$ *мм*, расчетная толщина стенок $0{,}14 \div 2{,}27$ *мм*, обыкновенная толщина стенок $0{,}5 \div 2{,}00$ *мм*, вес 1 *п. м* трубы $0{,}0190 \div 1{,}3232$ *кг*. Для труб диам. D свыше 30 *мм* можно принять $\sigma_z > 300$ *кг/см*^{2}, а поэтому соответственно уменьшить против расчетной толщину стенок трубы; для труб диам. D меньше 30 *мм*—наоборот. Соединение труб производят при помощи ниппелей, когда толщина стенок трубы более 1 *мм*, или посредством стальных колец, установленных позади (образованных) фланцев, стянутых болтами. Соединение тонкостенных труб м. б. произведено также при помощи муфт, расположенных на стыках (патент Oesten) (фиг. 1).



Фиг. 1.

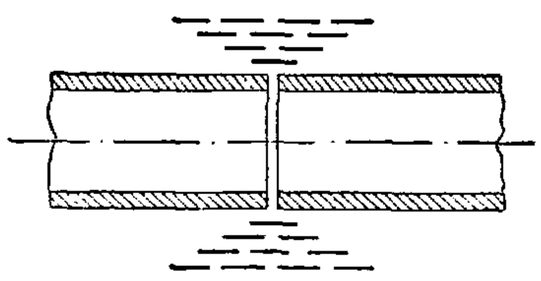
2) Асфальтовые трубы изготовляются из бумаги, пропитанной расплавленным асфальтом, при диаметре (в свету) $51 \div 381$ *мм*; $t°$ жидкости, протекающей в этих трубах, не д. б. выше 30°. Вода с примесью к-т и солей не оказывает вредного влияния, но летучие масла действуют разрушительным образом; быстрая перемена $t°$ и мороз оказывают менее вредное влияние, чем на трубы из других материалов. Допускаемое внутреннее давление принимают до 2 *atm*. Прямые трубы обыкновенно изготовляют длиною ок. 2 *м*. Соединение делается с помощью муфт или бандажей из того же материала. Вода, протекающая по этим трубам, вначале воспринимает от них запах, к-рый впоследствии исчезает. Уд. в. материала труб $\gamma = 1\,200$ *кг* в 1 *м*^{3}. Для рабочего давления в 2 *atm*: внутренний диам. трубы $51 \div 381$ *мм*, толщина стенок 23—41 *мм*; вес 1 *п. м* $6{,}4 \div 65{,}3$ *кг*. Колена и отводы делаются длиною $0{,}5 \div 1$ *м* при любом угле отклонения; тройники и крестовины имеют длину $1 \div 2$ *м*; переходы рассчитываются по наибольшему внутреннему диам.; для соединения с чугунными и гончарными трубами, а также с задвижками, вентилями и прочими частями служат особо рассчитанные патрубки (фиг. 2). При транспорте асфальтовых труб следует избегать соприкосновения их как между собою, так и с другими твердыми предметами во избежание порчи от трения и ударов. Склад для труб д. б. достаточно прохладным, защищенным от действия

солнечных лучей, причем трубы следует хранить в вертикальном положении. Перед употреблением в дело поврежденные концы труб

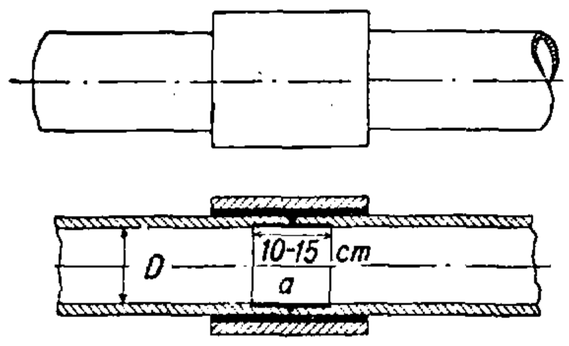


Фиг. 2.

срезают, затем заостряют на длину ок. 100 *мм* с уменьшением толщины стенки примерно на $^1/_3$. При выполнении соединений концы быстро обматывают лентами, пропитанными предварительно горячей асфальтовой массой, в порядке, указанном на фиг. 3. Рекомендуется до накладывания бандажей оба соединяемых конца трубы на длине нескольких *см* покрыть горячим асфальтом. После наложения первых пяти ленточных полос целесообразно их связать тонкой бечевой. Ленты берут длиной приблизительно в $1^1/_4$ внешней окружности трубы и шириной $75 \div 100$ *мм* для труб диам. $50 \div 125$ *мм* и шириной $100 \div 150$ *мм* для труб большего диам. Расход асфальта для накладывания



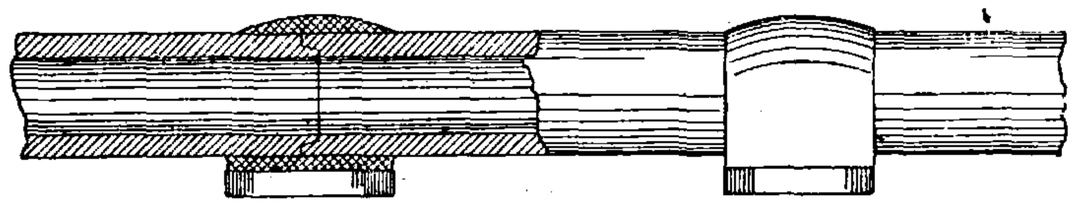
Фиг. 3.



Фиг. 4.

бандажей равен примерно $0{,}02\ D$ *кг*, где D — внутренний диам. трубы. При внутреннем давлении $2 \div 5$ *atm* целесообразно вставлять внутрь стыка тонкую цилиндрич. стальную муфту a длиною $100 \div 150$ *мм* с внутренним диам., соответствующим диаметру трубы (фиг. 4). Для вставления этой муфты в трубе делают ножом соответственные углубления; после вставки муфты накладывается бандаж или надевается жесткое кольцо с последующей заливкой зазора асфальтом. Для большей прочности к жидкому горячему асфальту добавляется мел в порошке или чистый песок. Асфальтовые трубы применяют в водопроводном деле уже продолжительное время. Впервые они получили распространение во Франции для давления до 20 *atm*. Большое значение имеет качество изготовления. Так, в одном случае после 15-летнего применения они оказались деформированными, в другом случае (в Штуттгарте) оказались в удовлетворительном состоянии после весьма продолжительной службы. Во Франции до последнего времени в большом количестве имели применение т. н. трубы Шамероа (Chameroy). Эти трубы изготовляются из освинцованного листового железа и покрываются затем толстым слоем асфальта.

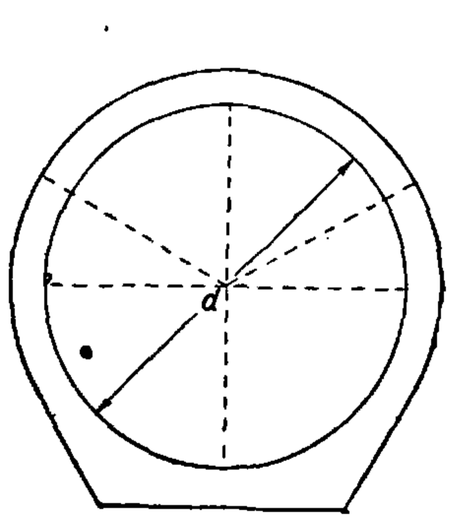
3) Бетонные (цементные) трубы фабричного производства изготовляются обыкновенно длиною в 1 *м* каждая. Толстостенные бетонные водосточные трубы фабричного производства, выдерживающие давление земляной насыпи над ними в 3 *м* при диам. в свету $15 \div 100$ *см*, имеют толщину стенок $2{,}5 \div 10$ *см* и весят $33 \div 1\,020$ *кг* в 1 *п. м*. Скорость течения воды в бетонных трубах принимается не свыше 1 *м/сек*. При наличии внутреннего давления толщина стенок труб получилась бы чрезмерно большой, и трубы стали бы экономически невыгодными. В виду недостаточной прочности при экономичной толщине стенок бетонные трубы применяются лишь для водоводов без внутреннего давления. Для соединения бетонных труб между собой их плотно пригоняют стыками в четверть, как показано на фиг. 5, делая бетонное утолщение шириною ок. 15 *см* вокруг стыка с устройством под стыком подушки. Бетонным трубам придают сечение, указанное на фиг. 6. При внутреннем диам. этих труб $10 \div 100$ *см* ширина подошвы делается $8 \div 65$ *см*, причем при $d = 10 \div 50$ *см* ширина подошвы равна $0{,}8d$, а при $d = 60 \div 100$ *см* эта ширина равна $0{,}5d + 15$ *см*. Длина трубы равна 100 *см*. Толщину



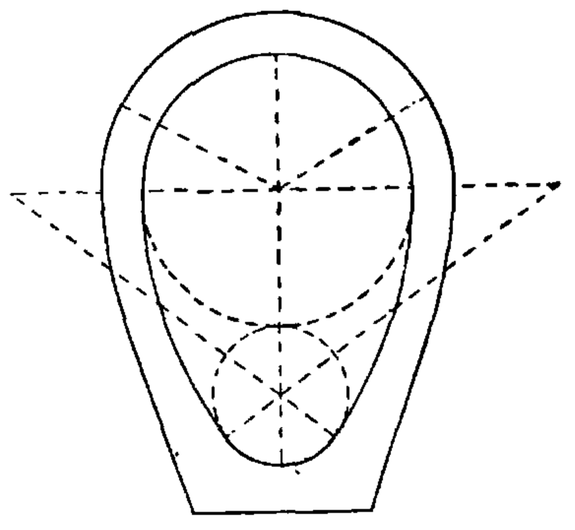
Фиг. 5.

труб у подошвы и в замке при $d > 60$ *см* надлежит делать большей, чем толщина стенок.

4) Керамиковые трубы (фиг. 7 и 8) применяются при устройстве канализации, дренажа, дымоходов и пр. (см. *Канализация*, *Дренаж*). Керамиковые трубы бывают гончарные и штейнгутовые. Первые изготовляются из лучшей горшечной глины, обжигаются и покрываются соляной глазурью. Идущая в дело глина не должна содержать извести, т. к. стенки труб, сделанные из такой глины, пропитываются водой, образуя гашеную известь, и распадаются. Штейнгутовые трубы изготовляются из огнеупорной глины с примесью шамотного порошка, обжигаются при $t°$ до 1 800° и глазируются путем прибавки в печь в конце обжига пова-



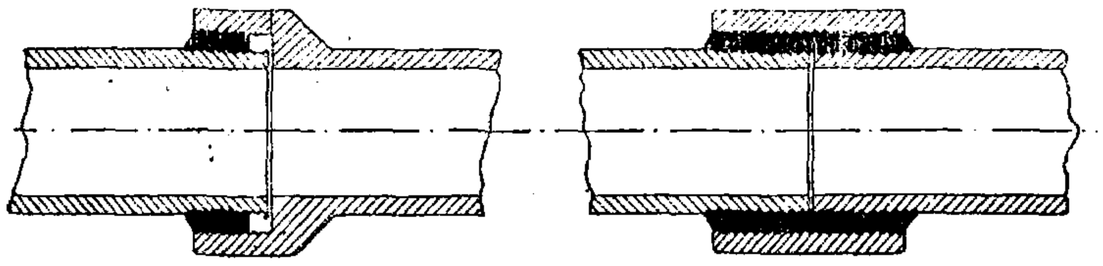
Фиг. 6.



Фиг. 7.

ренной соли. Хорошо обожженная керамиковая труба имеет в изломе стекловидно-зернистую плотную структуру и издает при ударе ясный звон. Керамиковые трубы стандартизованы и изготовляются диам. 125—900 *мм*, длиною 800—1 000 *мм*. В домовой канализации применяются трубы ⌀ 125, 150 и 200 *мм* преимущественно для дворовой сети. Канализационные трубы должны иметь водонепроницаемые плотные стенки. Соединение производится раструбом (фиг. 8).

или муфтой (фиг. 9). Заделка раструба выполняется просмоленной прядью с последующей заделкой мятой (жирной, пластичной) глиной или заливкой смолою или асфальтом, а при жестких соединениях применяется заливка цементным раствором. Дренажные трубы изготовляют из плотной обожженной глиняной массы.



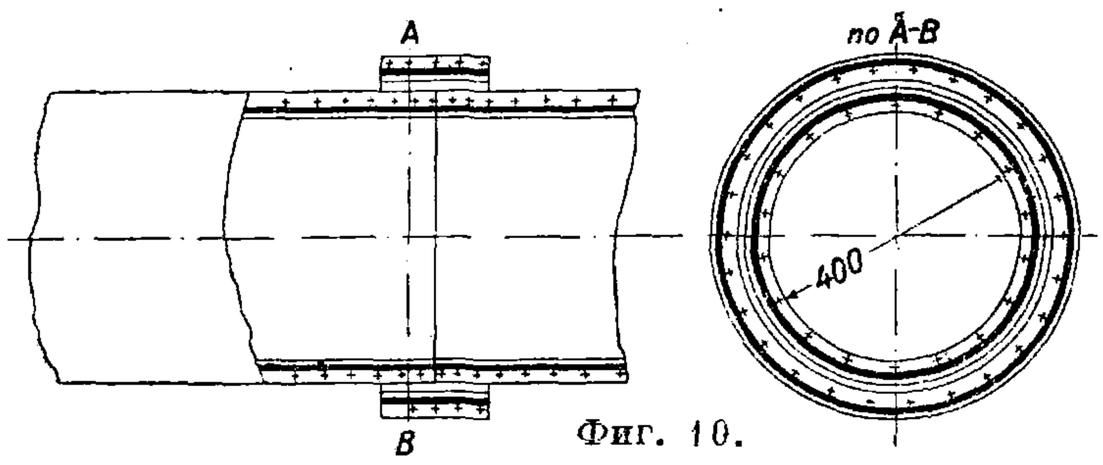
Фиг. 8 и 9.

При укладке этих труб стыки остаются открытыми у приема почвенной воды (см. *Дренаж*).

Сопротивление керамиковых труб растяжению сравнительно невелико. Определяя это сопротивление по ф-ле

$$K_z = \frac{0{,}4 + 1{,}3m}{m-1} \cdot p, \qquad (3)$$

где $m = \left(1 + \frac{2\delta}{d}\right)^2$, мы получим по данным Sparato: внутренний диам. трубы $40 \div 200$ *мм*, толщина стенок трубы $11 \div 19$ *мм*, внутр. давление при разрушении $20 \div 5$ *atm*, временное сопротивление $50 \div 26$ *кг/см²*, вес 1 *п. м* трубы $3{,}5 \div 27{,}0$ *кг*; по данным завода в Мюнстерберге: внутренний диам. $200 \div 800$ *мм*, толщина стенок труб $20 \div 54$ *мм*. внутр. давление при



Фиг. 10.

разрушении $14 \div 7$ *atm*, временное сопротивление $75 \div 62$ *кг/см²*, вес 1 *п. м* $36 \div 330$ *кг*. Если увеличить толщину стенок керамиковых труб большого диам. для того, чтобы они могли выдерживать большее внутреннее давление, то такие трубы оказались бы менее экономичными, чем стальные трубы; поэтому керамиковые трубы употребляются в настоящее время почти исключительно для трубопроводов, не испытывающих внутреннего давления.

5) *Деревянные трубы* (см.), *состоящие из клепок* и стальных стяжек (обручей), м. б. рассчитаны сл. обр. Для определения толщины стенок трубы (толщины клепок) Рабовским предложена следующая ф-ла:

$$\delta_h = 0{,}707\, a \sqrt{\frac{p}{\sigma_{zh}}}, \qquad (4)$$

где a—расстояние между серединами стяжек в *см*, p—избыточное давление воды в *кг/см²*, σ_{zh} — допускаемое напряжение на растяжение пропитанного водой дерева в *кг/см²*, δ_h—толщина клепок в *см*. Все давление, производимое водой на стенки трубы, д. б. воспринято стяжками, толщина к-рых м. б. рассчитана по ф-ле

$$\delta_e = \sqrt{\frac{2\,pda}{\sigma_{ze} \cdot \pi}}, \qquad (5)$$

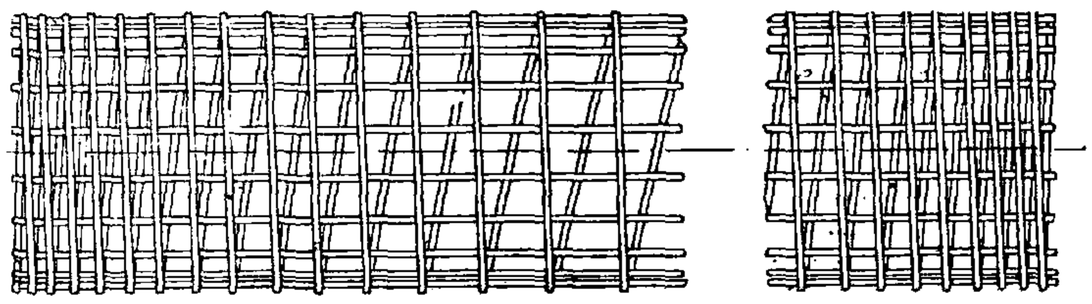
где δ_e—толщина (диам.) стяжек в *см*, σ_{ze}—допускаемое напряжение материала стяжки (стали) на растяжение в *кг/см²*.

Допускаемое напряжение железа для стяжек принимают ок. 600 *кг/см²*, учитывая запас сечения на ржавление, а также и наличие большого напряжения стяжки при пустой трубе. Полученная по ф-лам (4) и (5) толщина д. б. увеличена на нек-рую практич. величину.

6) Железобетонные трубы применяются в напорных трубопроводах, в к-рых давление не превышает 5 *atm*, и изготовляются машинным способом в виде отдельных звеньев длиною 3—5 *м* и непрерывными на месте работ. Трубы должны иметь помимо кольцевой арматуры хорошую продольную арматуру. Для проверки подобранного сечения можно воспользоваться ф-лой

$$\sigma_z = \frac{5\,dH}{f_b + nf_e}, \qquad (6)$$

где σ_z—напряжение бетона на растяжение в *кг/см²*, d—внутренний диам. трубы в *см*, H—полная высота напора в *м*, $f_b = 100 \cdot \delta$—площадь



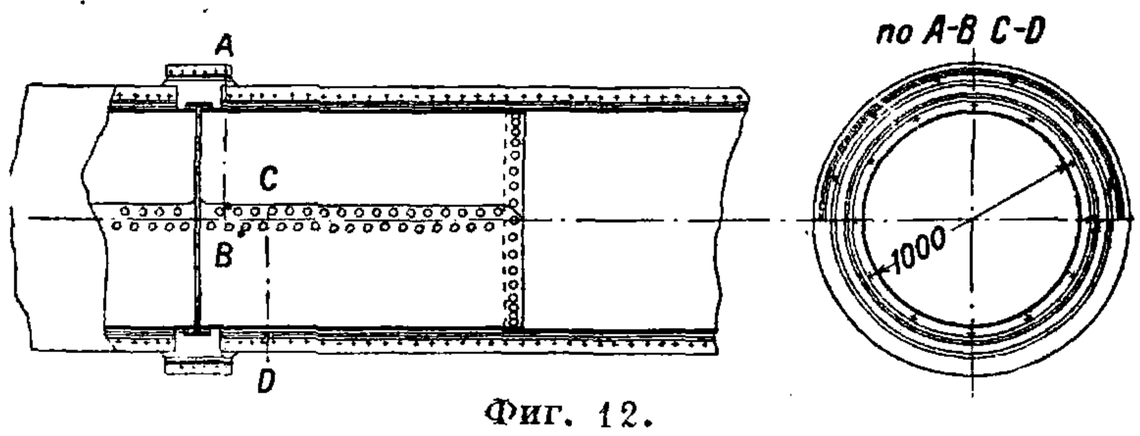
Фиг. 11.

продольного сечения трубы в *см²* длиною 1 *п. м* и толщиною стенки δ *см*, f_e—соответствующая площадь поперечного сечения стальной арматуры в *см²*, $n = 15$—отношение модулей упругости стали и бетона при растяжении.

При внешнем давлении прутья помещаются вне колец, труба работает на сжатие по двум производящим. Для проверки подобранного сечения может служить ф-ла

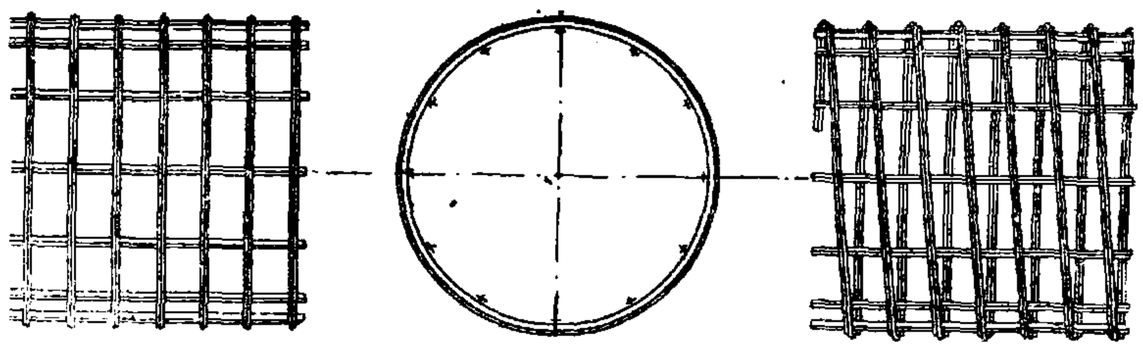
$$\sigma_d = \frac{50\,Dp}{f_b + nf_e}, \qquad (7)$$

где σ_d—напряжение бетона на сжатие, D—наружный диам. трубы в *см*, p—внешнее давление в *кг/см²*. Если железобетонная труба подперта не по всей своей длине, а в нек-рых определенных точках, напр. в стыках, то



Фиг. 12.

возникает необходимость проверки ее прочности как балки, свободно лежащей концами на опорах. Прутья составляют в этом случае арматуру такой балки. При диам. железобетонных труб свыше 1,2 *м* является более рациональным изготовлять трубы на месте работ. На фиг. 10



Фиг. 13.

показана труба сист. Борденава, а на фиг. 11 отдельно ее арматура; нормальная длина этих труб ок. 3 *м*. На фиг. 12 изображена труба сист. Бонна; при больших давлениях эта труба снабжается помимо обычной арматуры еще тонкой

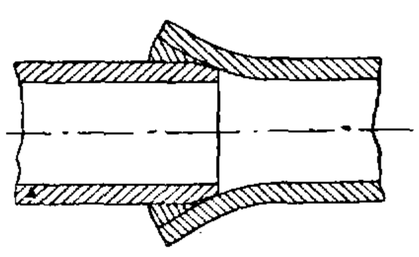
стальной трубой; все давление воды передается на эту стальную трубу, бетон же с арматурой служит лишь оболочкой для нее; такие трубы мало экономичны; нормальная длина труб 3,6 ÷ 3,8 *м*. Арматура трубы видна на фиг. 13. Эти трубы при давлении воды в 2—2,5 *atm* водонепроницаемы.

7) Медные, латунные и бронзовые трубы применяются при технич. установках и не допускаются при устройстве водопроводов питьевой воды в виду опасности отравления людей вредными соединениями меди с к-тами, содержащимися в воде.

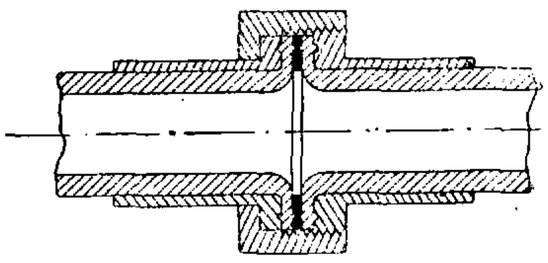
8) Оловянные трубы хотя и являются допустимыми для питьевых водопроводов, но мало применяются вследствие высокой стоимости. Благодаря гибкости эти трубы имеют преимущество перед железными, т. к. могут быть уложены без применения фасонных частей, а соединение м. б. выполнено спайкою. Толщина стенок труб рассчитывается по ф-ле Баха (1).

9) Свинцовые трубы применяются преимущественно для домовых водопроводов и отличаются своим удобством в работе. Эти трубы пользуются распространением благодаря гибкости, сравнительно легкой обработке, возможности укладки без применения фасонных частей. Недостатком этих труб является: сужение сечения при крутых изгибах, провисание горизонтально подвешенных труб, порча крысами, прогрызающими их в поисках воды, легкость смятия труб от случайных ударов и т. п. Для устранения провисания этих труб необходимо устройство опорных приспособлений, напр. в виде деревянных планок на определенных расстояниях между собой. Снаружи свинцовые Т. почти не окисляются, т. к. раз образовавшийся налет окиси свинца (PbO) предохраняет их от дальнейшего окисления. Главный недостаток свинцовых Т. с санитарной точки зрения—это способность свинца при известных условиях растворяться в воде и вызывать вследствие этого отравления. Яд этот настолько опасен, что даже небольшое содержание его в питьевой воде недопустимо. Относительные исследования этого явления показали, что свинец растворяется в воде в том случае, если он попеременно приходит в соприкосновение то с воздухом то с водою. Поэтому необходимо, чтобы свинцовые трубы постоянно находились под напором; если же вследствие недостатка давления в городской сети трубы верхних этажей по временам остаются без воды, то растворение свинца делается возможным, и в этом случае необходимо в верхних этажах применять трубы из другого материала. Предполагали, что содержание в воде свободной углекислоты (CO_2) тоже способствует растворению свинца; поэтому понятно, что долгое время приписывали именно мягкой воде свойство растворять свинец; в жесткой воде углекислые соли связывали CO_2, образуя двууглекислые соли. В речной воде присутствия свободной CO_2 нельзя ожидать, но в грунтовых водах, растворяющих при проходе через слои почвы значительное количество почвенной CO_2, последняя может находиться в большом избытке и могла бы давать повод к растворению свинца. Но оказалось, что CO_2 играет ничтожную роль в отравлении воды свинцом, т. е. образующийся на трубах налет углекислого свинца ($PbCO_3$) нерастворим в воде и предохраняет свинец от дальнейшего растворения. Гораздо более опасными в смысле растворителей Pb являются азотнокислые, хлористые и сернокислые соли, причем растворимость Pb не зависит от металла, входящего в соль, а только от к-ты. Прибавка же CO_2 и ее солей даже уменьшает растворимость Pb, образуя вышеуказанный нерастворимый налет. Едкая известь разъедает свинцовые трубы снаружи, если приходит в соприкосновение с ними (свежая кладка); пары к-т, осаждаясь на холодных трубах, тоже разъедают свинец; в таких случаях свинцовые трубы д. б. одеты. Для свинцовых труб особенно важно, чтобы стенки их всюду имели одинаковую толщину, т. к. при тягучести свинца слабейшие места постепенно уступают давлению воды и действию гидравлич. ударов, т. ч. в конце-концов в этих местах труба разрывается. Свинцовые трубы употребляются при нормальном давлении в трубопроводах, не свыше 3—4 *atm*. При внутреннем диам. труб 10÷50 *мм* обыкновенная толщина стенок труб фабричного изготовления 3 ÷ 8 *мм*; вес 1 *п. м* трубы 1,5÷16,5 *кг*.

На фиг. 14 и 15 представлены два способа соединения свинцовых труб между собой: путем

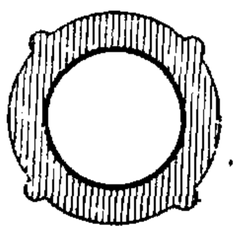


Фиг. 14.



Фиг. 15.

их спаивания (фиг. 14) и путем их свинчивания (фиг. 15). Свинцовые трубы, луженые внутри и снаружи, хранятся в бухтах длиною 3—4 и более *м*. В санитарном отношении лучше (по сравнению с обыкновенными свинцовыми трубами) свинцовые Т. с оловянной внутренней рубашкой, имеющей толщину 0,5 *мм*. Наружный признак таких труб—выступы, идущие вдоль их поверхности (фиг. 16). Т. к. олово не растворяется в воде, оно защищает свинец от растворения. Однако высокая стоимость этих труб препятствует их распространению.

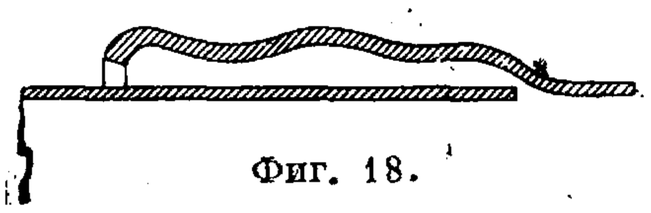


Фиг. 16.

При внутр. диам. трубы 10÷40 *мм* толщина стенки трубы 4÷6 *мм*, вес 1 *п. м* трубы 2—10 *кг*, допускаемое внутреннее давление 20—6 *atm*.

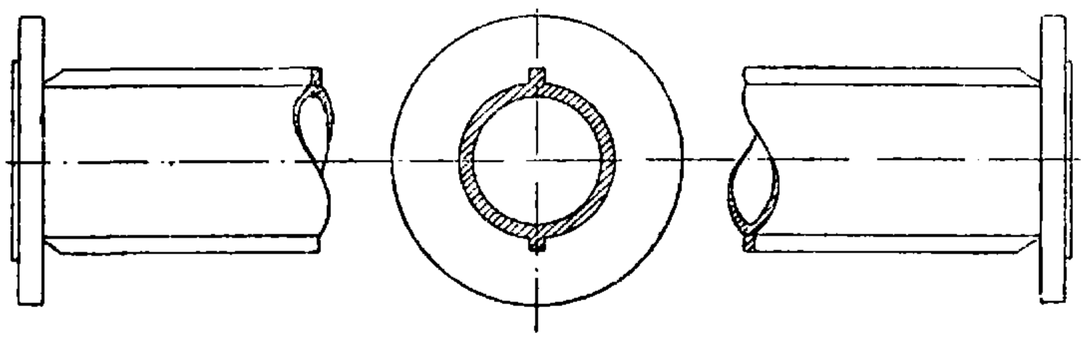
10) Стальные трубы (см. выше) рассчитывают по ф-лам (1) и (2). Стальные спирально-сваренные трубы (фиг. 17) имеют нормальную длину в 10 *м*. Сопротивление материала 30 ÷ 35 *кг/мм²*. При наружном диаметре трубы 157 ÷ 622 *мм* толщина стенок трубы 2,5 ÷ 3,5 *мм*, рабочее давление 24 ÷ 8,5 *atm*. Стальные трубы системы Тиссена имеют желобчатые муфты (фиг. 18). Трубы асфальтируют и покрывают кроме того снаружи джутом, пропитанным смолою. При внутр. диам. 40 ÷ 400 *мм* нормальная толщина стенки 3,0÷8,5 *мм*, вес (приблизительно) 1 *п. м* трубы 3,85 ÷ 94,50 *кг*, ширина зазора у наружного края муфты 7,5 ÷ 9,5 *мм*, внутр. диам. муфты 58,5 ÷ 439,0 *мм*, глубина раструба 93 ÷ 190 *мм*, глубина заделки 67 ÷ 95 *мм*. Стальные манесмановские трубы изготовляют цельнотянутыми для давления (при диам. до 200 *мм*) 50—150 *atm*; для предохранения от ржавчины

Фиг. 17.



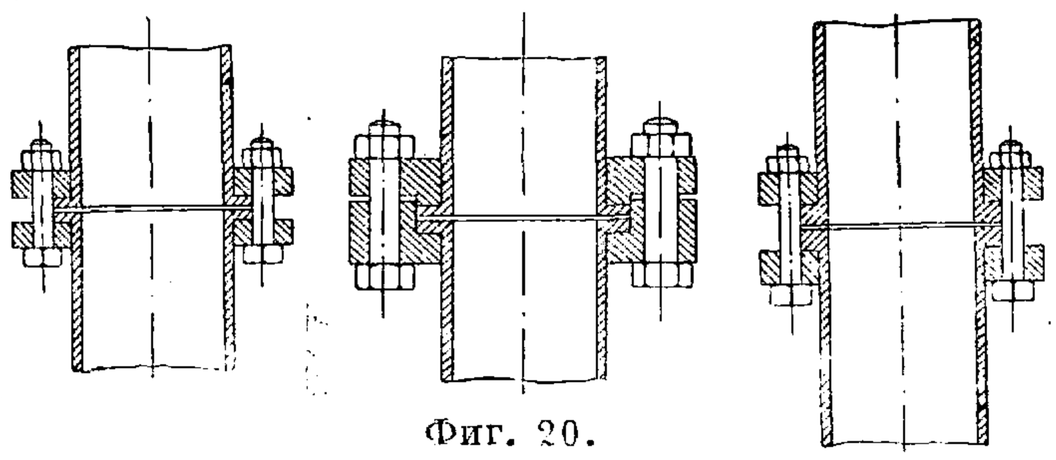
Фиг. 18.

их покрывают асфальтовым лаком (в горячем виде) и кроме того снаружи джутом, пропитанным смолою. Стальные маннесмановские муфтовые трубы при внутреннем диаметре 40—250 *мм* имеют толщину стенок $3 \div 7$ *мм*, вес 1 *п. м* трубы $3{,}85 \div 53$ *кг*. Трубы эти изготовляют нормально длиною до 7 *м*. Стальные маннесмановские трубы с фланцевым соединением при внутр. диам. труб $38 \div 305$ *мм* имеют толщину стенок трубы $2{,}25 \div 7{,}5$ *мм*, вес 1 *п. м* трубы с фланцами $2{,}40 \div 61{,}48$ *кг*. Стальные маннесмановские трубы высокого



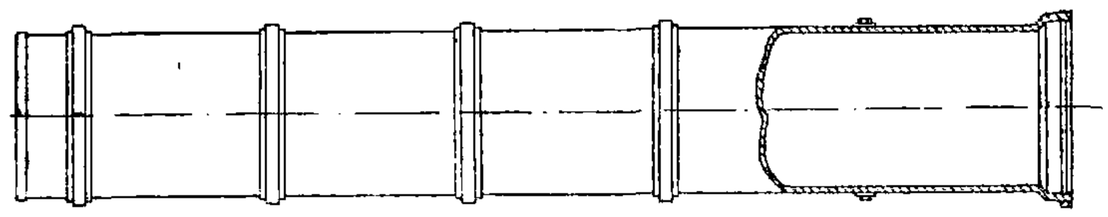
Фиг. 19.

давления выделывают нормальной длины $3 \div 6{,}5$ *м* для средних размеров и $3 \div 4{,}5$ *м* для наиболее тяжелых сортов. Для рабочего давления до 50 *atm* (пробное давление 100 *atm*) трубы изготовляют внутр. диам. $6 \div 300$ *мм* при толщине стенок $3{,}5 \div 7{,}5$ *мм* и весе 1 *п. м* от 0,85 до 56,5 *кг*. Для рабочего давления в 100 *atm* (пробное давление 200 *atm*) внутр. диам. трубы равен $6 \div 200$ *мм* при толщине стенок



Фиг. 20.

$3{,}5 \div 10{,}0$ *мм* и весе 1 *п. м* от 0,85 до 51,5 *кг*. Стальные патентованные трубы (без шва) с продольными ребрами (фиг. 19) изготовляются Дуйсбургским сталелитейным заводом диаметром $130 \div 235$ *мм* при толщине стенок $3 \div 10$ *мм* и длине (в одной штуке) в 10 *м*. При расположении ребер вверху и внизу трубы эти лучше других сопротивляются поперечному изгибу. Фланцевые соединения



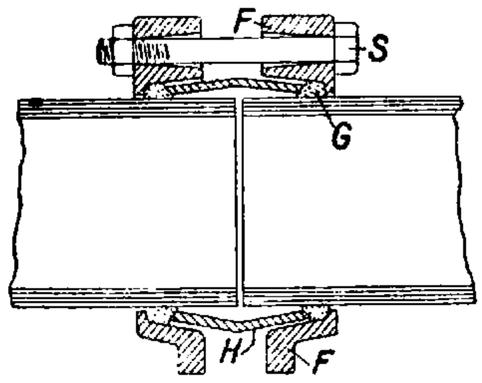
Фиг. 21.

маннесмановских стальных труб между собою показаны на фиг. 20 на трех примерах, не требующих пояснений.

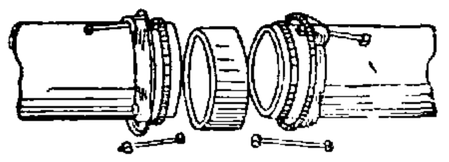
11) Чугунные трубы (о нормальных чугунных трубах см. выше) для высокого давления (до 75 *atm*), изготовляемые на з-де Фридрих-Вильгельмсхютте в Мюльгейме на Руре, рассчитываются по ф-ле

$$\delta = d\,\frac{1}{2}\,\frac{p}{\sigma_z}\left[1 + \frac{1}{2}\,\frac{p}{\sigma_z} + \frac{1}{6}\left(\frac{p}{\sigma_z}\right)^2\right], \qquad (8)$$

где δ—толщина стенок трубы в *см*, d—внутр. диам. трубы в *см*, p—внутр. давление в *кг/см*^{2}, σ_z—допускаемое напряжение на растяжение в *кг/см*^{2}; при $d = 40 \div 750$ *мм* и $p = 20$ *atm* толщина стенок трубы равна $10 \div 44$ *мм*; при $d = 40 \div 500$ *мм* и $p = 30$ *atm* толщина стенок трубы равна $11 \div 44$ *мм*; при $d = 40 \div 300$ *мм* и $p = 50$ *atm* толщина стенок трубы равна $13 \div 44$ *мм*; при $d = 40 \div 150$ *мм* и $p = 75$ *atm* толщина стенок трубы равна $15{,}5 \div 35$ *мм*. Стенки труб не рекомендуется делать большей толщины, чем 45 *мм*, в виду возникающих тогда при остывании чугуна у наружного по-



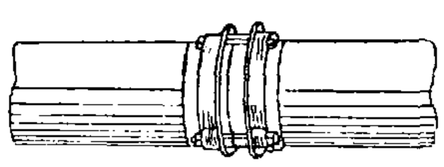
Фиг. 22.



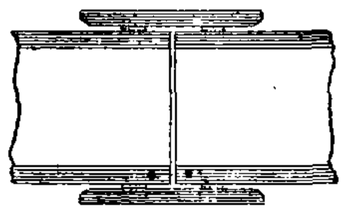
Фиг. 23.

крова труб напряжений. К найденной по формуле (8) величине толщины стенок труб добавляется 8 *мм*.

12) Панцырные трубы сист. Роже (фиг. 21) изготовляют на з-де Понт-а-Муссон. Чугунные муфтовые трубы имеют в определенных расстояниях друг от друга утолщения (ребра) шириною 80—90 *мм*; на эти утолщения



Фиг. 24.

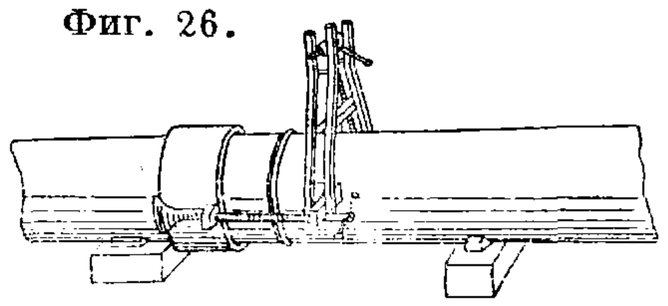


Фиг. 25.

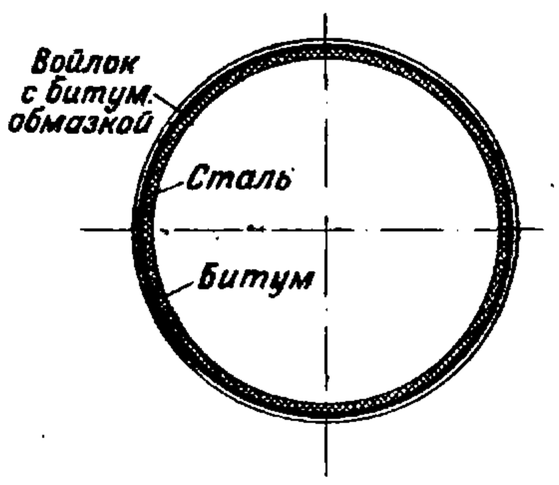
нагоняются в горячем состоянии стальные кольца. Длина трубы равна 4 *м*. Применяется указанный способ увеличения сопротивляемости к чугунным трубам диам. $600 \div 1\,500$ *мм*; число колец равно $5 + 1$ (на раструбе). При внутр. диам. труб $600 \div 1\,500$ *мм* толщина стенки трубы $18 \div 28$ *мм*, ширина утолщения на трубе $80 \div 90$ *мм*, ширина утолщения на раструбе $45 \div 65$ *мм*; расстояние между утолщениями $693 \div 679$ *мм*; поперечное сечение колец на трубе от 60×18 до 70×28 *мм*.

13) Этернитовые (асбоцементные) трубы изготовляются обществом «Этернит» в Италии. Материалом для этих труб служит раствор из 85% хорошего портландского цемента и 15% асбестового волокна среднего качества.

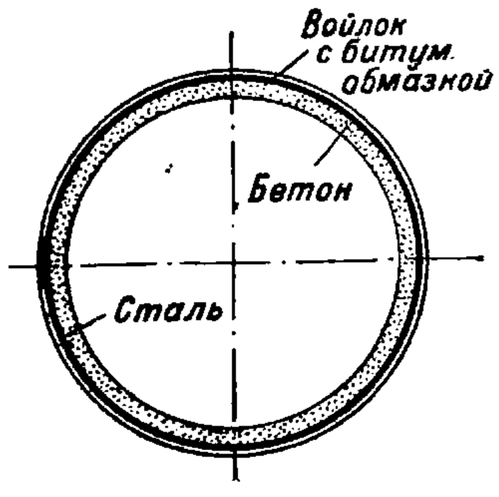
Фиг. 26.



Указанным з-дом установлен следующий сортамент труб: а) легкие—для рабочего давления в 2,5—3 *atm* и пробного давления в 5 *atm*; б) более тяжелые—для рабочего давления в 5 *atm* и пробного в 10 *atm*; в) нормальные—для рабочего давления до 10 *atm* и пробного в 15 *atm*; г) высокого давления—для рабочего давления до 15 *atm* и пробного в 20 *atm*. Толщина стенок труб при их диам. $50 \div 400$ *мм* и при рабочем давлении 2,5—15 *atm* равна $10 \div 46$ *мм*. Трубы имеют гладкие концы и соединяются при помощи муфт (фиг. 22, 23 и 24). На фиг. 22 дано соединение «Gibault», причем буквами обозначены: H — металлич.

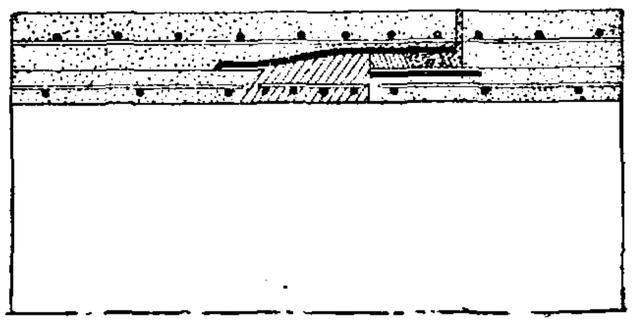


Фиг. 27.

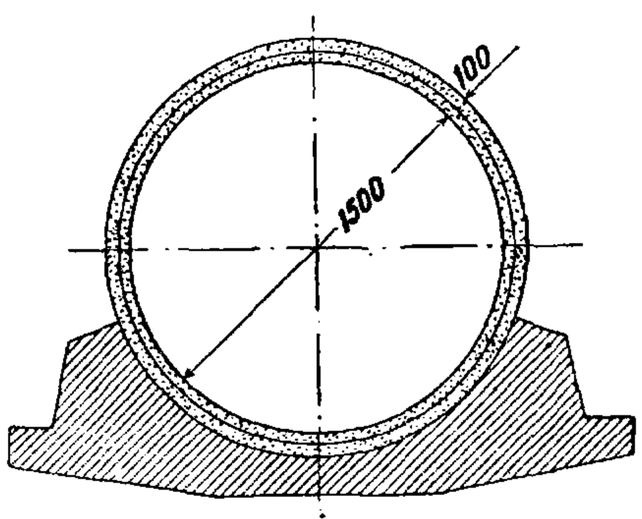


Фиг. 28.

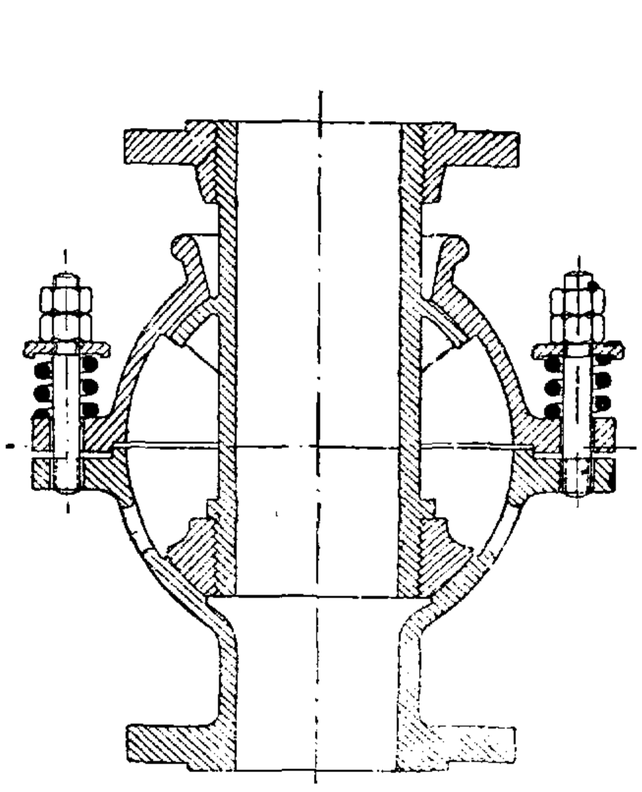
гильза, *F*—фланцевые кольца, *G*—резиновые кольца, *S*—болты количеством 2—5 шт. в зависимости от диаметра труб; части соединения «Gibault» показаны также на фиг. 23 и 24 в разобранном и собранном видах. На фиг. 25 соединение «Simplex» состоит из асбоцементной гильзы, натягиваемой на концы соединяемых труб поверх двух уплотнительных колец посредством особого, указанного на фиг. 26 приспособления. Фасонные части м. б. из того же материала или же могут быть употреблены фасонные части чугунных или стальных труб. К достоинствам этих труб нужно отнести: полную водонепроницаемость, устойчивость при перевозках, морозоупорность, легкость по весу и др. В последнее время начали применять для водопроводов: в Англии—стальные трубы, покрытые внутри впрессованным центробежным способом слоем битума, а снаружи войлоком с битумовой обмазкой (фиг. 27), в Америке—такие же трубы, но имеющие вместо внутреннего битумового слоя внутренний бетонный слой, впрессованный также центробежным способом (фиг. 28). Эти два вида водопроводных труб получили применение и в Германии: первые с внутр. диам. 150 *мм*, а вторые с внутр. диам. 100 ÷ 400 *мм*. Трубы больших размеров, с внутр. диам. 500—1 500 *мм*, изготовлялись в Германии железобетонными со стальным ядром. Переход к описанным трубам обусловливался коррозией металлич. труб и другими причинами. На фиг. 29 показано соединение между собой двух железобетонных со стальным ядром труб, а на фиг. 30 изображено расположение железобетонной со стальным ядром трубы на бетонной постели. Все описанные трубы были применены для расширения сети водопровода в Дрездене.



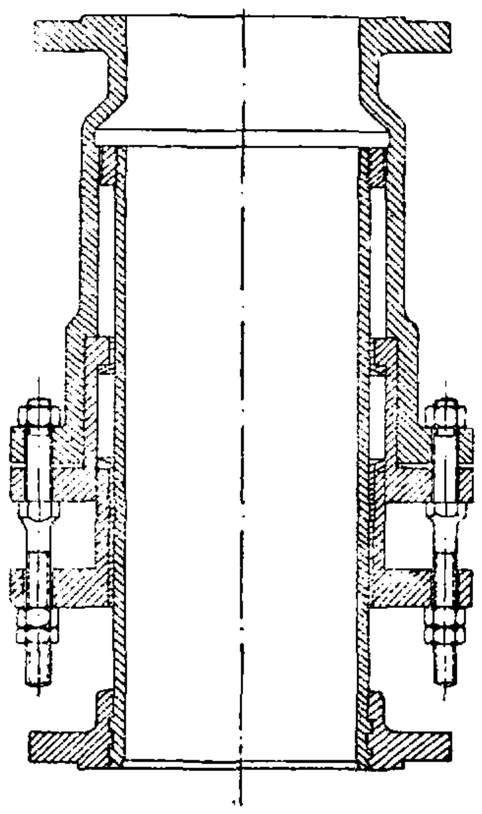
Фиг. 29.



Фиг. 30.



Фиг. 31.



Фиг. 32.

14) Компенсационные трубы (компенсаторы) служат для восприятия $t°$-ных изменений (где таковые в трубопроводах имеют место). Обыкновенно принимают, что при повышении $t°$ на 100° 1 *м* железных трубопроводов удлиняется на 1,2 *мм*. На фиг. 31 и 32 показаны компенсаторы, устройство к-рых не требует особых пояснений.

О гибких Т. с. см. *Рукава*.

Лит.: Брилинг С., Пособие для проектирования и расчета водопроводных линий и городских сетей, М., 1930; Бринкгауз П., Городская водопроводная сеть труб, пер. с нем., М., 1928; Rötscher F., Die Maschinenelemente, B. 1, B., 1927; Westphal M., Berechnung d. Festigkeit loser u. fester Flanschen, «Z. d. VDI», 1897; Bach C., Versuche mit Flanschenverbindungen, ibid., B. 43, 1899; Bundschu F., Druckrohrleitungen d. Wasserkraftwerke, W.—B., 1929; Durand W., Hydraulics of Pipe Lines, N. Y., 1921; Karman Th., Ueber die Formänderung dünnwändiger Rohre, insbesondere Federn der Ausgleichsrohre, «Zeitschrift d. VDI», 1889, 1911.

С. Брилинг.

ТРУД. «Процесс Т. представляет собою целесообразную деятельность, сводящуюся к созданию потребительных ценностей, к приспособлению материи к человеческим потребностям, всеобщее условие обмена веществ между человеком и природой, вечное естественное условие человеческой жизни» (Маркс, Капитал, т. I). «В известном смысле,—говорит Ф. Энгельс,—мы должны сказать: труд создал самого человека» (Энгельс, От обезьяны к человеку). Т. человека отличается от полезной работы природы и любого животного тем, что только Т. человека ведется по сознательно определенному плану; «между самым плохим архитектором и самой искусной пчелой есть одно существенное различие, заключающееся в том, что архитектор строит свою ячейку в голове, прежде чем начнет лепить ее из воска. В конце рабочего процесса получается результат, к-рый при начале этого процесса уже существует в представлении работника, т. е. в идее» (Маркс, Капитал, т. I). Труд и природа являются единственными источниками всякого богатства и культуры. «Помимо земли, Т.—единственный источник богатства» (Энгельс, собр. соч. Маркса и Энгельса, т. XV, стр. 559). «Труд является основой производства и источником производственных отношений, совокупности которых образуют экономическую структуру общества» (Маркс, Предисловие к Критике полит. экономии). Процесс труда имеет три основные стороны: 1) целесообразная деятельность или самый труд, 2) предмет, на к-рый действует труд, и 3) орудие, к-рым он действует. Рабочие и средства производства остаются необходимыми факторами производства при всех общественных формах производства, но «для того, чтобы вообще производить, они должны соединиться. Тот особый характер и способ, каким осуществляется это соединение, различает отдельные экономические эпохи социальной культуры» (Маркс, Капитал, т. II). В товарном хозяйстве Т. создает потребительные ценности, являющиеся товарами. В товарном хозяйстве Т. имеет двойственный характер. Установление этого двойственного характера Т. Маркс считал одним из лучших достижений своего «Капитала». С одной стороны, Т. является трудом определенного качества, известной специальности, это—конкретный Т., создающий определенную потребительную стоимость; этот Т. создает то, чем товары отличаются друг от друга. С другой стороны, абстрактный Т., затрата человеческой рабочей силы, безотносительно к конкретной форме, в к-рой эта сила затрачена. Абстрактный Т. создает то общее, что есть во всех товарах. «Тем общим, что есть во всех товарах, является не конкретный Т.

определенной отрасли производства, не Т. одного вида, а абстрактный человеческий Т., человеческий Т. вообще» (Ленин, т. XVIII, стр. 16). «Всякий труд есть, с одной стороны, затрата человеческой рабочей силы в физиологическом смысле слова и в качестве такового одинакового или абстрактно-человеческого—труд образует стоимость товаров. Всякий труд есть, с другой стороны, затрата человеческой рабочей силы в особой целесообразной форме и в качестве этой полезной конкретной работы труд создает потребительные стоимости» (Маркс, Капитал, т. I). В основе абстрактного Т. лежит «расходование простой рабочей силы, не получившей специального развития, к-рым в среднем обладает каждый обыкновенный человек» (Маркс, Капитал, т. I). «Сложный, искусный Т. есть только более высокая степень простого Т., труда чернорабочего, так что меньшее количество сложного Т. равняется большему количеству простого Т.» (там же).

Т. может быть производительным и непроизводительным. Т. может быть полезным, не будучи производительным. В капиталистич. хозяйстве с точки зрения капиталиста производительным является только тот Т., к-рый создает прибавочную стоимость. Один и тот же Т. может быть и производительным и непроизводительным. «Мильтон, написавший Потерянный рай, был непроизводительным работником, напротив писатель, работающий на своего издателя, на фабричный манер является производительным работником... Певица, продающая свое пение на свой собственный риск,—непроизводительный работник. Но та же самая певица, приглашенная антрепренером, который заставляет ее петь для того, чтобы выручить деньги,—производительный работник, так как она производит капитал» (Маркс, Теории прибавочной стоимости, т. I, пер. с немецкого).

В условиях капитализма «быть производительным рабочим—это несчастье. Производительный рабочий—это рабочий, производящий чужое богатство. Его существование имеет смысл лишь постольку, поскольку он служит таким орудием производства чужого богатства» (Маркс, Капитал, т. I). Для рабочего на капиталистическом производстве невыносимой является не только вся обстановка эксплоатации, но «невыносимым является также самый труд». Поэтому при капитализме невозможно соревнование, невозможно добровольное и самоотверженное отношение к Т. В социалистич. обществе, когда хозяином средств производства и всех производимых материальных благ является сам рабочий класс в лице его пролетарского государства, коренным образом изменяется роль Т. и отношение рабочего к нему. Т. в СССР—это свободный Т.; он является Т. на себя, на свой класс, при этом Т. «планомерно организованным в гигантском, общегосударственном (в известной мере в интернациональном мировом) масштабе» (Ленин). Одновременно со строительством социализма расширяется и укрепляется новое отношение к Т. «Самое замечательное в соревновании состоит в том, что оно производит коренной переворот во взглядах людей на труд, ибо оно превращает труд из зазорного и тяжелого бремени, каким он считался раньше, в дело чести, в дело славы, в дело доблести и геройства» (Сталин, Вопросы ленинизма).

П р о и з в о д и т е л ь н о с т ь Т. Борьба за повышение производительности Т. имеет важнейшее значение для пролетарской революции и социалистич. строительства. В капиталистич. обществе рост производительности Т. используется капитализмом против рабочего класса для повышения нормы прибавочной стоимости. Социалистич. строй, уничтоживши эксплоатацию рабочего, все виды ненужной растраты рабочей силы, вызываемой конкуренцией и анархией производства, создавая в то же время плановую организацию х-ва, заинтересованность рабочих, которым при социализме принадлежат орудия и продукт Т., в результате производства, тем самым поднимает производительность Т. на возможную при данной технике высоту. Это и наблюдается в СССР, где новая сущность социалистич. отношений между государством и рабочим классом, владельцем средств производства, по-новому ставит проблему производительности Т. Чем выше производительность Т., тем больше социалистическое накопление. А с социалистическим накоплением связаны непрерывный рост основного капитала, социалистич. рационализация, индустриализация страны, увеличение массы работающих, повышение ее культурного и технического уровня и благосостояния. «Производительность труда в последнем счете самое важное, самое главное для победы нового общественного строя...» (Ленин, Великий почин). «Без систематического роста производительности труда как в области промышленности, так и в области сельского хозяйства мы не можем не только догнать и перегнать передовые капиталистические страны, но даже отстоять свое самостоятельное существование» [Сталин, Политотчет XVI Съезду ВКП(б)]. XVII Партконференция по докладу т. Орджоникидзе указала, что «в основу всего дальнейшего развития промышленности должно быть положено быстрое повышение производительности труда...». «Поднятие производительности труда—вот в чем для нас, в конце-концов, задача задач. Именно здесь на решении задачи поднятия производительности труда в социалистическом хозяйстве прежде всего дается практический ответ на вопрос об окончательной победе Октябрьской революции, на вопрос о торжестве дела коммунизма» (Молотов, Речь на торжественном заседании, посвященном 14 годовщине Октября, 6 ноября 1931 г.).

Январский Пленум ЦК ВКП(б) (1933 г.) также указал, что главный упор д. б. сделан на рост производительности Т. Производительность Т. растет у нас темпами, невиданными в капиталистич. странах. За 4 с четвертью года первой пятилетки выработка на 1 рабочего в неизменных ценах 1926/27 г. в СССР повысилась на 41%, а по тяжелой индустрии на 53,1%. Нужно еще учесть, что рост выработки у нас происходил при сокращении рабочего дня с 8 до 7 час. и в условиях громадного прилива новых, почти необученных кадров. С учетом изменения продолжительности рабочего времени часовая выработка за этот период выросла на 61,1%, а по сравнению с 1913 г. повысилась в 2,8 раза. Такой рост производительности Т. был возможен благодаря преимуществам социалистич. системы х-ва и внедрению механизации и электрификации в производство. Коэф. электрификации производственных процессов возрос с 40% в 1913 г. до 50,9% в 1928 г. и 71,2% в 1932 г. В США в обрабатывающей промышленности производительность Т. за 10 лет (1920—1930 гг.) увеличилась на 46,8%, в Гер-

мании (1913—1931 гг.)—на 27%, в Англии (1924—1931 гг.)—на 10,6%.

Численность работающих. В СССР динамика численности рабочего состава характеризуется неуклонным вовлечением новых рабочих кадров в процесс общественного производства, резким увеличением количества рабочих и служащих в нашем народном х-ве. Для капиталистич. стран всего мира характерным является значительное увеличение безработной армии и сокращение численности занятых в производстве рабочих и служащих. В 1933 г. в капиталистич. странах насчитывалось свыше 45 млн. полностью и частично безработных. В марте 1933 г. в Англии было 2 821 тыс. безработных среди застрахованных, в Германии—5 598 тыс. зарегистрированных безработных. В СССР численность рабочих и служащих в период с 1923/24 г. по 1932 г. почти утроилась. Численность рабочих и служащих составляла (в тыс.):

Годы	Все отрасли Т.	В том числе цензов. пром-сть
1913	—	2 885
1923/24	7 143	1 795
1924/25	8 506	2 109
1925/26	10 141	2 678
1926/27	10 911	2 839
1928	11 599	3 126
1929	12 394	3 353
1930	14 462	4 264
1931	18 108	5 414
1932	22 804	6 311

Как видно из приведенных данных, только за последние четыре года (1928—1932) численность рабочих и служащих почти удвоилась, причем в СССР окончательно уничтожена безработица.

Зарплата. В капиталистич. об-ве зарплата—это превращенная форма стоимости и цены рабочей силы — единственного товара, владельцем к-рого является рабочий (учение Маркса). Зарплата не представляет собою эквивалента созданной Т. стоимости, а лишь эквивалент стоимости средств существования, необходимых для производства и воспроизводства рабочей силы. Стоимость рабочей силы изменяется «... с изменением стоимости этих средств существования, т. е. с изменением величины рабочего времени, необходимого для их производства» (Маркс, Капитал, т. I). Добавочный Т. не оплачивается рабочему в его зарплате, он создает прибавочную стоимость, присваиваемую капиталистом, применяющим рабочую силу рабочего. В социалистич. секторе хозяйства СССР, где нет и не м. б. наемного Т., где рабочий класс является собственником средств производства и как член огромного коллектива, строящего социалистич. х-во, работает для себя, а не на другой класс, зарплата изменяется по своей форме и по своему социальному содержанию и представляет собою принципиально новое по сравнению с зарплатой в капиталистич. об-ве. При социалистич. системе х-ва не существует товара—рабочей силы, эксплоатации Т., деления рабочего времени на необходимое и прибавочное время, не существует прибавочной стоимости. Социалистич. система х-ва создала новые производственные отношения, новые формы связи между рабочим и пролетарским государством, при к-рых зарплата в социалистическом секторе не цена рабочей силы, а распределяемая доля общественного продукта труда, идущая на индивидуальное и коллективное потребление.

Регулирование зарплаты по многочисленным профессиям и специальностям в зависимости от их квалификации и роли в производстве устанавливается в СССР посредством тарифных сеток и квалификационных справочников. Различается квалификация работы и квалификация рабочего. Под квалификацией работы следует понимать совокупность признаков, технологически и функционально характеризующих данную работу. Квалификация рабочего—это комплекс признаков, определяющих степень подготовленности и приспособленности данного рабочего к исполнению работы определенной квалификации в количественном и качественном отношениях. При правильном использовании рабочего по квалификации квалификация рабочего и квалификация работы должны совпадать. При отсутствии такого совпадения оплата рабочего должна производиться по фактически выполняемой работе. Квалификация работы и рабочего определяется по квалификационному справочнику и тарифной сетке. Тарифная сетка регулирует лишь соотношения в оплате Т. различных квалификаций; эти соотношения определяются разрядами тарифной сетки и коэфициентами по этим разрядам, которые показывают, во сколько раз тарифная ставка на данной работе должна превышать тарифную ставку простейшего Т., принимаемого за единицу. Разряды и коэф-ты тарифной сетки не являются величиной постоянной. В период 1926—1931 гг. в пром-сти СССР существовала для рабочих тарифная сетка (по металлопромышленности 8-разрядная с соотношением 1 : 2,8), по к-рой коэф-ты были т. о. построены, что по мере нарастания квалификации сокращались разрывы в тарифной оплате, или, другими словами, при переходе от низшего разряда к высшему разрывы в оплате шли по линии потухающей кривой, создавая уравнительность в оплате Т., искусственное сближение зарплаты рабочих простого и квалифицированного Т. Примером крайне вредного влияния «уравниловки» на ход производства может служить Донбасс. В 1932 г., уже после пересмотра тарифной сетки, там сплошь и рядом сохранялась уравниловка, к-рая приводила к следующим уродливым явлениям: на крупнейшей шахте Донбасса «Ильич» в июле 1932 г. на пласте «Атаман» грузчик угля на конвейер при ставке 4 руб. 10 к. зарабатывал в среднем за выход по 6 руб., тогда как забойщики при ставке 5 руб. 75 коп. получали всего 4 руб. 20 коп. за выход. В Краснодонском рудоуправлении подростки выборщики породы при ставке 1 руб. 60 коп. фактически зарабатывали 6 руб. 08 коп. Благодаря неправильной технич. нормировке невозможно было ликвидировать уравниловку, являющуюся одним из основных факторов, способствующих развитию текучести рабочих. ЦК ВКП(б) решительно отверг принцип уравнительности оплаты и проводит такую политику зарплаты, к-рая обеспечивает максимальный рост квалификации и производительности труда рабочего, стимулирует дальнейший рост соцсоревнования и обеспечивает устойчивый состав кадров, особенно ведущих профессий, и дает возможность постоянно улучшать организацию труда. «Партия проводит принцип ударности не только в производстве, но и в потреблении. Развитие социалистических форм организации труда она сочетает с личной материальной за-

интересованностью рабочего» (Экономика труда, Коммунистич. академия, Москва, 1933, т. I, стр. 147). «...Предпочтение в ударности есть предпочтение в потреблении. Без этого ударность — мечтание, облачко...» (Ленин, Ленинский сборник, Собрание сочинений, т. XXI, стр. 70). Регулирование зарплаты на основе старой тарифной сетки являлось тормозом социалистического строительства, стирало грань между квалифицированным и неквалифицированным трудом, лишало рабочих материального стимула в деле повышения своей квалификации и перспективы продвижения вперед, вызывало ряд ненормальных явлений (текучесть, затруднения в привлечении раб. силы в ведущие профессии и пр.). Поэтому перед пром-стью был вплотную поставлен вопрос о перестройке зарплаты и тарифных сеток. «Чтобы уничтожить это зло, надо отменить уравниловку и разбить старую тарифную систему. Чтобы уничтожить это зло, надо организовать такую систему тарифов, к-рая бы учитывала разницу между трудом квалифицированным и трудом неквалифицированным, между трудом тяжелым и трудом легким» (Сталин, Речь на совещании хозяйственников в июне 1931 г.). Поэтому с конца 1931 г. на предприятиях вводится диференцированная по отдельным отраслям производства новая сетка (для металлопром-сти 8-разрядная тарифная сетка с коэф-тами 1 : 3,6), построенная на принципе нарастающих разрывов от низшего разряда к высшему. Процент нарастания оплаты труда по тарифным разрядам следующий:

Разряды	1	2	3	4	5	6	7	8
Коэф. старой сетки	1,0	1,2	1,15	1,70	1,95	2,20	2,5	2,8
Коэф. новой сетки	1,0	1,2	1,45	1,75	2	2,5	3,0	3,6

Т. о. по старой сетке нарастание оплаты Т. составляло 20—21% во 2—3-м разрядах и затем падало (8-й разряд) до 12,8%, а по новой сетке нарастало со 2-го разряда в каждом разряде равномерно до 20%. Разряды тарифной сетки не являются самоцелью, вытекают и основываются на характеристике и разбивке работ, к-рая дается квалификационным справочником. Эти справочники должны: а) отражать технологические и организационные особенности каждой данной отрасли, отображая вырисовывающиеся тенденции в связи с происходящими технико-организационными изменениями; б) выявлять содержание данной работы (функции и переходы), степени ее сложности, точности, ответственности; в) определять сумму необходимых знаний, умения и навыков рабочего и какие темпы работы должен иметь рабочий для правильного выполнения данной работы в количественном и качественном отношениях; г) содержать профиль рабочего каждой квалификации (для их подготовки); д) учитывать условия работы. Существовавшие до конца 1931 года квалификационные справочники не отвечали этим требованиям и поэтому не соответствовали потребностям производства. Они были целиком построены на статике организационно-технического состояния производства и не могли отражать свойственной социалистич. реконструкции динамичности; построенные на принципе ремесленничества и универсализма, они не были приспособлены для расчлененных операций, для процессов с большим разделением Т., они не содержали четкости и ясности в признаках, определяющих квалификацию работы, и в увязке между квалификацией работы и рабочего. С 1932 г. разработаны и введены по отраслям промышленности новые квалификационные справочники, которые должны устранить указанные недостатки старых справочников.

В капиталистич. странах системы зарплаты являются орудием эксплоатации рабочего класса и используются капиталистами как средство достижения наиболее высокой производительности Т. и повышенной капиталистич. прибыли за счет чрезмерного изнашивания организма рабочего. В СССР, в социалистич. об-ве, при новых производственных отношениях с изменением сущности зарплаты, системы зарплаты приобретают также иную сущность и иное значение. В капиталистич. странах основными системами зарплаты являются повременная плата, т. е. плата за определенное время работы, и сдельная, которая представляет собою превращенную форму повременной, еще больше маскирует капиталистич. эксплоатацию и дает возможность капиталисту максимально интенсифицировать Т. рабочего. Видоизменением этих двух систем являются многообразные системы, введенные на практике: а) система премирования за экономию времени при выполнении нормы ранее установленного срока, по к-рой премия выдается в определенном % от стоимости сэкономленного времени (Хэльси, Хэльси-Уэр, Вилленса), либо прямо пропорциональна сбереженному рабочему времени (Роуэн), либо определяется путем извлечения квадратного корня из произведения фактически затраченного времени на урочное и умножения на час расценок (Барт); б) диференциальная система, по к-рой устанавливаются различные расценки оплаты при выработке нормы и ее превышении или при выработке меньше нормы без какой бы то ни было гарантии ставки (Тэйлор) или с установлением такой гарантии (Гант); в) система, в которой рабочий при гарантированной поденной ставке получает с увеличением выработки сверх определенного % установленной нормы определенную премию, размер к-рой возрастает в геометрич. прогрессии по мере приближения к норме выработки и в арифметич. прогрессии после достижения этой полной нормы (Эмерсон, Биглоу, Венерлунд); г) система Форда, которая сочетает премиальную систему с системой участия в прибылях: премии распределяются пропорционально зарплате и сроку службы. Кроме того рабочий привлекается в акционеры и получает дивиденд: в результате капиталисты получают значительную выгоду от продажи акций, а рабочие имеют незначительный дополнительный доход. Все эти системы независимо от принципов их построения предназначены исключительно для увеличения капиталистической прибыли за счет усиленной эксплоатации рабочего и преждевременного изнашивания его организма. Ленин охарактеризовал систему Тэйлора следующими словами: «Система Тэйлора, как и всякий прогресс капитализма, соединяет в себе утонченное зверство буржуазной эксплоатации и ряд богатейших научных завоеваний» (Ленин, Собр. соч., т. XV). И эта блестящая оценка системы Тэйлора распространяется всецело и на позднейшие капиталистические системы зарплаты, стремящиеся к еще более высокой эксплоатации рабочего класса. Рост зарплаты в связи с ростом выработки по нек-рым системам зарплаты показан на фиг. 1, где прямая сдельная плата — *OBC*, система

Эмерсона — *DYBC*, система Хэльси — *DYBG*, система Роуэна—*DZBH*, повременная плата—*DM* и система Тэйлора — *OABC*. Действующие в СССР системы зарплаты м. б. в схематич. виде классифицированы сл. обр.: 1) системы, в к-рых оплата пропорциональна рабочему времени: а) повременная оплата, б) окладная система, главным образом для ИТР и служащих; 2) системы, в к-рых оплата пропорциональна производительности: прямая неограниченная индивидуальная сдельщина, аккордная, коллективная сдельщина (групповая, бригадная), прогрессивно-сдельная система; 3) повременно-премиальные системы, в которых премии выдаются за экономию времени, за улучшение качества работы рабочего, за определенные качественные показатели (сокращение простоев оборудования, экономию пара и пр.). Повременная оплата в ее чистом виде имеет в СССР незначительное распространение, так как она не создает заинтересованности рабочего и не стимулирует роста его производительности, не создает стимулов к организации рабочего места и к улучшению методов работы, способствует уравнению индивидуальной выработки, требует повышенного контроля, скрывает организационно-технич. неполадки на производстве, не способствует повышению квалификации рабочего, затрудняет правильную планировку работ.

Фиг. 1.

Основной системой зарплаты в СССР является сдельная, которая основана на прямой зависимости размеров оплаты от количества и качества выработки отдельного рабочего (индивидуальная сдельщина) или же группы рабочих (групповая, бригадная, коллективная сдельщина, причем внутри коллектива распределение заработка ставится в зависимость от количества и качества работы работающего). Сдельная система создает непосредственную заинтересованность в своей производительности, побуждает рабочего рационализировать работу, отражает индивидуальную успешность каждого рабочего, поощряет инициативу и квалификацию рабочего. Графическое изображение повременной и сдельной систем см. фиг. 2: *AA*—зарплата по повременной системе, *BB*—то же по сдельной, A_1A_1—доля зарплаты при повременной, B_1B_1—то же при сдельной. Основой исчисления сдельной зарплаты является сдельный расценок. Сдельный расценок—мера потребления—есть производная от меры Т., меры производства—нормы времени; элементами сдельного расценка являются тарифная ставка (т. е. единица оплаты простейшего Т. за единицу затраченного рабочего времени), выраженный в процентах к тарифной ставке расчетный приработок (до введения тарифной реформы), коэфициент квалификации работы (присвоенный по тарифной сетке данному разряду работы) и необходимая и достаточная норма времени для изготовления единицы изделия. Формула сдельного расценка будет

$$P = T \cdot K \cdot \left(1 + \frac{П}{100}\right) \cdot H,$$

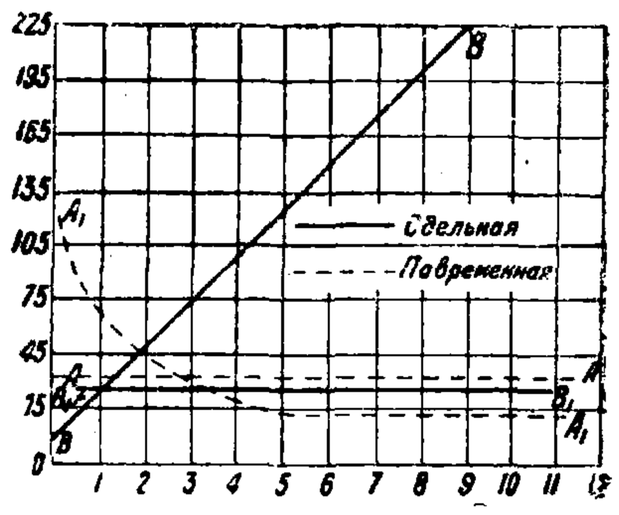
если норма во времени, или

$$P = \frac{T \cdot K \left(1 + \frac{П}{100}\right)}{H},$$

если норма выражена в штуках, где T—тарифная ставка I разряда, K—коэф. разряда работы, $П$—расчетный приработок и H—норма. Сдельный расценок получается путем деления тарифной ставки и расчетного приработка (или расчетного заработка) на норму выработки, и фактический заработок сдельщика равняется сдельному расценку за единицу изделия, умноженному на фактич. производительность (на количество произведенных изделий).

Тарифная реформа проводится для того, чтобы «отменить уравниловку и разбить старую тарифную систему» (Сталин), и сводится: а) к проведению новых тарифных сеток и справочников, а также ликвидации уравнительности в оплате, б) к полному упразднению расчетных приработков как для повременщиков, так и для сдельщиков путем включения существовавших расчетных приработков в тарифную ставку (сдельщики) или путем применения стимулирующих форм оплаты труда (повременщики) и в) к установлению для одного предприятия ограниченного числа тарифных ставок (две) и отдельно как для повременщиков, так и для сдельщиков.

Применяемая до настоящего времени чисто повременная оплата должна быть заменена оплатой, максимально увязанной с результатами труда. Этот перевод производится путем максимального охвата технормированием еще не нормированных работ и перевода не поддающихся технормированию работ на повременно-премиальную систему оплаты. При построении премиальных систем необходимо учесть ряд моментов: обязанности и технические условия д. б. точно установлены; д. б. определены ясные и ограниченные факторы премирования (не более 2—3) с максимально точной зависимостью между достижением по премиальным факторам и размером премии; введение системы премирования должно сопровождаться постановкой необходимого учета по отдельным факторам премирования; зависимость между достижением и поощрением должна быть построена на основе определенного, экономически обоснованного расчета; шкалы премирования д. б. так построены, чтобы стимулировать рост производительности Т.; размер премии д. б. рассчитан на основе учета экономической эффективности системы (на премию отдается лишь часть ожидаемой экономии), достаточно стимулирующего значения ее, и увязки ожидаемого уровня зарплаты премируемых с заработком основных категорий рабочих; премируемым периодом должен быть как правило календарный месяц;



Фиг. 2.

премирование должно быть увязано с труддисциплиной премируемых рабочих в виде уменьшения премии на определенный процент для нарушающих труддисциплину до полного лишения премии.

Повременно-премиальные системы применяются преимущественно на вспомогательных работах, но они могут распространяться и на отдельные группы производственных рабочих. В качестве иллюстрации может быть приведена следующая классификация повременных работ для перевода на повременно-премиальную систему оплаты Т. (табл. 1).

Табл. 1.—Классификация повременных работ.

Наименование групп	Профессии и работы	Факторы премирования
Организ.-установочные работы	Установщики	1) Продолжительность непрерыв. производит. работы оборудования 2) Использование оборудования
Ремонтные работы и обслуживание механизмов	Дежурн. слесари, шорники, рабочие по текущему ремонту, электромонтеры	1) Уменьшение % простоя оборуд. из-за ремонта против установленной нормы 2) Сокращение штата 3) Сокр. расход. инструмента и материала против нормы
Работы по обслуживанию тепло-энергетич. х-ва	Рабочие на паросиловых установках Рабочие на электросиловых установках	1) Экономия пара, энергии, топлива и пр. 2) Качество регулирования подачи
Организ.-контрольные работы, премирование за улучшение качества	Браковщики. Отдельные профессии рабочих	1) Снижение % брака против нормы 2) Непропуск брака
Складские работы	Кладовщики, рабочие при кладовых	1) Пропускная способность кладовых 2) Сохранность изделий в кладовых
Вспомогательные работы	Подсобные рабочие и чернорабочие	1) Сокращение штата 2) Размер выпуска изделий
Транспортные работы	Транспортные рабочие	1) Уменьшение простоев против нормы 2) Сокращение штата 3) Экономия материалов и инструмента
Обслуживающий персонал	Сторожевой персонал Уборщики	1) Соблюдение труддисциплины и правил внутр. распорядка 2) Качество выполняемой работы и выполн. обязанностей

Сущность прогрессивно-сдельной системы оплаты сводится к поощрению возрастающей производительности труда повышенной оплатой единицы изделия. Прогрессивно-премиальная система ведет к устранению потерь раб. силы, рациональному ее использованию; она улучшает, совершенствует трудовой процесс, создает бо́льшую заинтересованность рабочего в максимальной выработке при тщательной экономии труда. На практике однако введение прогрессивно-премиальной оплаты сопровождалось рядом извращений (нарастание расценок внутри нормы) и приводило к весьма болезненным явлениям в производстве (перерасходы фондов зарплаты, разрывы в зарплате и производительности Т.), а иногда и к возрождению уравниловки в новых формах и видах.

В капиталистич. об-ве всеобщий закон капиталистич. накопления обусловливает тенденцию зарплаты к понижению. «Общая тенденция капиталистического производства ведет не к повышению, а к понижению среднего уровня зарплаты или к сведению стоимости труда более или менее к ее минимальному пределу» (Маркс, Зарплата, цена и прибыль, Избранные произведения, т. I, стр. 257, М., 1933). Для капитализма характерным является рост резервной армии, абсолютное и относительное обнищание рабочего класса, падение не только реальной, но и номинальной зарплаты, уменьшение доли зарплаты в национальном доходе. Иная тенденция развития зарплаты в СССР. Плановая система социалистич. строительства обеспечивает не только привлечение новых огромных масс населения к производственному Т. и повышению производственной квалификации, но одновременно приводит к систематич. из года в год повышению уровня материального и культурно-бытового положения трудящихся. При этом в СССР это повышение определяется как ростом индивидуальной зарплаты соответственно количеству и качеству Т., так и систематич. увеличением добавочных форм распределения (ФУБР, соцстрах, фонды подготовки кадров, жилстроительство, общественное питание и другие обобществленные формы зарплаты). Динамика индивидуальной месячной зарплаты рабочих социалистич. пром-сти за период с 1924 по 1932 г. характеризуется следующими данными (в руб.):

1924	1925	1926	1927	1928	1929	1930	1931	1932
39,5	47,8	57,0	64,6	70,2	77,7	83,3	95,2	116,6

т. е. за период 1924—1931 гг. зарплата выросла почти в три раза. По отдельным отраслям промышленности изменение средней месячной зарплаты рабочих социалистич. пром-сти характеризуется тем, что средняя зарплата выросла за период 1927/28—1932 гг. по каменноугольной пром-сти на 24%, по металлургии на 35,2%, по машиностроению на 69,3% и по хл.-бум. промышленности на 23%. Фонды обобществленной зарплаты в тот же период повысились еще сильнее. Так напр., за 1927—32 гг. фонд обобществленной зарплаты увеличился (без учета ФУБРа и культрасходов по транспорту) с 3 371,6 млн. р. в 1927/28 г. до 13 400 млн. р. в 1932 г., или на 272%; % фонда обобществленной зарплаты к фонду индивидуальной зарплаты поднялся зато с 38,6 в 1927 г. до 45 в 1931 г. Наряду с ростом средней зарплаты имеет место перегруппировка рабочих по размерам получаемой зарплаты: систематически из года в год уменьшается уд. в. всех категорий рабочих с низким уровнем зарплаты при одновременном повышении уд. в. категорий с более высокой оплатой Т. Это видно из следующих цифр месячного заработка:

Рубли	Отношение в % 1924 г.	1930 г.
До 40	63,8	8,0
40,01—60	22,8	20,9
60,01—80	8,7	23,4
80,01—100	3,2	18,2
100,01—150	1,4	21,9
Свыше 150	0,1	7,6
	100	100

Рабочее время. В капиталистич. об-ве удлинение рабочего дня является излюбленным средством увеличения прибавочного времени, т. к. оно не требует никаких добавочных затрат. При капитализме рабочее время и время рабочего—две антагонистич. части одного и того же целого; в капиталистич. странах происходит экстенсивное и интенсивное удлинение рабочего дня, приводящее к усилению эксплоатации, чрезмерной интенсификации, сокращению продолжительности работы и жизни рабочего. В социалистич. условиях рабочее время и время рабочего перестают быть антагонистическими, т. к. обе части принадлежат рабочему, Т. к-рого является Т. на себя. У нас в результате сокращения рабочего времени произошло увеличение свободного времени у рабочих, что обеспечило дальнейшее повышение их культуры и технич. грамотности.

Рабочий год в СССР и его использование. Анализ использования рабочего года показывает, что в настоящее время в промышленности имеются еще потери по отдельным статьям (прогулы, простои) и что коэфициент использования рабочего года еще недостаточен. Под коэфициентом использования рабочего года подразумевается отношение между фактически отработанным и календарным рабочим временем. В капиталистических странах значительная часть рабочих занята еще свыше 8 часов в день, и происходит постоянное наступление капитала в сторону удлинения рабочего дня. В СССР происходит беспрерывное сокращение длительности рабочего дня. По всей пром-сти длина рабочего дня в 1904 г. составляла 10,7 ч., в 1913 г.—9,87 ч., в 1918—7,69 ч. и в 1931 г.—7,02 ч. По отдельным отраслям длина рабочего дня доведена: в каменноугольной пром-сти с 10,06 ч. в 1913 г. до 7 ч. в 1931 г.; в металлургической с 10,7 до 7,10 ч.; в машиностроительной с 9,73 до 6,25 ч.; в текстильной с 10,11 до 7,2 ч. и т. д. Сокращение продолжительности рабочего дня происходит, с одной стороны, за счет введения сокращенного рабочего дня (сначала 8, а затем 7 ч. в день) и, с другой стороны, за счет сокращения сверхурочных работ. Сокращение рабочего дня не вызвало снижения выработки на одного рабочего, так как одновременно с сокращением часов работы были проведены технич. и организационные мероприятия, давшие повышение производительности. «Повышение технической вооруженности труда, трудовой подъем народных масс, упрочение воодушевленной и сознательной социалистической дисциплины, лучшая организация управления хозяйством, решительная борьба с бюрократизмом, широчайшее развертывание самокритики, широчайшее развитие социалистического соревнования фабрик, заводов, отдельных ж. д., мастерских, совхозов, колхозов, отдельных сел и целых районов в выполнении великих задач социалистич. строительства — все это, вместе взятое, должно обеспечить такой подъем производительности труда в Стране Советов, который недоступен капиталистическому миру». Выполнение этих заданий V Съезда Советов и дало возможность сократить рабочий день до 7 час. без сокращения выработки на одного рабочего. В СССР сокращение длительности рабочего дня органически связано с качественным улучшением его использования, с устранением всех потерь рабочего времени. Для изучения потерь рабочего времени и для проектировки нормального режима рабочего дня обычно пользуются фотографией рабочего дня. Анализ рабочего времени исполнителя по фотографии рабочего дня позволяет вскрыть существующие ненормальности в использовании рабочего времени рабочего, выявить основные причины, указать пути их устранения и реорганизовать рабочий процесс. Для правильного использования рабочего времени необходимо удлинить время основной работы за счет других категорий, максимально сократить бесполезную и случайную работу, а также время вспомогательной и подготовительно-заключительной работы и довести до неизбежных и нормальных размеров время перерывов. Степень использования рабочего и его рабочего времени характеризуется тремя показателями, определяемыми из баланса рабочего времени. Этими показателями являются:

1) Коэф. полезной работы, т. е. выраженное в % отношение времени фактич. полезной работы исполнителя в течение рабочего дня к номинальной его продолжительности:

$$\frac{A+З+B+O-ПЗ_{ф}З_{н}-П}{H},$$

где A—подготовительное время, $З$—подготовительно-заключительное, B—вспомогательное, O—основное, $ПЗ_{ф}$—подготовительно-заключительное фактическое и $ПЗ_{н}$—то же нормированное время, H—нормальная продолжительность рабочего дня.

2) Коэф. загруженности исполнителя, к-рый представляет собою выраженное в % отношение фактич. загруженности исполнителя в течение рабочего дня к номинальной его продолжительности:

$$\frac{A_1+A_2+A_3+П_1+П_2}{H},$$

где A_1— полезная работа, A_2 — бесполезная, A_3 — случайная, $П_1$ — перерывы, независимые от рабочего, и $П_2$—перерывы организационного и технич. порядка, H—нормальная продолжительность рабочего дня.

3) Коэфициент использования исполнителя или выраженное в процентах отношение суммы полезной работы и регламентированных перерывов к общей продолжительности рабочего дня

$$\frac{A_1+П_{рег.}-(C_{ф}-C_{н})}{H},$$

где A_1—полезная работа, $П_{рег.}$—перерывы регулярные, $C_{ф}$—прибавочное время фактическое и $C_{н}$—то же нормированное, H—нормальная продолжительность рабочего дня. В социалистической системе задача максимального использования оборудования (основного капитала) достигается путем увеличения рабочего времени оборудования при одновременном сокращении рабочего времени рабочего. Практические пути — это введение многосменности и непрерывной рабочей недели. Многосменное непрерывное производство имеет ряд преимуществ. С переходом на многосменную работу: 1) увеличивается использование основных капиталов пром-сти; 2) в случае недостатка сырья или рабочей силы производство концентрируется на лучших предприятиях либо на лучшем оборудовании; 3) расширяется объем производства при неизменности или незначительном росте накладных расходов, с чем связано снижение себестоимости, ослабляется товарный голод и укрепляется смычка города с деревней; 4) сокращается производственный

щикл и тем самым ускоряется оборачиваемость капитала; 5) создается возможность перераспределения капитальных вложений в сторону расширения узких мест народного х-ва; 6) коренным образом изменяется культурно-бытовое обслуживание трудящихся. Развертывание советской пром-сти сопровождается систематич. расширением вторых и третьих смен, однако проблема сменности сохраняет еще свою актуальность и остроту. Коэф. сменности выводится путем деления всего количества рабочих или всего количества отработанных часов на количество рабочих (или часов) смены с наибольшим числом рабочих. Коэф. сменности не определяет количество смен, а является показателем равномерности загрузки смен и характеризует степень использования рабочих мест и оборудования. Несмотря на постоянное возрастание коэф-та сменности нигде еще этот коэфициент не достиг возможного максимума. В среднем по пром-сти коэф. сменности составлял в 1926/27 г. 1,45 и в 1931 г.—1,60, в том числе соответственно в машиностроении 1,14 и 1,41, в металлургии—1,70 и 1,92 и т. д. В области практич. осуществления непрерывной рабочей недели в промышленности уже ясно очертились два периода. Первый этап, с 1929 г. до середины 1931 г., характеризуется массовым переводом промышленных предприятий на непрерывную рабочую неделю без достаточного учета особенностей каждого производства, без достаточной организационной базы и подготовки и без необходимого экономич. расчета, в результате чего на большинстве предприятий непрерывка превратилась «в бумажную нереальную непрерывку» (Сталин, Речь на совещании хозяйственников в июне 1931 года), в непрерывку с обезличкой, когда фактически отсутствует ответственность за станок, за инструмент, за качество работы, за руководство. Второй этап, после выступления т. Сталина на совещании хозяйственников в середине 1931 г., характеризуется временным частичным переходом на шестидневную прерывку и пересмотром организационных форм самой непрерывки. Чтобы ликвидировать существовавшие ненормальности, необходимо было «отбросить прочь бумажную непрерывку, перейти временно на шестидневку—прерывку... и подготовить условия к тому, чтобы вернуться потом к действительной не бумажной непрерывке, вернуться к непрерывке без обезлички» (Сталин, там же). В этот второй период непрерывка перестала быть основным режимом работы на предприятиях; односменные и двухсменные производства были в большинстве случаев переведены на шестидневную прерывку, а при 3-сменной работе как правило был введен 4-бригадный график, к-рый обеспечивает для 3-сменных производств наиболее нормальные условия работы без обезлички. В настоящее время применение этого 4-бригадного графика является обязательным для трехсменных работ при 7-час. рабочем дне. К каждому рабочему месту прикрепляются четверо рабочих или 4 бригады, из которых каждый регулярно переходит после 4 дней работы в первой смене во вторую, из второй в третью и из третьей в первую. Т. о. скольжение рабочих полностью устраняется. При ломке смены, т. е. после каждых четырех дней работы, рабочий получает 48-час. отдых. Период оборота смен составляет 16 суток. Производится суммированный учет рабочего времени. Длительность смены составляет 7,5 час., и при 22,5 выхода число часов работы в месяц составляет 168,75 час., или всего на 0,75 часа выше нормы при 7-час. рабочем дне. Не изменяя месячного баланса времени работы рабочего, продолжительность работы оборудования доводится до 22,5 часа в сутки (вместо 21 часа).

Табл. 2.—Распределение рабочих смен.

Смены	Часы	Дни по порядку															
		1	2	3	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
		Рабочие дни															
I	0—8	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4
II	8—16	3	4	4	4	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3
III	16—24	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	1	1	1	1	2	2
Выходной день		4	3	2	2	1	4	3	3	2	1	4	4	3	2	1	1

Применение этого графика ликвидирует обезличку, повышает время использования оборудования, повышает ответственность за оборудование, укрепляет технич. руководство и облегчает переход бригады на хозрасчет.

Основные формы социалистической организации Т. Основные методы социалистической организации Т.—соцсоревнование и ударничество, являющиеся проявлениями творческой самодеятельности пролетариата. Первой организацией такой самодеятельности явились коммунистич. субботники, впервые организованные рабочими Московско-Казанской ж. д. 24 марта 1919 г., накануне церковного праздника благовещения. В дополнение к субботникам в восстановительный период пром-сти пришли новые методы самодеятельности широких рабочих масс—производственные совещания и организация использования рабочего изобретательства. Производственные совещания возникли в конце 1923 г. Производственным совещаниям партия всегда придавала большое значение как форме втягивания широких рабочих масс в дело социалистич. строительства и управления народным хозяйством. Вместе с тем производственные совещания являются и школой классового воспитания, и способом обучения и выдвижения новых кадров хозяйственников и администраторов, и формой пролетарской самокритики. Производственные совещания являются организующими центрами рабочего изобретательства, появившегося как форма массового творчества. В настоящее время производственные совещания являются основной опорой социалистического соревнования и ударничества. Производственные совещания организуют сами и помогают организовать хозорганам проведение в жизнь шести условий т. Сталина, к-рые определяют всю дальнейшую организацию Т. в СССР и путь дальнейшей борьбы за победу социализма. В основном эти условия сводятся к следующему: 1) организованно набирать рабочую силу, 2) ликвидировать текучесть рабочей силы, уничтожив уравниловку и правильно организовав зарплату, улучшив бытовые условия рабочих, 3) ликвидировать обезличку, 4) внедрить и укрепить хозрасчет, 5 и 6) привлекая всячески к работе старые инженерно-технич. силы, вместе с тем создать рабочему классу свои инженерно-технические силы, которые должны полностью овладеть техникой, чтобы догнать и перегнать передовые капиталистич. страны как по коли-

честву вырабатываемой продукции, так и в освоении передовой техники. Осуществление этих историч. условий вызвало подъем энтузиазма рабочих масс и чрезвычайное развитие соцсоревнования и ударничества. Соцсоревнование и ударничество, осуществляющиеся в виде общественного буксира, хозрасчетных бригад, сквозных бригад,—это новые формы социалистич. организации Т., перевоспитывающие сознание рабочего в направлении социалистич. отношения к Т. и ставшие основными формами организации Т.,«...рычагом, при помощи к-рого рабочий класс призван перевернуть всю хозяйственную и культурную жизнь страны на базе социализма...» (Сталин, предисловие к книге Микулиной о соцсоревновании), они превратились «...в стиль и метод большевистской борьбы...» (Постышев). Впервые идея о необходимости организации соревнования была выдвинута Лениным в начале 1918 г. IX Съезд партии установил, что «...могущественной силой подъема производительности труда является соревнование...». Широкое развитие соцсоревнование получило лишь с 1929 г. Первая заговорила об организации соревнования «Комсомольская Правда» в номере от 27/I 1929 г. ЦК Комсомола постановил одобрить предложение «Комсомольской Правды» об организации всесоюзного соревнования комсомола и рабочей молодежи по снижению себестоимости и улучшению качества продукции. В ответ на это постановление на разных предприятиях («Красный Богатырь», «Красный Путиловец», шахты Донбасса и др.) возникают различные кружки и между отдельными рабочими объявляются соревнования. В Ленинграде и Донбассе появляются первые ударные бригады из рабочей молодежи.

Особенно большой толчок развитию соцсоревнования дало обращение рабочих «Красного Выборжца» к рабочим цветной металлургии и ко всем рабочим СССР о снижении себестоимости продукции и об установлении общественных перекличек. Откликнувшиеся на этот вызов рабочие Каменской бумажной фабрики в результате соревнования достигли значительных производственных успехов. Этот опыт вызвал большой подъем соревнования ряда крупнейших предприятий: АМО, Трехгорная и Ярцевские мануфактуры, Тверские мануфактурные фабрики, Коломенский машиностроительный завод и др. вошли в круг соревнующихся. Соревноваться друг с другом стали не только отдельные заводы, но и цехи, группы рабочих, бригады, отдельные рабочие. В соцсоревнование стал втягиваться и инженерно-технич. персонал. Соцсоревнование охватывает не только пром-сть, но и все другие отрасли народного хозяйства и управления. В апреле 1929 г. XVI Всесоюзная партийная конференция выпускает специальное обращение ко всем трудящимся СССР об организации соревнования. 9/IV 1929 г. ЦК ВКП(б) публикует свое постановление о конкретных задачах соцсоревнования и дает директивы дальнейшего его развития. Одновременно с соцсоревнованием как органич. его часть создается и развивается ударничество. К XVI Партийному съезду (июнь 1930 г.) не остается в СССР такой области работы, к-рая не строилась бы на принципе соцсоревнования и ударничества. На этом Съезде т. Сталин говорил: «Только слепые не видят, что в психологии масс и в их отношении к труду произошел громадный перелом, в корне изменивший облик наших з-дов и ф-к. Теперь дело соревнования и ударничества является делом завоеванным и закрепленным...»(Сталин, Вопросы ленинизма, 1931 г., стр. 661).

Основными формами осуществления соцсоревнования и ударничества являются ударные бригады, организующие соревнующихся рабочих не только в их соревновании с другими бригадами, но и между собой внутри бригады. Дальнейшим развитием ударных бригад явилось создание сквозных бригад. Первая сквозная бригада возникла на Ростовском Сельмаше в марте 1930 г. Сквозные бригады объединяют работу отдельных производственно связанных между собою бригад. Благодаря сквозным бригадам весь производственный коллектив данного завода или предприятия сплачивается в единое целое, устанавливается взаимоконтроль за выполнением производственного плана, устраняются перебои в работе между отдельными бригадами, отделами и цехами. «Сквозная способствует уничтожению остатков цеховщины, объединяет и консолидирует силы ударников вокруг задач выполнения промфинплана и последовательно, изо дня в день, проводит в жизнь „принцип социалистического соревнования„ товарищескую помощь отстающим со стороны передовых с тем, чтобы добиться общего подъема“» (Сталин) (Экономика труда, Коммунистич. академия, т. I, 1933 г.). Такая помощь отстающим проводится в жизнь «общественным буксиром», при к-ром передовые бригады, передавая свой организационный и производственно-технический опыт отстающим, способствуют выполнению общей задачи. Именно такая передача уменья и опыта способствовала зарождению и развитию еще одной формы соцсоревнования—встречному планированию. Встречный план идет от станка. Рабочие, получив от заводоуправления задания, вытекающие из промфинплана, прорабатывают их в цехах и выдвигают на основании детального знания своего производства встречные задания, за выполнение которых и идет затем борьба. Высшей формой социалистич. соревнования на данном этапе являются хозрасчетные бригады, к-рые и являются одной из важнейших форм борьбы за осуществление шести условий т. Сталина. В хозрасчетной бригаде соединяется социалистическое соревнование с хозрасчетом, сочетается социалистич. сознательность с материальной заинтересованностью. Действуя методами, доходящими до сознания самых отсталых рабочих, хозрасчетные бригады являются лучшей школой социалистич. отношения к Т. для миллионов новых рабочих, к-рые вливаются в производство. Организация хозрасчетных бригад должна зависеть от особенностей технологического процесса предприятия. Совещание хозрасчетных бригад, происходившее в марте 1932 г., приняло следующее постановление: «Построение бригады должно строго соответствовать и способствовать наиболее рациональной организации технологического процесса производства. На хозрасчет может переходить производственная бригада, имеющая элементы хозрасчета, зависящие от бригады расходы, сырье и т. д.». Взаимоотношения хозрасчетных бригад с администрацией цеха строятся на договорных началах.

Т е х н о р м и р о в а н и е. В условиях СССР технормирование имеет задачей проектирование рационального производственного и трудового режима и наиболее высоких форм социа-

листич. организации Т. на основе развернутого соцсоревнования и ударничества, при которых обеспечивается наиболее производительное использование всех факторов производства и достижение более высокого уровня производительности труда. В технико-нормировочную работу входит: а) проектирование для каждой составной части (операции) и производственного процесса в целом наивыгоднейшего режима работы орудий производства; б) проектирование рациональной организации Т., содержания и последовательности трудовых функций и трудового режима; в) установление длительности отдельных элементов операции и процесса в целом; г) выбор для каждой составной части производственного процесса наиболее стимулирующей системы оплаты Т. и установление сдельного расценка и д) реализация запроектированного рационального процесса Т., т. е. внедрение запроектированного производственного и трудового режима и устанавливаемых норм путем инструктажа. Инструктаж заключается в том, чтобы дать указание рабочему, как лучше организовать свое рабочее место, как надо работать, чтобы овладеть более высокой культурой труда и обеспечить выполнение и перевыполнение заданных норм. Внедрение технических норм путем оперативного производственного инструктажа возлагается на низовой административно-технич. персонал. Для проведения инструктажа д. б. введена инструкционная карта (гл. обр. на серийных работах) или карта организации Т. (гл. обр. на массовых работах). Эти карты, разработанные техно-нормировочным аппаратом и подписанные соответствующим мастером, должны быть обязательными для помощников мастеров, бригадиров, наладчиков и установщиков при проведении инструктажа.

Лит.: Маркс К., Капитал, 8 изд., т. 1, М., 1931; его же, Наемный труд и капитал, М.—Л., 1931; его же, Заработная плата, в книге Маркс К. и Энгельс Ф., Соч., т. 5, М.—Л., 1932, Ленин В., Сочинения, 3 изд., т. 22—27, М.—Л., 1929—32; Сталин И., Вопросы ленинизма, 9 изд., М., 1932; его же, Новая обстановка—новые задачи хозяйственного строительства, М., 1931; Кривицкий М., Теория зарплаты герм. с.-д., М., 1929; Линде Г., Соц.-дем. теория и политика зарплаты, М.—Л., 1931; Маркус Б., Введение в экономику труда, вып. 1, М., 1932; его же, Борьба на два фронта в области экономики труда, М.—Л., 1932; Экономика труда, учебник для Вузов, под ред. М. Кривицкого, М.—Л., 1932; Народное хозяйство СССР, статистич. справочник, М.—Л., 1932; Шверник Н., Профсоюзы в борьбе за организацию труда и зарплаты [Речь на XVII конфер. ВКП(б)], М., 1932; Калистратов Ю., Заработная плата в СССР и в капиталистических странах, М., 1931; Аркадьев Г., Марксизм-ленинизм в борьбе с мелкобуржуазной уравниловкой, М., 1932; Ларина Е., Заработная плата и оппозиция, М.—Л., 1927; Немашов А., Пути и методы перестройки зарплаты, М.—Л., 1932; Гурвич С. и Позняков В., Заработная плата, М.—Л., 1929; Гефтер А., Новейшие системы зарплаты, Казань, 1927; Цыбульский В., IX Съезд профсоюзов и вопросы зарплаты, М., 1932; его же, Политика зарплаты в СССР за 15 лет пролетарской диктатуры, М., 1932; Краваль И., Труд в СССР и в капиталистических странах, «Ин-т массового заочного партактива», М., 1932, вып. 7; Вольфсон, Премиальные системы для рабочих в промышленности, М.—Л., 1933; Лифшиц О., Графики сменности, М.—Л., 1932; Евдокимов А., Прогрессивно-премиальная сдельщина, М.—Л., 1932; Образцов Г., Основы технического нормирования, М.—Л., 1932; Техническое нормирование и борьба за выполнение промфинплана, М., 1933; Богданов И., Техническое нормирование на новых путях, М.—Л., 1933; Виноградский И., Как устанавливаются нормы выработки, М.—Л., 1933; Готман С., Основы планирования и учета труда, Л., 1931; Пунский М., Изучение рабочего времени наблюдением, Л.—М., 1931; «Труды совета по техническому нормированию», М., 1930, вып. 1; Кривицкий М., Заработная плата, БСЭ, т. 26; Экономика труда, Коммунистич. академия, т. 1, Москва, 1933.

А. Рабинович.

ТРЯПИЧНАЯ ПОЛУМАССА, полупродукт, вырабатываемый на писчебумажных ф-ках из тряпья. Т. п. входит в состав бумажной массы, из к-рой вырабатывают высокие сорта бумаги (низкие сорта тряпья применяют при выработке толевого картона). Для выработки бумаги служат волокнистые и тонковолокнистые материалы. Тряпье в виде поношенной одежды, обрывков ткани, концов пряжи, веревок, ваты, оческов м. б. из хлопка, льна, пеньки, рами, джута, манильской пеньки и, реже, шерсти. От сборщиков тряпье поступает на ф-ки в загрязненном виде и недостаточно рассортированным; оно принимается с веса и хранится в сухих и часто проветриваемых магазинах во избежание самовозгорания, особенно замасленного тряпья. Тряпье, рассортированное уже по волокну, тонине и степени загрязненности, очищают от пыли и грязи путем выколачивания на машинах типа волчка (пылеотбивателъ). Основной рабочей частью пылеотбивателя является вращающийся от привода конич. барабан, на к-ром по ширине укреплены четыре ряда слегка наклонных железных зубьев; при вращении барабана зубья его проходят между такими же зубьями, заклиненными в деревянные брусья, расположенные в машине параллельно образующей барабана с верхней и нижней сторон. При большой загрязненности тряпья его предварительно подвергают дезинфекции, обычно перегретым паром, для избежания возможности заражения от тряпья. Обеспыленное тряпье сортируют, причем в основу кладут сортировку по волокну, тонине (толстое, среднее, тонкое) и цвету (белое, грязное, синее, красное и цветное). Количество сортов, на которое сортируется тряпье, на разных ф-ках различно; оно зависит от сортов и методов выработки бумаги и доходит до 30 и более сортов. Сортируют на столах, верхняя доска у к-рых заменена металлич. сеткой; для удаления пыли из-под стола устраивают вытяжные трубы с вентилятором. Рассортированное по сортам сырье идет для измельчения на резальные машины. Один из видов резальных машин—тряпкорубка—состоит из вращающегося на раме цилиндрического барабана, на котором укреплены стальные ножи под нек-рым уклоном к образующей; во время работы эти ножи проходят близ неподвижно укрепленных стальных ножей; к барабану тряпье подается бесконечным полотном и парой валиков, вращающихся в разном направлении один под другим. После измельчения тряпье вторично подвергается обеспыливанию и затем варке (бучению) в щелочных растворах (сода, едкий натр, известь); из полушерстяного и полушелкового тряпья предварительно удаляют растворимые в едкой щелочи волокна: шерсть и шелк, к-рые добавляют в полумассу после бучения хл.-бум. тряпья. Иногда тряпкорубки бывают соединены в один агрегат с трепалками. Варку проводят в закрытых котлах под давлением до 3 *atm*; количество каустич. соды и извести 3—4½% от веса тряпья. Продолжительность варки 5—10 час.; для парусины, мешков и брака—24 ч. Котлы бывают или шарообразные, вращающиеся вокруг горизонтальной оси (2—3 об/м.), или цилиндрические — горизонтальные неподвижные. Иногда требуется повторная варка для лучшего размягчения волокон. После варки щелочь удаляется промывкой тряпья на промывных машинах, а затем оно подвергается дальнейшему

размягчению и расщипыванию на ролах (голландерах). Рол—овальной формы открытый сосуд, разделенный продольной, не доходящей до стенок перегородкой; иногда перегородка расположена по середине, иногда, напр. в голландере сист. Фойта,—ближе к одной стороне, причем в большей части находится барабан с ножами, расположенный поперек барки. Измельченное тряпье поступает в голландер по одну сторону перегородки, проходит под барабаном, где подвергается дальнейшему размельчению, переходит по другую сторону перегородки и попадает в промывной барабан, откуда выходит в виде полумассы. Барабан снабжен насаженными на него бронзовыми ножами. Из промывного барабана вода удаляется сифоном. Полумасса с голландеров спускается в бассейн (деревянные с медной сеткой внизу или цементные с мелкими дырочками в дне), откуда она пропускается через центрифугу. Беление Т. п. производят белильной известью в особых белильных голландерах, и оно происходит благодаря выделению кислорода вследствие распадения белильной извести в присутствии окисляющих веществ согласно ур-ию: $CaOCl_2 = CaCl_2 + O$. Расход белильной извести колеблется от 2 до 30% по весу тряпок. При отбелке Т. п. применяют также электролитическое беление (см. *Беление*). Независимо от способа беления для правильного проведения его тряпье должно быть проварено и полумасса хорошо промыта. Выход полумассы из тряпья различен: ситец дает выход 52%, тряпье грубое 59%, полотно грубое 64%. См. также *Бумажное производство*.

Лит.: Кузнецов М., Производство бумаги и исследование ее, 2 изд., Харьков, 1922; Мельников Н., Практический курс бумажного производства, СПБ, 1905; Товароведение, под ред. проф. Никитинского Я. и Петрова П., т. 3—Волокнистые вещества, Москва—Ленинград, 1924.

Н. Арманд.

ТРЯПЬЕ, лоскут, находящее применение в текстильной пром-сти, представляет собой: 1) остатки изношенной шерстяной или полушерстяной одежды, 2) отходы швейной пром-сти, т. е. в подавляющем большинстве случаев новые шерстяные и полушерстяные обрезки, 3) различные упаковочные материалы, сработанные из чистой шерсти или из шерсти с примесью других волокон, 4) остатки технич. сукон, 5) маслобойные салфетки, 6) обрезки приводных ремней, сработанных из шерсти, 7) старую калошную байку и т. п., 8) старые изношенные изделия валяльновойлочного производства, а также 9) обрезки или остатки изделий из искусственного шелка. Все собираемое Т. направляется на ф-ки искусственной шерсти (см. *Шерсть искусственная*), а частично на те суконные фабрики, где имеются соответствующие машины для переработки Т. Перед отправкой Т. рассортировывается, а в нек-рых случаях и обеспыливается, т. к. содержание пыли и грязи в Т. доходит до 12—20%.

Потребление тряпья в шерстеобрабатывающей промышленности СССР (приблизительное) приведено ниже (в тыс. *m*):

1927 г.	8,05	1930 г.	22,4
1928 »	10,0	1931 »	25,7
1929 »	14,2	1932 »	24,0

Все перечисленные виды Т. по месту происхождения делятся на две группы: 1) фабричной выработки и 2) домашней (кустарной) выработки; по роду производства—на три группы: 1) суконное, 2) камвольное, 3) трикотажное (вязаное). Т. домашней выработки (сюда относятся гл. обр. грубое домотканое сукно, старые зипуны, армяки, чапан, грубый чулок, варежки и т. п.) представляет собою для производства большую ценность, т. к. для изготовления применяется пряжа, сработанная гл. обр. ручным способом, при к-ром практически исключена возможность суррогатирования, т. е. добавления к натуральной шерсти угаров и других посторонних примесей, что широко практикуется при выработке пряжи фабричным способом. Наилучшим Т. по роду производства являются трикотажные изделия. Для их изготовления применяется слабо скрученная пряжа, а сама конструкция трикотажных тканей позволяет без большого ущерба для свойства шерстяных волокон производить разработку Т. в искусственную шерсть. Искусственная шерсть, полученная из трикотажных изделий, будет более равномерной по длине, чем полученная из камвольных или суконных тканей. Далее идет Т. камвольное. При камвольном прядении короткие волокна удаляются в процессе гребнечесания, поэтому искусственная шерсть, получаемая из камвольных тканей, будет достаточно равномерной по своей длине. Кроме того камвольные ткани в процессе отделки или совсем не валяются или подвергаются небольшой валке, что не препятствует получению более равномерной по длине искусственной шерсти. Суконное Т., полученное из аппаратной пряжи, в процессе выработки которой из шерсти не удаляются короткие волокна, в большинстве случаев представляет собой сильно уваленные изделия; при разделении таких тканей на отдельные волокна они (ткани) оказывают большое сопротивление, в результате чего значительная часть волокон разрывается и шерсть, получаемая из суконного Т., бывает весьма неравномерной по длине, с большим содержанием коротких волокон, что снижает ее качество. По степени крепости Т. делится на крепкое и слабое. Крепким называется такое Т., к-рое оказывает заметное сопротивление при попытке его разрыва. Слабым называется такое Т., к-рое не оказывает должного сопротивления на разрыв. Сюда относится прелое, гнилое и изъеденное молью Т. В старом Т. часто попадаются заплаты и швы-рубцы. Если заплаты представляют собой куски нешерстяных материй, они д. б. отпороты и удалены. Швы-рубцы д. б. также распороты. По степени загрязненности Т. делится на чистое, полугрязное и грязное. К чистому тряпью относится такое, к-рое не имеет в себе грязи, пыли и различных пятен. К полугрязному относится такое Т., к-рое имеет небольшое количество пятен и незначительное содержание пыли и грязи. К грязному Т. относится такое, к-рое в большом количестве содержит в себе пыль и грязь и имеет значительное количество пятен. Содержание пыли и грязи в грязном Т. доходит до 12—20%. Кроме того встречается тряпье, сплошь покрытое мелом, сажей и т. п., а также масляное—пропитанное салом или маслом. В зависимости от цвета Т. делится на светлое, пестрое и темное. Наиболее ценным является светлое Т., так как шерсть, получаемая при разработке такого Т., может сравнительно легко воспринимать окраску в разнообразные цвета. Пестрое Т. может быть пущено на выработку меланжевых тканей без предварительной окраски. Темное Т. может быть назначено также для выработки темных меланжевых тканей, а чаще всего для выработки по-

лотном крашеных тканей. В зависимости от вида сырья, из к-рого сработано Т., оно делится на тонкое, полутонкое и грубое. Тонкое Т. сработано из тонкой мериносовой шерсти, полутонкое—из полугрубой кросбредной шерсти и грубое—из грубой шерсти. Если Т. сработано путем переплетения шерстяных и хл.-бум. или льняных нитей, то оно носит название полушерстяного. Полушерстяным называется и такое Т., к-рое сработано из пряжи, при изготовлении к-рой помимо шерсти в смеску добавлялись другие волокна. В настоящее время большинство суконных и камвольных тканей является полушерстяными или смешанными. Грубое крестьянское тряпье, сработанное из шерстяных и нешерстяных нитей, носит название «пониток». Тонкое Т.: 1) фетр из мериносовой шерсти, из козьего, кроличьего или заячьего пуха, 2) войлок кардоленты из мериносовой шерсти, а также грубое Т., куда относятся: а) войлок фабричной и кустарной выработки, сработанный из грубой натуральной шерсти с примесью коровьей заводской шерсти, б) технич. и строительный войлок, сработанный из грубой натуральной шерсти с примесью заводской шерсти и в некоторых случаях с примесью других волокон, в) кошма, сработанная из грубой натуральной шерсти, г) бурка кавказская, сработанная из грубой натуральной шерсти, д) валяные старые сапоги и обрезки сапоговаляльного производства. **И. Мясников.**

ТУАЗ, т о а з, старинная франц. мера длины. 1 туаз = 864 парижским линиям = 194,90 *см.* Т. положен в основание *метрической системы мер* (см.) в виде т. н. п е р у а н с к о г о Т., изготовленного в 1735 г. и служившего для сравнения рабочих базисных жезлов во время градусного измерения в Перу. В конце 18 в. с введением во Франции метрич. системы был изготовлен нормальный эталон метра в виде платинового жезла («архивный метр»), длина к-рого при 0° в точности соответствовала 443,296 парижским линиям. В 1821 г. с перуанского Т. по заказу В. Струве для России был изготовлен т. н. т у а з Ф о р т е н а, а в 1827 г. в Дерпте по указаниям В. Струве был сделан д в о й н о й Т. и сравнен с фортеновским Т. До введения метрич. системы мер двойной Т. считался прототипом всех русских концевых нормальных мер.

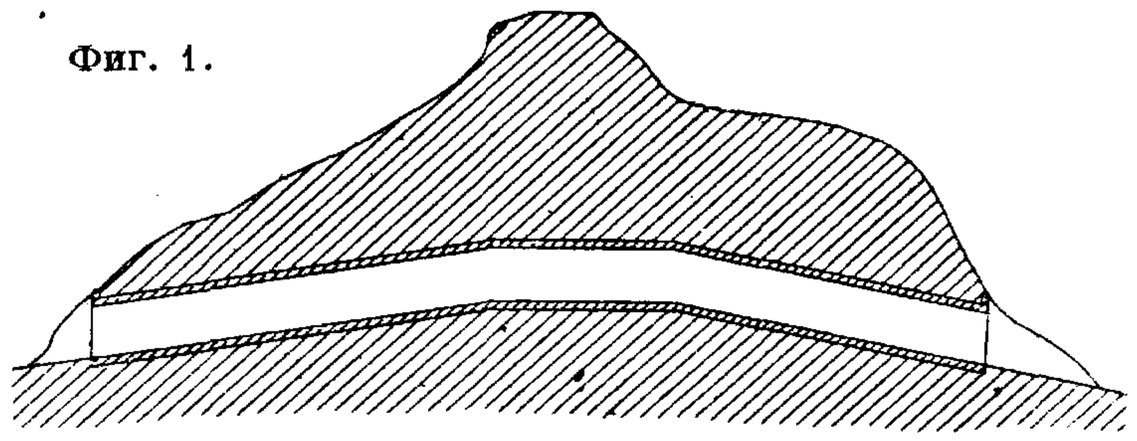
ТУАЛЬДЕНОР, гладкая хл.-бум. ткань гроденаплевого переплетения. Для выработки Т. требуются 4 ремизки, пробранные по неочередной (амальгамной) проборке. Т. вырабатывают различных сортов: тонкий, средний, ровный и крученый при ширине суровья в 71 *см* и готовом товаре в 65 *см*. Для Т. т о н к о г о требуется основа № 32 с плотностью 72 нити на 1″, уток № 38, крашеный обычно в черный или коричневый цвет, с плотностью 74 нити на 1″. Т. с р е д н и й вырабатывается из основы № 24 (крашеной) при плотности 70 нитей на 1″ и при утке № 38 при плотности 64 нити на 1″ или из основы № 32 при плотности 72 нити на 1″ и утке № 30 (крашеном) при плотности 66 нитей на 1″. Для Т. р о в н о г о требуется основа № 24 при плотности 64 нити на 1″, уток № 24 (крашеный) при плотности 66 нитей на 1″. Т. к р у ч е н ы й вырабатывается из основы № 38/2 (крашеной и суровой) при плотности 56 нитей на 1″ и утка № 16 (крашеного) при плотности 52 нити на 1″. Т. в отделке декатируется и голландируется и поступает в распределение для прозодежды, простых платьев, верхних рубашек и т. п. Т. крученый идет для рабочей мужской одежды. **С. Молчанов.**

ТУННЕЛИ. Туннельным работам должны предшествовать геологич. изыскания. Природа грунтов, степень их насыщенности водой и характер напластования пород дают указания на вероятное давление на туннельную обделку. Крепость горных пород определяет способ их разработки, сопротивляемость их бурению, расход взрывчатых веществ. Структура и химический состав горных пород дают указания на сопротивляемость выветриванию, выщелачиванию, морозу.

Т е м п е р а т у р а в н у т р и г о р н ы х м а с с и в о в. При длинных и глубоких Т. большим препятствием для работ помимо других трудностей является высокая $t°$, доходившая в некоторых Т. до 55—60°. Повышение $t°$ с заглублением измеряется г е о т е р м и ч е с к и м г р а д и е н т о м, выражающим собою в *м* глубину, соответствующую повышению $t°$ на 1°. Гумбольдт определял геотермич. градиент в 30 *м* на 1°. Для Сен-Готарда и Симплона он был 44 *м*, для Сурама 45 *м*, для Мон-Сени 24—54 *м* (увеличивался с глубиной). Для перевального Кавказского Т. по Левинсон-Лессингу он определен в 40—50 *м*. Геотермич. градиент зависит от породы грунта и от степени падения слоев его, так как теплопроводность поперек пластов меньше, чем вдоль пластов. Для круто падающих пластов Кенигсбергер дает до 60 *м*. Геотермич. градиент считается от средней годовой $t°$ верхних слоев почвы, которая выводится из средней $t°$ воздуха (на 2—4° выше ее). При неимении наблюдений за средней $t°$ воздуха ее можно вывести из средней $t°$ воздуха ближайших местностей с поправкой на а э р о т е р м и ч е с к и й г р а д и е н т (200 *м* на 1°). Кроме естественного повышения $t°$ в зависимости от глубины повышение $t°$ внутри горного массива иногда вызывается химич. реакциями внутри его, а также результатом действия вулканов, хотя бы и прекративших свои извержения.

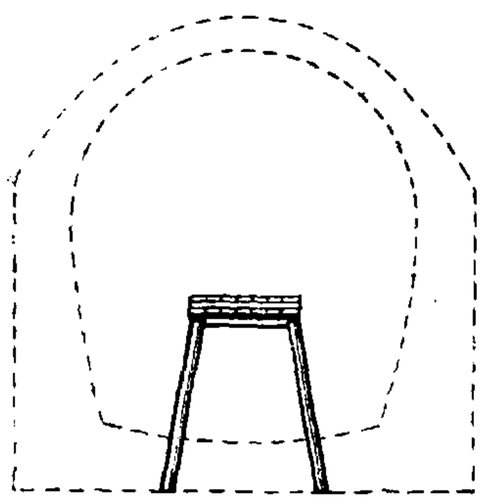
Г а з ы. При разработке туннелей встречаются вредные газы. Особенно опасны легковоспламеняющиеся газы, как болотный, пары бензина и пр. Борьба против них состоит в усиленной вентиляции. Меры предосторожности—запрещение курения, снабжение рабочих шахтерскими лампами, электрич. освещение.

Фиг. 1.



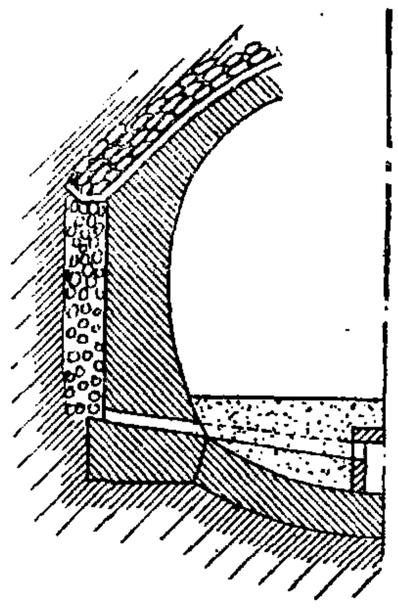
Г р у н т о в ы е в о д ы. Вода—главный враг туннельных работ, хотя иногда ее присутствие и полезно, когда она охлаждает породы с повышенной температурой. Для удаления воды туннелям следует придавать в продольном профиле уклон от середины к порталам не менее 0,003—0,005 (фиг. 1). При коротких Т. можно ограничиться уклоном в одну сторону. Работы должны вестись с нижней стороны, чтобы вода от забоя стекала назад к порталу Т. В Т., прокладываемых без уклона, при разработке приходится делить Т. на бьефы 50—100 *м* с канавами, имеющими уклон в каждом бьефе в сторону портала и спускающими воду в водосборные колодцы, откуда воду перекачивают

насосами в соседний бьеф или же прямо по трубам отводят за портал Т. Для перекачки воды применяют иногда ручные насосы, но чаще, особенно при значительном притоке воды, центробежные насосы с электрич. приводом. При сильных грунтовых водах разработку необходимо вести с прокладки нижней направляющей штольни (фиг. 2). Такая штольня дренирует все сечение Т. В исключительно водоносных грунтах иногда прокладывают особые дренажные штольни вне туннеля параллельно его оси с одной или с двух сторон. Штольни эти иногда прокладывают одну над другой в несколько рядов, чтобы перехватить несколько водоносных слоев. Штольни заполняются камнем. В илистых грунтах такие дренажи, заполненные камнем, довольно быстро затягиваются илом и перестают работать; поэтому в таких случаях лучше оставлять их открытыми. Иногда при прокладке Т. на небольшой глубине, особенно в городах, с успехом применяется способ искусственного *понижения горизонта грунтовых вод* путем откачки воды из трубчатых колодцев, опущенных с поверхности земли вдоль трассы будущего Т. Осушение грунта посредством понижения горизонта грунтовых вод через трубчатые колодцы с фильтрами дает возможность откачивать из грунта воду без всасывания мелких земляных частиц, что очень важно при работе в городах вблизи фундаментов зданий. Но способ этот применим только в грунтах песчаных более или менее водопроницаемых. Вода продолжает свое разрушительное действие и по окончании Т., разлагая и разжижая грунт вокруг Т. и разрушая самую обделку Т., особенно при совместном действии мороза. Методы борьбы с водой в законченных Т. различны и часто совершенно противоположны.

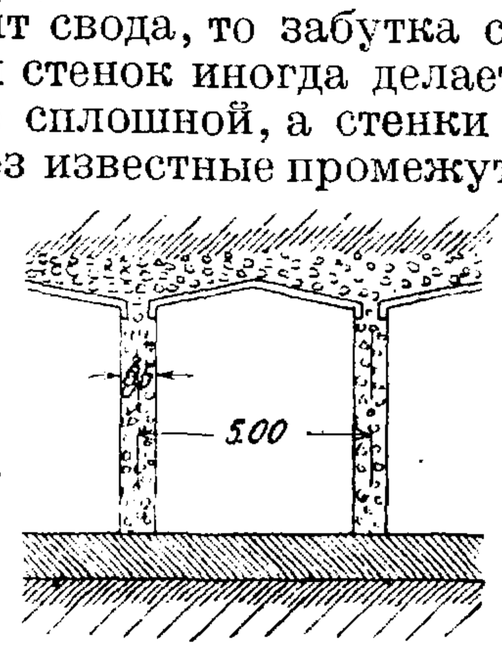


Фиг. 2.

В подводных Т. борьба с водой заключается в устройстве водонепроницаемой туннельной обделки. Самая обделка (б. ч. чугунная) вплотную прижимается к грунту, что достигается еще нагнетанием за обделку цементного раствора под давлением. При нек-рых системах подводных Т. удается устроить асфальтовую изоляцию. *Полная изоляция от воды* вызывается необходимостью не допускать воду в Т., иначе она заполнила бы собой все его сечение. Городской туннель также обеспечивают всеми средствами от проникания в него воды, предохраняя его с наружной стороны водонепроницаемой изоляцией. Если Т. прокладывается открытым способом сверху в котлованах, то изоляция устраивается из нескольких слоев гудронированного толя, полотна или войлока с прослойками битуминозной массы. В городских Т., прокладываемых туннельным способом, для предохранения от воды производится нагнетание цементного раствора за кладку, и кроме того иногда устраивается внутренняя изоляция из слоя хорошо обожженного водонепроницаемого клинкера на растворе высокосортного жирного цемента или битуминозной массы. В горных Т. издавна установились другие методы, совершенно противоположные. Для борьбы с водой строители горных Т. считали необходимым осушить грунт вокруг Т. Для этого между каменной обделкой Т. и грунтом устраивают дренирующую забутку из щебня или сухой кладки (фиг. 3а и 3б). Собирающаяся по такому дрену вода пропускается в Т. через особые окна, устроенные у подошвы стенок, а также иногда и у пят свода. Из Т. вода по особым лоткам отводится к порталам наружу. Т. к. при наличии такой забутки трудно было бы рассчитывать на надлежащий отпор земли горизонтальным усилиям, передающимся стенкам от пят свода, то забутка сзади стенок иногда делается не сплошной, а стенки через известные промежутки



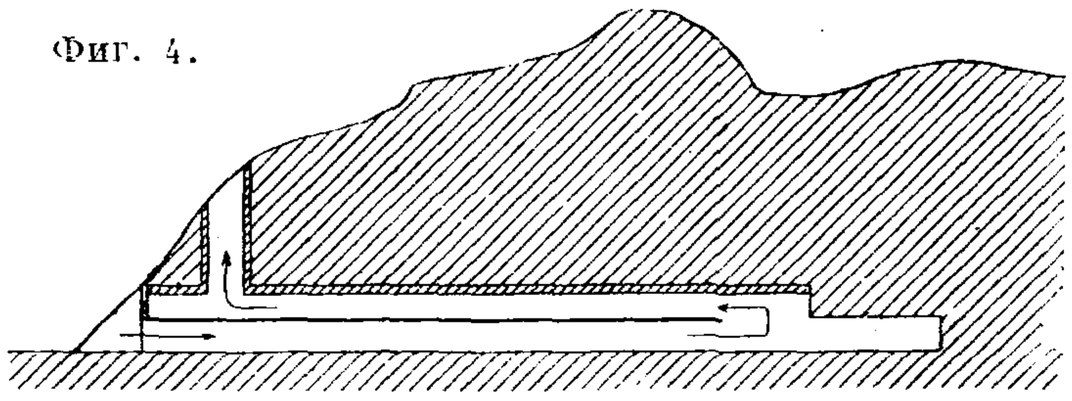
Фиг. 3а.



Фиг. 3б.

прилегают непосредственно к грунту, и кроме того устраивается на уровне пят свода сплошная полоса кладки, также непосредственно прилегающая к грунту. Некоторые строители идут дальше и рекомендуют свод и стенки прибучивать вплотную к грунту, а для дренирования оставлять только небольшие промежутки по внешней направляющей обделке. Многие специалисты однако резко критикуют систему дренажа за туннельной обделкой. Дренирование прежде всего нарушает установившийся режим грунтовых вод в горном массиве. При дренировании грунтовые воды как бы призываются со всего окружающего массива и усиленным потоком устремляются к периферии Т. Если при этом порода грунта представляет известную устойчивость, не разлагается и не вымывается, то дренирование проходит безболезненно для Т., но оно и бесполезно, вы-

Фиг. 4.



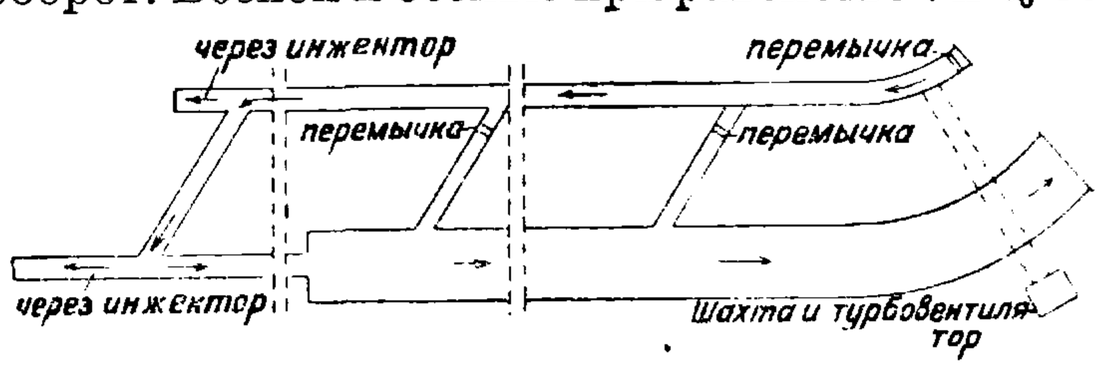
зывая только при эксплоатации лишние заботы об удалении воды из Т. Очень часто в породах размываемых дренаж за Т. быстро затягивается грунтом и перестает действовать, что также не представляет опасности для Т. (в ближайшей к Т. периферии происходят вследствие вымыва легкие сдвижки грунта, но они далеко не распространяются и быстро затухают). Однако и в этом случае дренирующая прослойка за каменной обделкой Т. является по крайней мере бесполезной. Гораздо хуже обстоит дело, когда грунт за Т. размывается и проносится с водой через дренаж в Т. В таких случаях неизбежны постоянные сдвижки грунта за туннельной обделкой, равновесие породы над Т. нарушается, а вместе с тем значительно увеличивается и давление грунта на Т. Особенно опасно при вымывании грунта образование над сводом больших пустот («куполов»), следствием чего м. б. падение на свод больших глыб земли или отдельных валунов, вызывающее в своде серьез-

ные повреждения. Т. о. устройство дренажа за туннельной обделкой по взглядам нек-рых специалистов в лучшем случае бесполезно, а иногда и очень вредно, и потому многие предлагают при производстве кладки свода и стен насколько возможно прибучивать ее вплотную на растворе к грунту и кроме того рекомендуют по окончании кладки нагнетание за нее цементного раствора под давлением. Т. о. доступ воды в Т. преграждается совершенно. Режим грунтовых вод в земляном массиве,прорезаемом Т., почти не нарушается, так как Т., внедрившийся в этот массив, представляет собою лишь небольшое постороннее тело. Вода продолжает в таком случае, как и до прокладки Т., спокойно течь по своим прежним ходам, при встрече же с телом Т. она сама находит себе проход для дальнейшего следования, не нарушая резко характера своего движения. Только при встрече с большими подземными водотоками необходимо принимать меры для провода их над или под Т. Особенно яркий пример опасности дренажа за туннельной обделкой представляет собою Т. Коль-де-Монтэ между Мартиньи (Швейцария) и Шамони (Франция). Т. этот был пробит в слюдистых и шиферных сланцах, в гнейсе и наконец в морене и обвалочных породах. Все породы отличались большой водоносностью, колеблющейся в зависимости от сезона (проток воды в Т. достигал до 40 $м^3/мин$). Обделка Т. была устроена с дренирующей забуткой, откуда вода через окна в кладке поступала в Т. Проходя через размываемые породы, вода выносила с собою грунт. За сводом образовывались большие пустоты, причем массы грунта внезапно отрывались и, падая на свод, разрушали его. Для исправления Т. прежде всего замуровали все окна в туннельной обделке, затем произвели нагнетание цементного раствора за кладку под давлением в 7 atm. После этого Т. никаких тревожных признаков не обнаруживает. Иногда для отвода воды от Т. прокладываются параллельно ему дренирующие штольни. Способ этот заимствован из постройечной практики и для законченных Т. применяется редко. При прокладке штолен на сравнительно большом расстоянии от Т. опасность сдвижек грунта над Т. исключается, но осадки грунта над штольнями при проходе в размываемых грунтах неизбежны. Прокладка штолен и ремонт их обходится очень дорого, тем более что редко удается ограничиться одной или двумя штольнями.

Вентиляция при пробивке Т. Пока Т. не пробит насквозь, воздух в нем очень тяжелый, даже если нет выделений вредных газов из окружающей породы. В твердых грунтах при необходимости вести взрывные работы выделяющиеся при взрыве газы сильно портят воздух. Паровозы и бензиновозы, применяемые для тяги вагонеток с породой или материалом, также сильно способствуют порче воздуха и потому по возможности д. б. заменены локомотивами, действующими сжатым воздухом, или электровозами. Желательно также устройство на время работ электрического освещения вместо портящих воздух масляных ламп. По Макензену 1 рабочий с лампой расходует в 24 ч. 240 $м^3$ воздуха, 1 лошадь 850 $м^3$; 1 $кг$ пороха требует 200 $м^3$, 1 $кг$ динамита 300 $м^3$, не считая выделения вредных газов из породы, от гниения деревянных креплений и пр. Америк. инж. Фокс считает за предел доброкачественности воздуха в Т. содержание в нем углекислоты до 0,2%. Опыты с людьми (добровольцами) в Нью Йорке показали, что человек свободно выносит в течение часа пребывание в воздухе с содержанием 0,0004 окиси углерода, чувствует легкое недомогание в воздухе с содержанием 0,0006 и испытывает болезненное состояние в течение многих часов, пробыв 1 ч. в воздухе с содержанием окиси углерода в 0,0008. При пробивке штольни образуется естественная вентиляция. Летом холодный воздух Т. понизу штольни проходит наружу, а наружный теплый воздух проходит поверху к забою. Зимой происходит обратное течение. Такое вентилирование мало действительно и при протяжении штольни в несколько десятков $м$ оно останавливается и не ощущается. Весной и осенью при равенстве $t°$ воздуха штольни и наружного вентилирование останавливается совершенно. Только когда штольня пробита насквозь, устанавливается сильный ток воздуха от одного портала к другому, достаточный для вентилирования Т. небольшой длины до 1 $км$. Особенно благоприятны для естественной вентиляции Т. с уклоном в одну сторону. Очень способствует естественной вентиляции устройство шахт или небольших щурфов (1 $м \times 1$ $м$) или даже больших буровых скважин. Если штольня имеет открытый выход у портала, а другой в шахту, ведущую к наружной поверхности, то скорость течения воздуха в Т. под влиянием разницы веса воздушного столба H, темп-ры t и такой же высоты столба воздуха, но другой темп-ры t_0 над выходом из штольни у портала будет

$$v = \sqrt{2ga\frac{H(t-t_0)}{1+at_0}},$$

где g—ускорение силы тяжести, а a—коэф. расширения воздуха. Летом течение воздуха будет направлено из шахты в штольню, а зимой наоборот. Весной и осенью при равенстве t и t_0 ток



Фиг. 5.

воздуха прекращается. Неблагоприятное расположение портала относительно господствующих ветров сильно затрудняет такое вентилирование. Надлежащий обмен воздуха вне зависимости от $t°$ и направления ветра обеспечивает только искусственная вентиляция. При вытяжной вентиляции Т. делится на две части горизонтальной диафрагмой (фиг. 4). Воздух Т. вытягивается из верхней половины через особую шахту, а свежий поступает от портала через нижнюю часть к забою и затем через верхнюю часть вытягивается наружу. При пробивке сразу двух штолен—верхней и нижней—роль диафрагмы до полной разработки Т. выполняет слой земли между штольнями. В разработанной части Т. диафрагма устраивается в виде дощатого щита. Вытяжные шахты должны иметь в сечении не менее 4 $м^2$. Побудителем для вытяжки воздуха м. б. особые вентиляционные печи, устраиваемые либо на поверхности земли либо в самой штольне. Однако способ подогревания воздуха при наличии в шахтах и штольнях дерева небезопасен в пожарном отношении, и потому лучше и в то же время эффективнее устанавливать в шахтах особые вентиляторы.

При сооружении Т. для вентилирования его много действительнее нагнетать свежий воздух по трубам большого диаметра, по возможности ближе к забою, с отводами особых трубопроводов непосредственно к забою, откуда воздух возвращается обратно к порталу (или шахте), увлекая с собою испорченный воздух Т. Табл. 1 показывает количество воздуха, к-рое посылали к забою с каждой стороны, а табл. 2 дает размеры вентиляционных труб и мощность установки при постройке нек-рых Т. Необходимая мощность вентиляционных устройств при сооружении Т. определяется по ф-ле

$$L = \frac{QH}{75\eta}\ \text{HP},$$

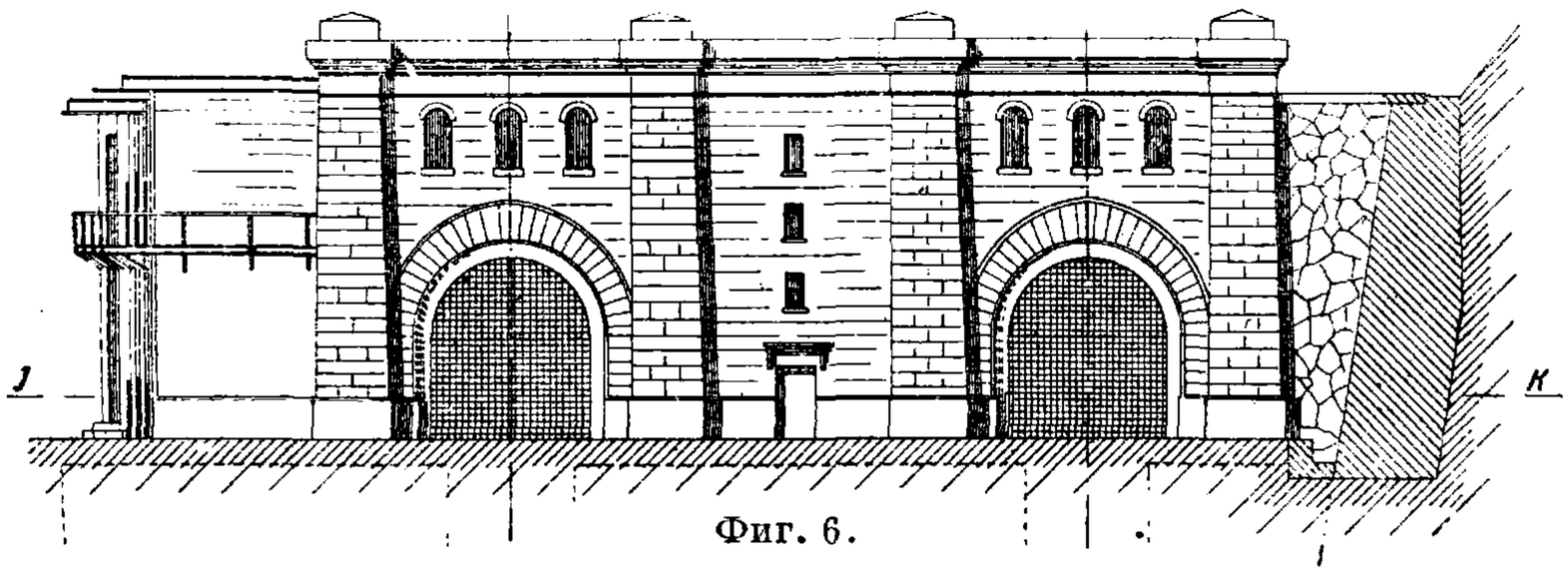
где Q—требующаяся подача воздуха в $м^3/сек$, η—кпд турбовентиляторов, равный 0,6—0,7, H—давление воздуха при выходе из вентилятора в *мм* вод. ст., равное $0{,}00145\,\gamma\,\frac{Q^2}{d^5}\,l$, где d—диам. трубы в *м*, l—ее длина в *м*, $\gamma = \gamma'\,\frac{h}{735}$ — уд. в. 1 $м^3$ воздуха в *кг* при выходе его из вентилятора, где γ'—вес сухого воздуха при той же $t°$, h—абсолютное давление воздуха при выходе из вентилятора в *мм* рт. ст. При постройке первого Симплонского Т. свежий воздух подавался по особой галлерее сечением ок. 8,5 $м^2$, которую пробивали параллельно Т. в 17 *м* от его оси на месте проложенного впоследствии второго Симплонского Т. для второго пути (фиг. 5). Через каждые 200 *м* эта галлерея соединялась с Т. особыми поперечными штольнями, прокладываемыми под острым углом к Т. и галлерее. По мере продвижения работ штольни эти закрывались особыми перемычками, за исключением последней, ближайшей к забою. Свежий воздух подавался от портала к галлерее, затем через последнюю поперечную штольню проходил в Т. и выходил по Т. в обратном направлении к особой вытяжной шахте, устроенной у самого портала. Воздух подавался двумя турбовентиляторами диам. 3,57 *м*, приводимыми в действие двумя гидравлич. турбинами по 250 HP. Вентиляторы по 200 об/м. могли подавать каждый по 25 $м^3$ воздуха в ск. при давлении 250 *мм* высоты вод. ст. При параллельном включении они давали 50 $м^3$ воздуха в ск. с давлением 250 *мм* вод. ст., а при последовательном включении 25 $м^3/сек$ с давлением 500 *мм* вод. ст. Вентиляционная камера сообщалась непосредственно с галлереей, портал которой закрывался особой перемычкой (фиг. 6—11). Воздух к забою в штольнях подавался посредством особых инжекторов, установленных перед последней поперечной штольней. Вентилирование небольших туннелей часто с успехом обеспечивается отработанным сжатым воздухом бурильных пневматических машин. Компрессорные установки в таком случае должны находиться вне туннеля и забирать свежий, по возможности чистый, воздух. Иногда этими установками пользуются для подачи воздуха к забою под давлением в 3—7 *atm* даже в случаях, когда не производится бурение. В странах с холодным климатом и в Т., не выделяющих большого тепла, свежий воздух, подаваемый в Т., д. б. подогреваем для предохранения рабочих от простуды.

Табл. 1.—Количество воздуха для вентиляции при постройке Т.

Название Т.	Симплон	Арльберг	Тауерн	Караванкен	Лечберг	Бругвальд	Мон д'Ор	Вохейн	Боскрук	Гауенштейн	Сев.-Донецкий
Год постройки	1915	1900	1908	1902	1913	1908	1911	1905	1906	1913	1916
Длина Т., *км*	19,8	5,9	8,5	8,0	14,5	1,7	6,1	6,3	4,8	8,1	1,9
Количество воздуха, $м^3/сек$	35	3	6	6	11—25	2	12	3—6	3—3	5	8

Табл. 2.—Вентиляционные данные по постройке туннелей.

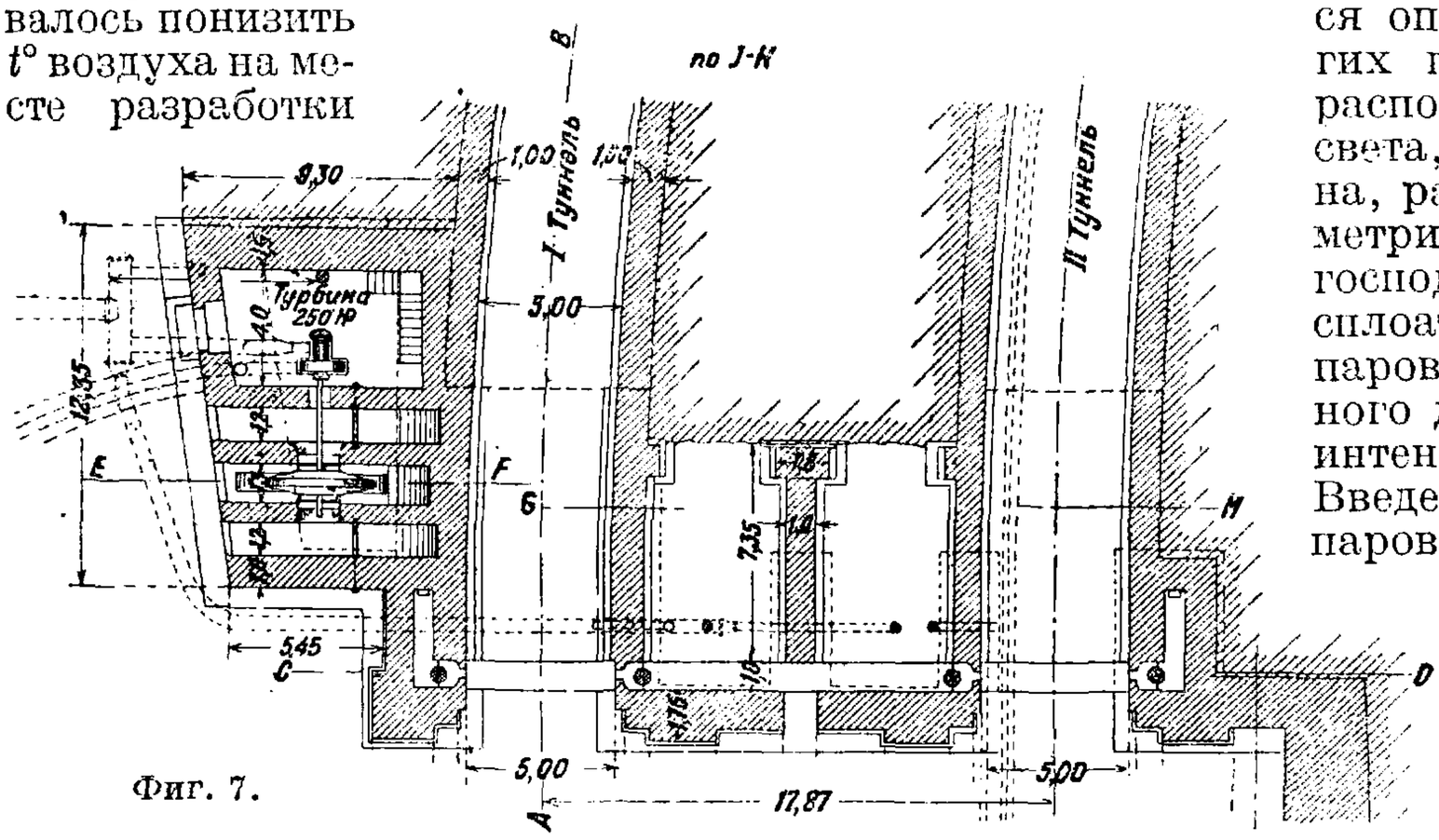
Название Т.	Год постройки	Длина, *км*	Колич. воздуха, $м^3/сек$		Мощность установки, HP		Диаметр труб, *мм*	
			действ.	резервн.	действ.	резервн.	туннель	отвод к забою
Арльберг (восточная сторона)	1900	5,9	3	3	—	—	400	400
Арльберг (западная сторона)	1900	5,9	3	3	150	100	500	300
Караванкен (северная сторона)	1902	8,0	6	6	180	180	700	500
Лечберг	1913	14,5	25	25	170	170	1 200	600/420
Гауенштейн	1913	8,1	5	5	80	80	1 000	300
Сев.-Донецкий	1913	1,9	8	8	70	—	500	200/100



Фиг. 6.

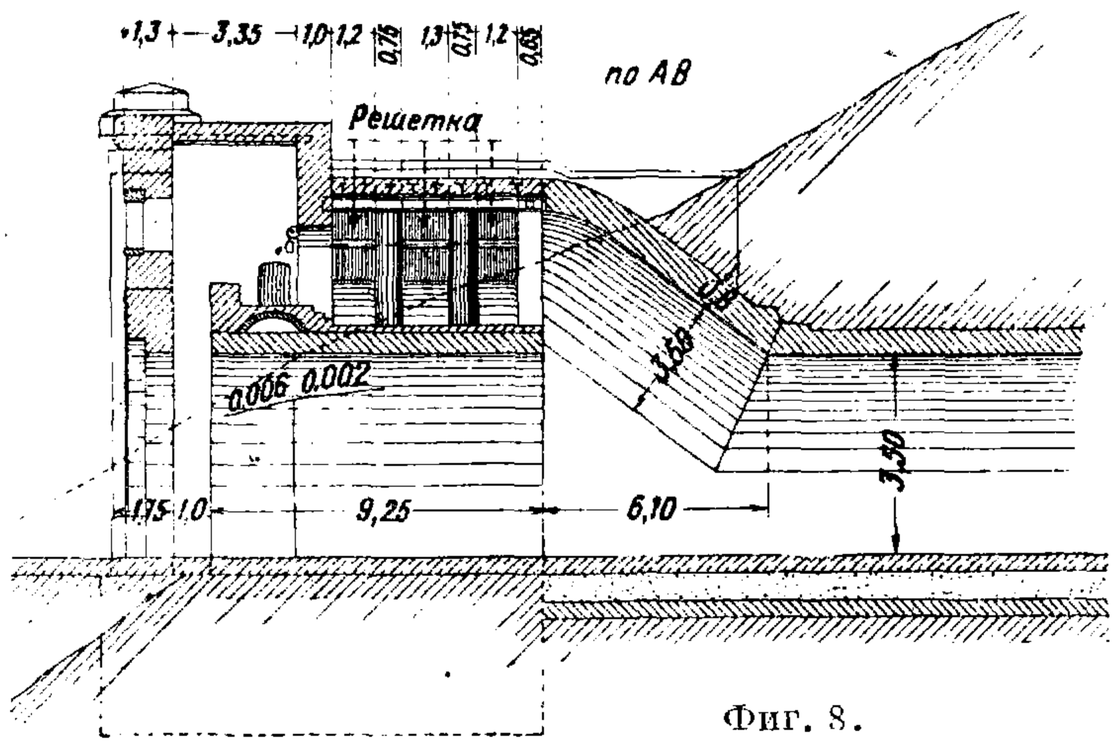
Охлаждение глубоко заложенных Т. достигается прежде всего вентиляцией. При недостаточности этой меры для охлаждения Т. применяются особые пульверизаторы, разбрызгивающие холодную воду, подаваемую под давлением по особым трубопроводам с тепловой изоляцией. Для охлаждения водой Симплонского Т. были установлены пульверизаторы, питае-

мые двумя компрессорами, дававшими каждый по 4,8 $м^3/мин$, под давлением в 22 atm. Компрессоры приводились в действие двумя водяными турбинами по 300 HP. Т. о. в Симплоне удавалось понизить $t°$ воздуха на месте разработки



Фиг. 7.

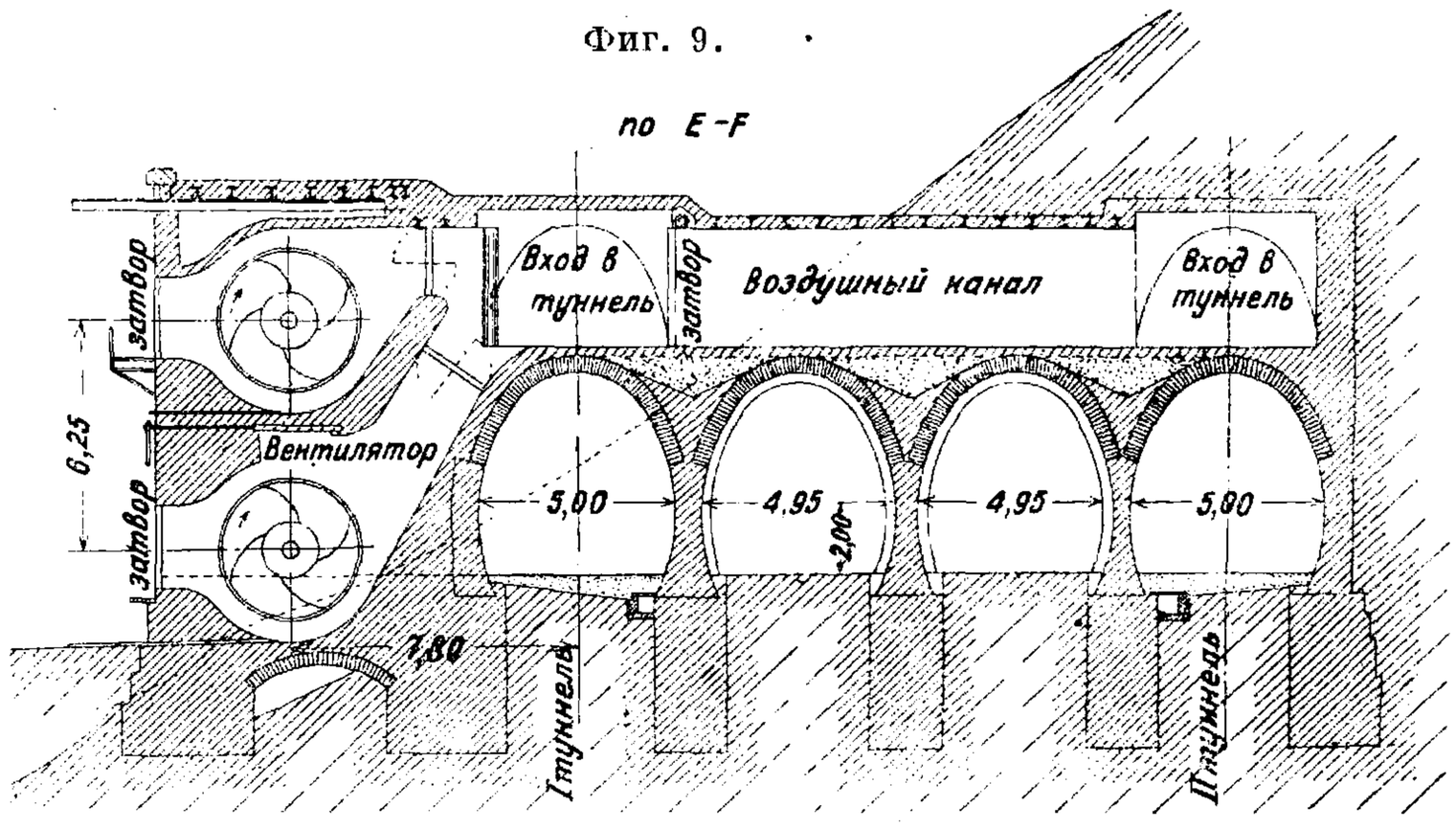
до 25° при $t°$ скалы в 42°. Вода для охлаждения должна забираться из холодных источников, а все трубопроводы д. б. обернуты оболочкой из материалов, плохо проводящих тепло. При более высоких $t°$ применяется охлаждение через лед. В Симплонском Т. воздух близ забоя пропускался через особый холодильник в виде вагончика-ледника с нетеплопроводными стенками. В ящике помещалось до 500 вертикальных металлич. труб диам. 40 *мм* и высотой 800 *мм*, наполненных льдом. Воздух проходил в вагончик через наружные отверстия в 300 *мм*, при соприкасании с холодными трубками охлаждался там до 5° и посылался к забою. Ящик-вагон заряжался льдом вне Т. Трубы наполнялись водой и между ними пропускался соляной раствор, охлажденный машинным способом. Вода в трубах замерзала и ящик прогонялся к забою. Заряда ящика хватало на $1^1/_2$—2 ч. Охлаждение указанным способом было невелико, т. к. воздух при выходе из холодильника быстро опять нагревался, но все же это позволяло понизить $t°$ еще на 4°. Большое преимущество этого способа заключается в уменьшении влажности воздуха.



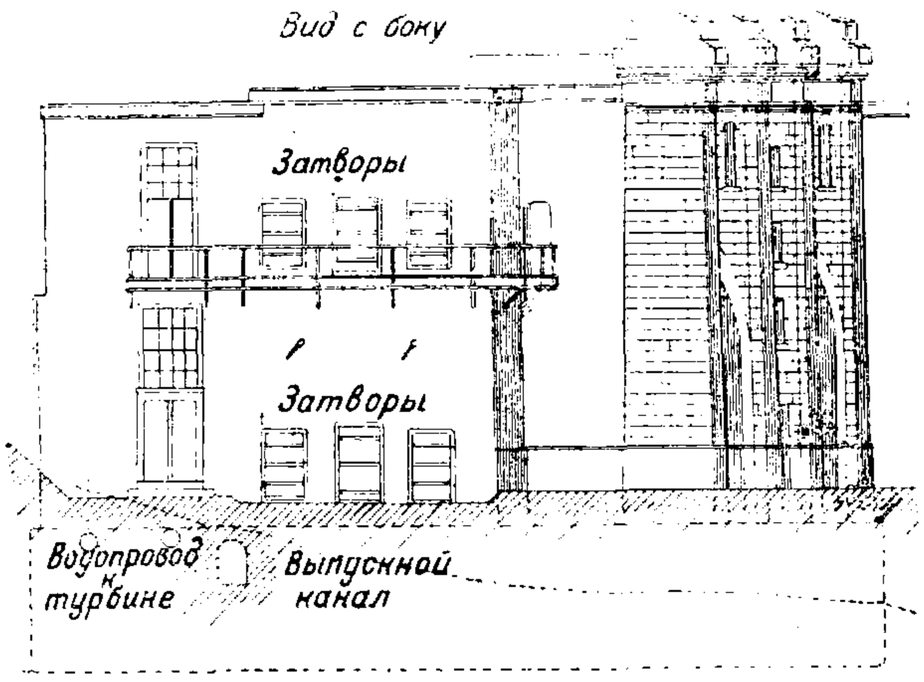
Фиг. 8.

В е н т и л я ц и я з а к о н ч е н н ы х Т. В законченных Т. ограничиваются естественной вентиляцией. Из нескольких тысяч Т., эксплоатируемых на ж. д. земного шара, лишь несколько десятков имеют искусственную вентиляцию. Естественная вентиляция в Т. трудно поддается определению. Она зависит от многих причин: топографии местности, расположения Т. относительно стран света, длины Т., его профиля и плана, разности высот его концов, барометрических колебаний, направления господствующих ветров, характера эксплоатации. Железнодорожные Т. при паровой тяге и Т. для автомобильного движения вообще требуют более интенсивной вентиляции, чем другие. Введение в Т. электрич. тяги вместо паровой может избавить от необходимости его искусственного вентилирования. При паровой тяге следует избегать при пробеге по Т. употребления углей, содержащих серу. Кокс также не признается удовлетворительным топливом. В туннеле он не сгорает полностью и выделяет большое количество окиси углерода и углеводороды. Наилучшим топливом для пробега по Т. признается нефть. Вообще считается, что Т. до 1 *км* длины м. б. предоставлены одной естественной вентиляции. Т. с уклоном в одну сторону лучше вентилируются, чем с уклоном к обоим порталам, т. к. в последнем случае вредные газы застаиваются в повышенной части Т. Устройство вытяжной шахты в этой повышенной части б. ч. удовлетворительно решает задачу. Практика длинных и неглубоких метрополитенных Т. с электрич. тягой показывает, что устройство вытяжных шахт площадью до 4 $м^2$ на расстоянии 150—200 *м* друг от друга вполне обеспечивает хорошую вентиляцию Т. Поезд, проходящий по такому Т., выдавливает, как поршень, перед собой воздух, к-рый устремляется в вытяжные шахты. Свежий же воздух поступает через отверстия на станциях. Т. о. эффект вентиляции тем сильнее, чем больше проходит поездов. Но в случае чрезмерно большого числа поездов (нью-йоркский метрополитен) воздух в Т. настолько нагревается от выделяемой моторами энергии, что приходится применять искусственную вентиляцию для его охлаждения. Вообще действие естественной вентиляции очень трудно учесть заранее и только по наблюдениям за эксплоатацией можно установить, насколько она обеспечивает надлежащий обмен воздуха в Т. Часто воздух в Т.,

Фиг. 9.

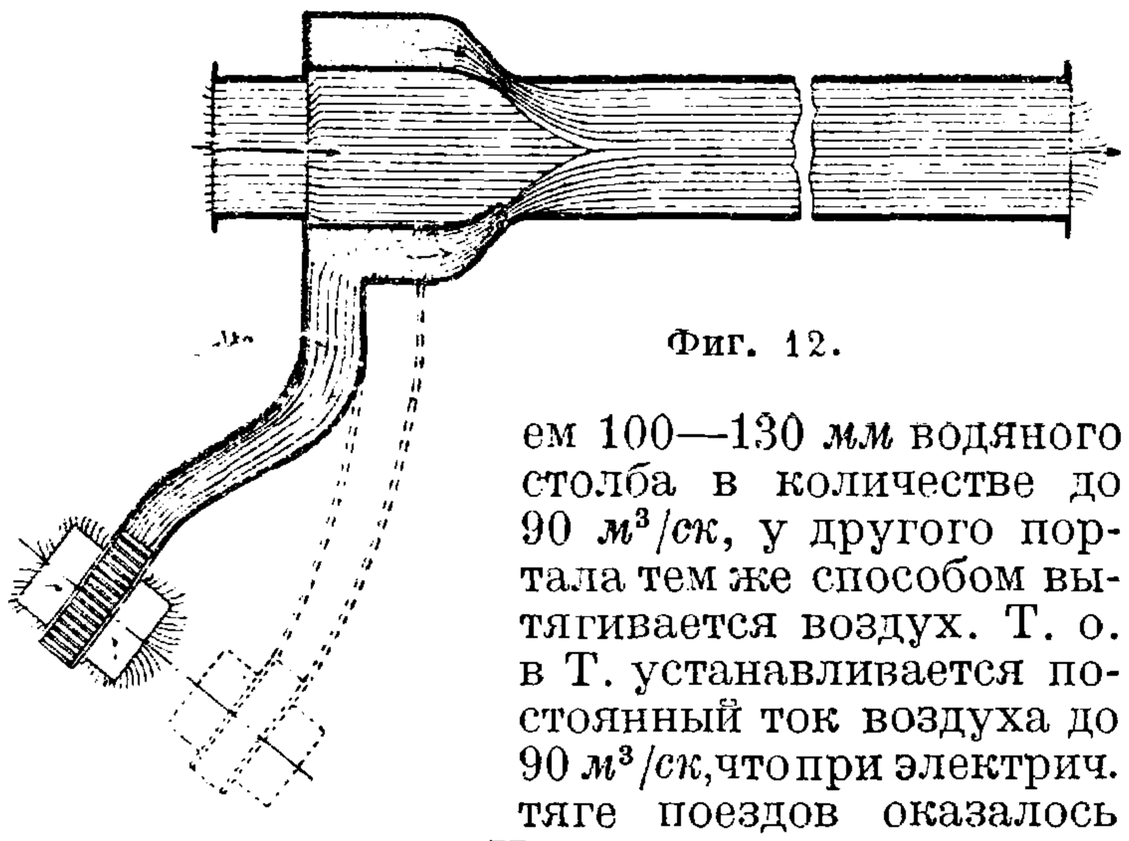


вполне удовлетворительный вначале, становится нестерпимым с увеличением числа поездов. В Кохемском тунеле (Пруссия) естественная



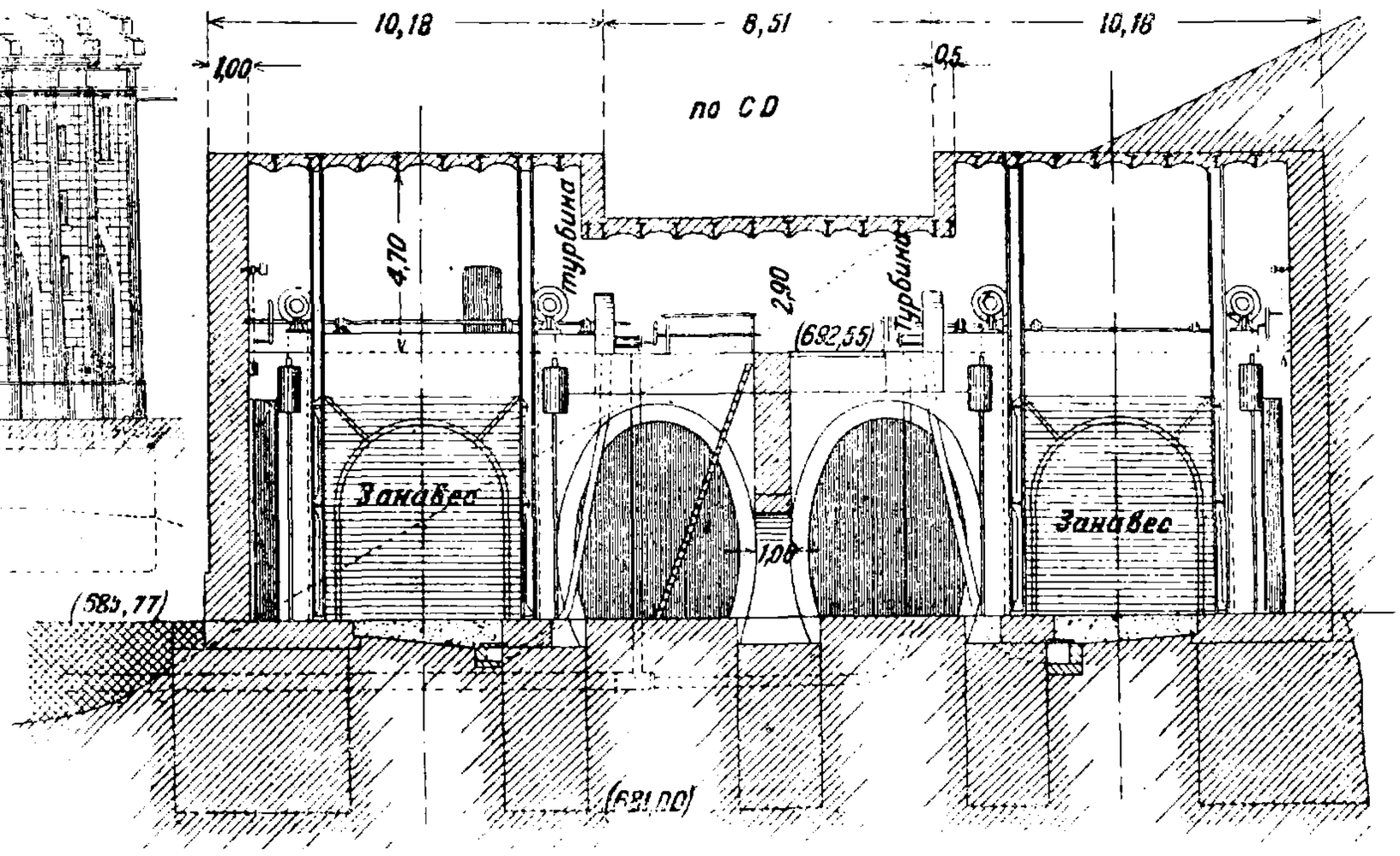
Фиг. 10.

вентиляция была вполне достаточной, пока число поездов в Т. в день не достигло 70. В Италии особой комиссией установлены три градации для оценки доброкачественности воздуха в Т. по содержанию в нем углеродистых газов (CO и CO_2, содержащихся обычно в равных количествах): 0,4%—хорошая вентиляция, 0,7%—посредственная и 1,1%—неудовлетворительная, и было предложено считать пределом для Т., где проходят товарные поезда,—0,6%, а для Т. с пассажирскими поездами только 0,3%. Искусственная вентиляция горных Т. во время эксплоатации устраивается или по сист. Симплонского Т. или по сист. Саккардо. В каждом однопутном Симплонском Т. оба портала закрываются особыми завесами из плотной материи, которые открываются только перед проходом поезда. Эти завесы настолько легки, что если при какой-либо неисправности поезд наскочит на них, он пробьет их без вреда для себя. У каждого портала имеются особые вентиляционные установки, оставшиеся еще от постройки (фиг. 7—11). У одного портала в Т. нагнетается свежий воздух под давлени-



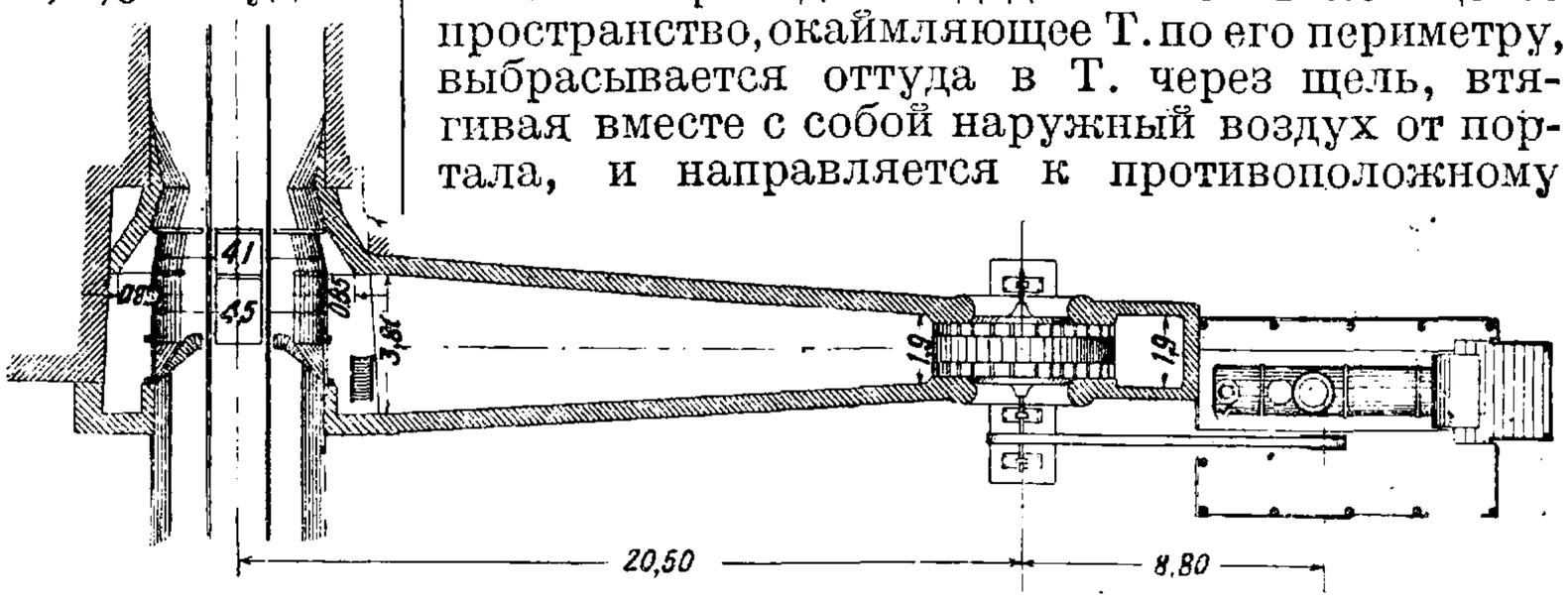
Фиг. 12.

ем 100—130 *мм* водяного столба в количестве до 90 $м^3/сек$, у другого портала тем же способом вытягивается воздух. Т. о. в Т. устанавливается постоянный ток воздуха до 90 $м^3/сек$, что при электрич. тяге поездов оказалось вполне достаточным. Направление тока воздуха по мере надобности может меняться. Та же система приспособлена для вентиляции двухпутного Лечбергского Т. длиной 14,5 *км*, где также применяется электрич. тяга. В сист. Саккардо



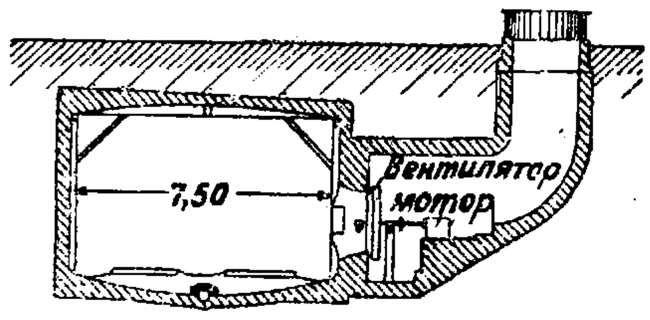
Фиг. 11.

порталы Т. остаются открытыми и обмен воздуха производится нагнетанием свежего воздуха с одного конца Т. по всему периметру его поперечного сечения в направлении к противоположному концу, как показано схематически на фиг. 12. Воздух из воздуходувных станций по каналам проходит под давлением в кольцевое пространство, окаймляющее Т. по его периметру, выбрасывается оттуда в Т. через щель, втягивая вместе с собой наружный воздух от портала, и направляется к противоположному



Фиг. 13.

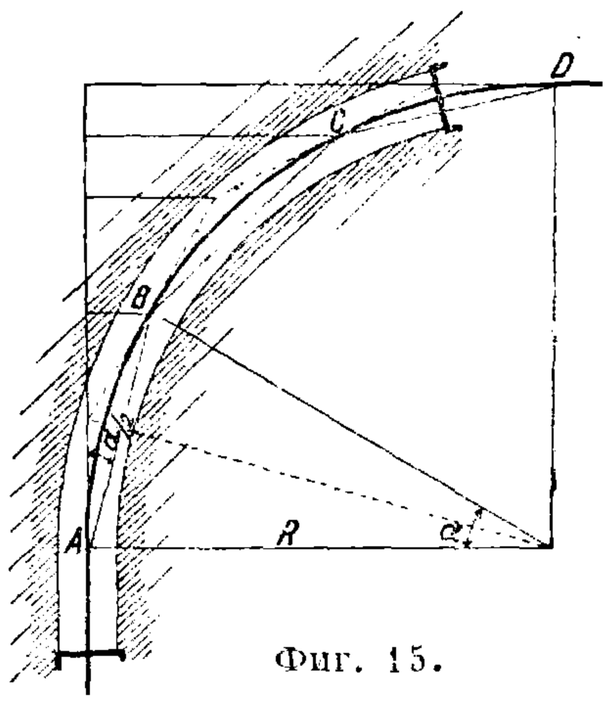
порталу. На фиг. 13 показано более детально устройство вентиляции в Т. Праккиа (в Италии), к-рый был первым оборудован вентиляцией по сист. Саккардо. Система Саккардо требует большого расхода энергии и обладает малой эффективностью. Тем не менее она признается лучшей для Т., где применяется паровая тяга. Другой недостаток системы состоит в том, что воздух, вдуваемый с одной стороны Т., иногда может итти навстречу сильному естественному току воздуха, образующемуся под влиянием разных атмосферич. причин (давление, $t°$, направление ветра). Для устранения этого недостатка следовало бы устанавливать воздуходувные станции с каждой стороны Т., чтобы иметь возможность, смотря по обстоятельствам, искусственной вентиляцией усиливать действие естественной, а не противодействовать ей. Можно также при устройстве одной воздуходувной станции сделать ее обратимою, т. е. по желанию вдувать или высасывать воздух из Т. Таких установок осуществлено однако пока еще не было. В городских Т. с электрич. тягой иногда также приходится устанавливать искусственную вентиляцию. При-



Фиг. 14.

мером такой вентиляции может служить Бостонский метрополитен (фиг. 14). Вентилятор диам. 2,13 *м* с электрич. приводом, помещенный в камере перед вытяжным колодцем, может вытягивать 850 $м^3$ воздуха в мин., делая 175 об/ск. Особая вентиляция требуется в подводных Т. для автомобильных дорог, где при большой езде отработанные газы отравляют воздух. Интересно устройство вентиляции недавно законченного двойного Т. под рекой Гудзон между Нью Йорком и Нью Джерси длиной 2,581 *м* для автомобильной дороги. Каждый из Т. обслуживает движение в одном направлении. Свежий воздух поступает по каналу-сегменту, устроенному под проезжей частью, через отверстия, расположенные на 3 *м* друг от друга, испорченный же воздух вытягивается через отверстия в потолке, также расположенные через 3 *м* в верхнем канале-сегменте. С каждой стороны Т. устроены большие вентиляционные станции, представляющие собою высокие (до 40 *м*) здания. Через особые шахты (по две с каждой стороны) эти станции сообщаются с каналами обоих Т. На станции установлено 8 серий воздуходувных машин. Четыре из них нагнетают воздух в нижний канал Т., а четыре вытягивают воздух из верхнего канала Т. Каждая серия имеет три вентилятора, из к-рых третий в резерве. Кубатура подаваемого в Т. воздуха колеблется от однократного до шестикратного объема Т. в зависимости от интенсивности движения. Поэтому моторы устроены с переменной скоростью и регулируются на основании показаний самопишущих приборов, указывающих на количество CO в воздухе, вытягиваемом из туннеля.

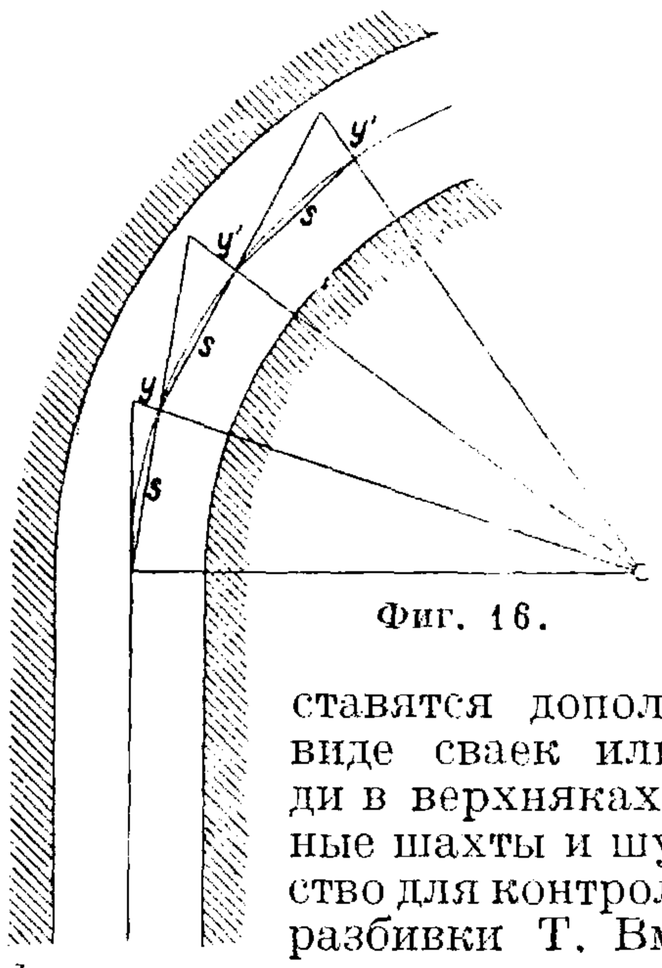
Разбивка туннельных работ. Разбивка оси Т. требует особой точности. Провешивание линии, когда возможно (в слабо пересеченной местности), производится по дневной поверхности теодолитом, и оба портала тщательно связываются нивелировкой. В сильно пересеченной гористой местности приходится прибегать к триангуляции. Для лучшего контроля операции по разбивке и нивелировке должны вестись разными операторами, независимыми друг от друга, по разным методам и разными инструментами. Работы должны вестись с соблюдением всех правил, предписываемых для точных геодезич. съемок. В сильно гористой местности необходимо вводить поправки на отклонение отвеса вследствие притяжения горных массивов. Провешенные линии закрепляются у обоих порталов особыми знаками на каменных фундаментах вне района земляных работ во избежание их повреждения. Для обозначения мест установки теодолита и вешек в подходной выемке заделываются особые каменные тумбочки, в к-рые обычно замуровываются железные трубки диаметром 20 *мм*. Трубки служат для центрировки инструмента и постановки вешек. При разбивке Т. из шахты сначала на дневной поверхности намечается ось Т. (или параллельная ей линия, если шахта не находится на оси Т.). Эта ось гвоздями отмечается на брусе, перекинутом через шахту, и при помощи отвесов из тонкой проволоки переносится с особой тщательностью вниз и там закрепляется. В Т. разбивкам сильно мешают теснота, слабость освещения, сырость воздуха и дым от взрывов. Поэтому визирование в Т. производится лишь на коротком расстоянии. Разбивки должны вестись в Т. по возможности во время перерыва работ. Истечение сжатого воздуха из воздухопроводов вследствие разницы в преломляемости лучей при разных давлениях влияет на отклонение визирного луча, и потому лучше на время разбивочных работ, если возможно, прекращать подачу воздуха в Т. К тому же подача холодного воздуха из трубопроводов вызывает в теплом влажном воздухе Т. парообразование, мешающее операциям. На кривых разбивка ведется по хордам, как изображено на фиг. 15, на основании особых таблиц, дающих величину хорды AB, BC, CD в зависимости от угла α и радиуса R. Крепильщики для ориентировочного отклонения оси на кривой часто пользуются ф-лами



Фиг. 15.

$$y = \frac{s^2}{2R} \quad \text{и} \quad y' = \frac{s^2}{R} = 2y,$$

где y (фиг. 16)—отклонение оси от касательной, проведенной в начале кривой, s—расстояние по оси, принимаемое обыкновенно равным расстоянию между рамами (ок. 1,50 *м* в нормальных грунтах) или двойному расстоянию между рамами, y'—расстояние оси от продолженной хорды предыдущего сектора; s, y и y' измеряются рулеткой. Такая примерная разбивка не занимает много времени и вполне достаточна на протяжении нескольких рам, но затем требует проверки точными инструментами. По мере продвижения работ в Т. в нем устанавливаются через каждые 100 *м* каменные тумбочки с укрепленными в них деревян. колодками, на которых гвоздем точно отмечается точка, соответствующая гектометру. Кроме того через каждые 10 *м* ставятся дополнительные точки в виде сваек или забиваются гвозди в верхняках рам. Дополнительные шахты и шурфы—лучшее средство для контроля за правильностью разбивки Т. Вместо шахт и шурфов можно ограничиться пробивкой буровых скважин, к-рые заполняются бетоном. Этот прием применяется при прокладке подводных Т.

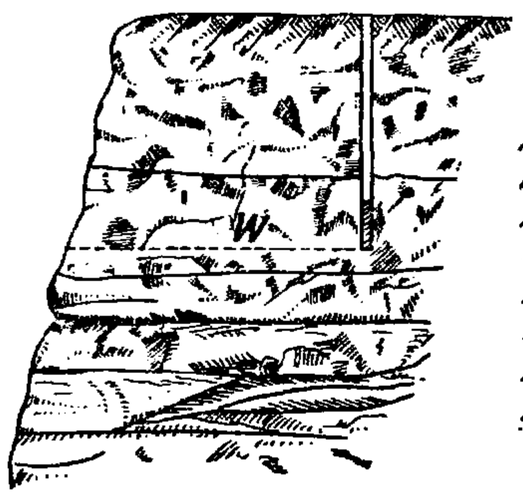


Фиг. 16.

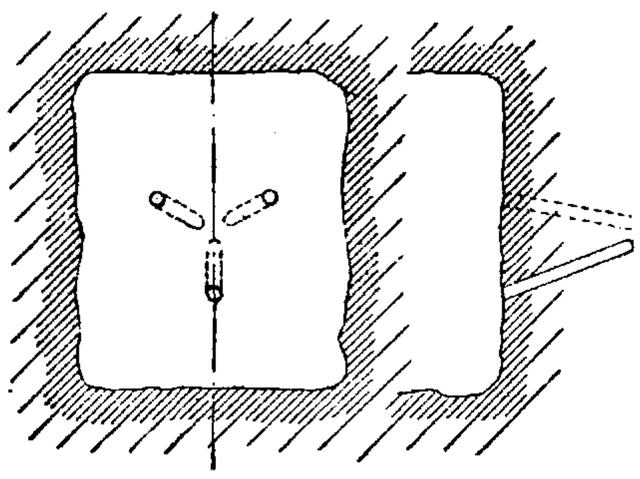
Разработка породы. При разработке породы в Т. применяется тот же инструмент, что и при работах под открытым небом. Особые условия туннельных разработок состоят в работе в стесненном пространстве и в необходимости крепить грунт, в то же время механизация разработки в Т. распространена слабо. При проходе в слабых грунтах применение каких-нибудь экскаваторов очень затруднено вследствие целого леса креплений, необходимых для работ в таких грунтах. Кроме того в общей стоимости разработки Т. выломка породы сама по себе составляет незначительную часть: все уходит на крепления, транспорт,

борьбу с водой и пр. При работах в скалистых грунтах, где не требуется больших креплений, порода разрабатывается взрывами, и экскаваторы могут служить только для погрузки в вагонетки взорванной породы. Но в последнее время во многих странах разработаны типы особых туннельных экскаваторов малых размеров, приспособленных для работы в ограниченном пространстве, напр. в Америке экскаватор Бьюсарес, во Франции Клер и пр. Эти экскаваторы могут с успехом работать в Т., где по свойству грунтов не требуется сложных креплений, а также при разработке штроссы по бельгийскому способу и при большом сечении туннеля.

В з р ы в н ы е р а б о т ы. При работе в каменистых грунтах приходится прибегать к бурению и взрывчатым веществам. Ограниченность туннельного профиля не даст возможно-



Фиг. 17.

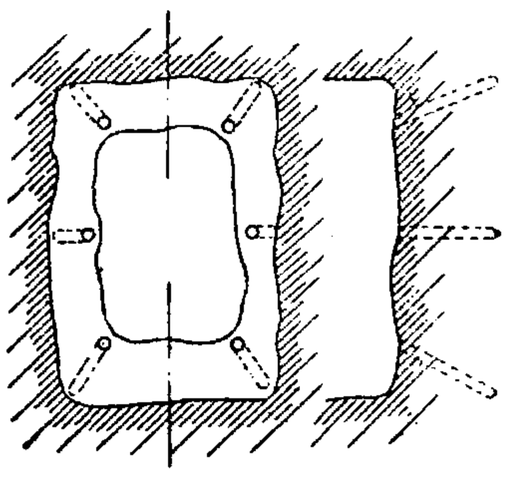


Фиг. 18.

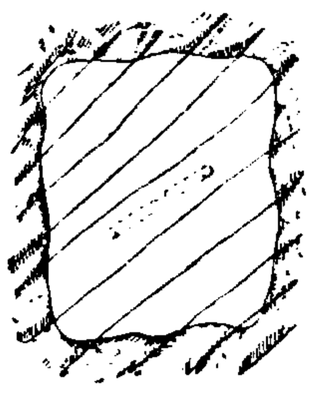
сти применять большие камерные мины и в Т. минами служат буровые скважины—шпуры. Диаметр шпуров при ручном бурении 18—40 *мм* при длине 0,30—1,20 *м*, при машинном бурении диам. 25—80 *мм* и при вращательном бурении он доходит до 100 *мм*, а глубина 1,0—1,5 *м* и м. б. доведена до 3 *м*. Зависимость между глубиной и диаметром шпуров такова:

Глубина шпуров, *мм* . .	300—500	500—800	800—1 200
Диаметр » » . .	20— 25	25— 35	35— 45

Направление шпура при одной свободной грани делается под углом к ней ок. 45°. При таком направлении прочность забойки обеспечена более, чем если бы шпур был расположен по линии наименьшего сопротивления, и кроме того направление максимальных усилий идет под таким же углом в соответствии с теоретич. направлением образующей наибольшего взрывного конуса. При двух свободных гранях шпур пробивается в одной из них параллельно

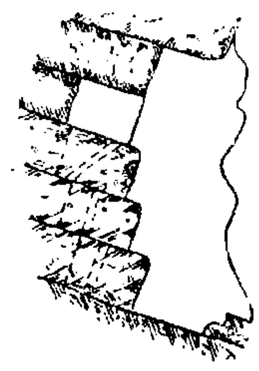


Фиг. 19.

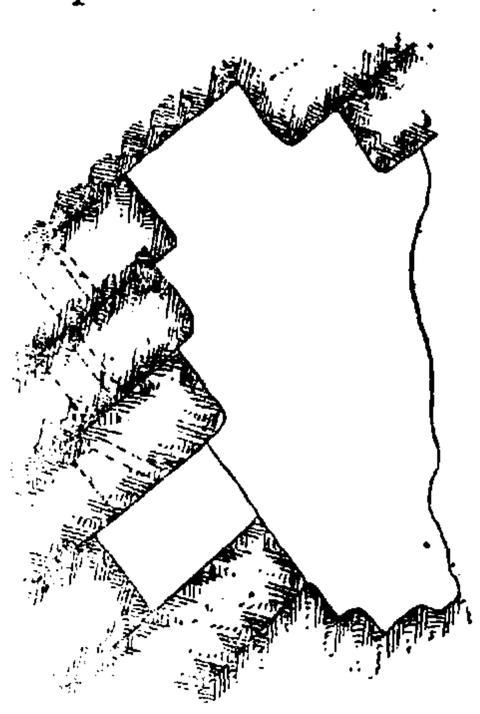


Фиг. 20.

к другой на расстоянии W от нее, называемом заложением, причем глубина шпура делается не менее заложения. Расстояние l между шпурами одного ряда делается 1,25—1,50 W, где W—заложение шпура (фиг. 17), причем при одновременном палении l м. б. доведено до 2 W. При ручном бурении сначала устраивают «вруб». Для этого в середине площади забоя пробивают концентрически три или четыре скважины (фиг. 18) и одновременно взрывают. Затем вруб расширяют последовательными взрывами по его периметру, причем при последнем ряде у стен и углов, где грунт сильнее зажат, шпуры располагают с уклоном к периферии (фиг. 19). В слоистой породе руководствуются направлением слоев. При косом направлении слоев для вруба достаточно двух скважин, параллельных направлению слоя (фиг. 20). При падении слоев по направлению к забою вруб устраивают вверху (фиг. 21), и затем слои снимаются один за другим сверху вниз. При обратном направлении слоев разработка ведется в обратном направлении (фиг. 22). В грунтах менее твердых в штольне сначала разрабатывается верхняя часть забоя, а затем вертикальными шпурами разрабатывается нижняя часть. При хрупких породах иногда возможно после устройства влома поперек всей штольни продолжать разработку вручную. При машинном бурении, когда уборка машины требует много времени, бурят сразу все скважины, а затем взрывы производятся последовательно в разных группах шпуров от середины забоя к периферии его, для чего затравки в разных группах делаются разной длины или же взрывы производят электричеством. В таком случае расход взрывчатых веществ получается больше, чем при ручном бурении, когда после каждого взрыва можно располагать новые шпуры в соответствии с результатами взрыва.



Фиг. 21.



Фиг. 22.

При бурении вручную в Т. применяется исключительно з а б о й н ы й б у р с молотком. Одноручный молоток (кианка) весит 2 — 3 *кг*; при работе вдвоем применяется молот-балда весом 5—8 *кг*. Работа одноручным буром на 30% экономичнее, чем двуручным, но зато проход двуручным буром на 50% быстрее. Работы ударным буром применяются при устройстве вертикальных шахт или вообще при разработке больших частей в вертикальном направлении. Ударный бур делается 2—3 *м* длиной и должен весить не менее 8 *кг*. Производительность ударного бура на 30% выше, чем забойного. Успех бурения зависит гл. обр. от свойств породы, затем от приборов, диаметра скважин, глубины их; от $t°$ и пр. В табл. 3 дана успешность бурения в *см/ч* для разных грунтов по Гутману.

Т а б л. 3. — У с п е ш н о с т ь р у ч н о г о и м а ш и н н о г о б у р е н и я г р у н т о в.

Грунты	Род бурения	
	ручное *1	машинное *2
Железняк	18	90
Гранит	50	200
Глинистый сланец	60	250
Известняк	70	250
Мягкий песчаник	80	300

*1 Диам. бура $d=28$ *мм*. *2 Диам. бура $d=30\div80$ *мм*.

Из табл. 3 видно, что при механич. бурении углубление шпура идет в 4 раза быстрее, причем выбуриваемый объем получается раз в 20—30 быстрее. Вопрос о применении ручного или машинного бурения можно считать решенным. Для штолен, от пробивки к-рых зависит весь успех прокладки Т., ручное бурение не рекомендуется и м. б. оставлено только для второстепенных разработок, от успеха к-рых не зависит срок окончания Т.

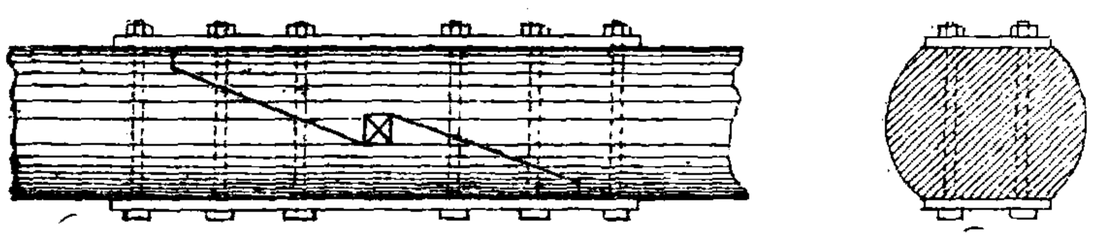
Из бурильных машин, или перфораторов, применяются пневматические, гидравлические и электрические. Паровые по гигиеническим соображениям исключаются. По характеру работы бурильные машины делятся на ударные и вращательные. Пневматич. машины бывают только ударные, гидравлические машины—вращательные, а электрические устраивают и ударными и вращательными. Употребляемые в особо твердых грунтах перфораторы для алмазного бурения (вращательные) бывают пневматические, гидравлические и электрические: первые два типа устраиваются только для разведочного бурения, а последний для бурения шпуров. При машинном бурении следует избегать долотчатых буров, к-рые легко застревают в породе. Лучшие буры—крестообразные, зетообразные и вообще со сложными головками. При вращательном бурении буры устраиваются трубчатыми. Штативы для бурильных машин, применяемых в Т., д. б. прочны и устойчивы. Различают: 1) штативы на ножках—треножники и козлы, 2) катучие штативы, 3) распорные штативы на колонках (удобные при работах в ограниченном пространстве, как в штольнях) и наконец 4) распространенные в настоящее время бесштативные машины—перфораторные молотки. Единственная применявшаяся в Т. гидравлическая бурильная машина Брандта дала прекрасные результаты в Симплоне, Арльберге, Тауерне, в Сураме и нек-рых других Т. Успех пробивки штольни в Симплоне с этой машиной доходил до 200 *м* в месяц при максимальной выработке 8 *м* в день. Достоинства машины: хорошая производительность, пробивка шпуров большого диаметра (6—10 *см*) на большую глубину (2—3 *м*), бесшумность работ, легкий уход за машиной, использование отработанной воды для промывки скважин и конденсации газов после взрывов, получение неразрушенными через трубчатые буры образцов скалы в виде цилиндриков. Недостатки машины: высокая стоимость самой машины, также компрессорных установок и разводящих труб с водой под большим давлением (50—150 *atm*), большой расход энергии, большая тяжесть (до 250 *кг*), затрудняющая уборку ее перед взрывами, возможность работать при колонках только в тесном пространстве. Эти свойства ограничивают применение машины Брандта только для прокладки штолен в очень твердой скале и в длинных Т. Пневматические перфораторы наиболее распространены в туннельном деле. Они работают обычно при давлении воздуха 3—7 *atm*. Их достоинства: побочное вентилирование и охлаждение Т. отработанным воздухом, дающее иногда возможность обходиться вовсе без вентиляции, небольшой сравнительно вес (50—150 *кг*), позволяющий легкую уборку их перед взрывом, простота ухода, небольшая стоимость ремонта, возможность использования сжатого воздуха для других целей, не прибегая к новым компрессорным установкам (для нагнетания раствора за кладку, для торкретирования, для пневматич. молотков, для откачки воды и пр.). Недостатки: большой шум, раздражающий нервы рабочих, сравнительно высокая стоимость первоначальной установки (хотя и меньшая, чем для гидравлических машин), большой расход энергии. Сильное распространение получили в последнее время перфораторные молотки без штативов, очень портативные и небольшого веса (5—16 *кг*) с частотой ударов до 800—2000 в мин. Электрические перфораторы получили в настоящее время значительное распространение при прокладке Т. Главные их достоинства: легкая дешевая проводка на далекое расстояние и большой кпд. Недостаток—высокая стоимость ремонта вследствие быстрого износа трущихся частей. В электропневматическом перфораторе Ингерсоль-Ранд устранены недостатки чисто пневматич. перфораторов.

К взрывчатым веществам предъявляют особые требования. Прежде всего при ограниченной поверхности забоя действие взрыва на породу слабее, чем при открытых работах, а потому для Т. требуются более сильные взрывчатые вещества. Затем в Т. более чем на открытом воздухе опасны последствия вредных газов. Поэтому многие взрывчатые вещества, выделяющие в большом количестве вредные газы, д. б. исключены. Для туннельных работ применяются почти исключительно динамиты, т. е. препараты нитроглицерина, как кизельгур-динамиты, целлюлозный динамит, пироксилин. Жидкий воздух, нашедший себе удачное применение при взрывных работах на открытом воздухе, дает после нек-рых усовершенствований, ограничивающих быстрое улетучивание кислорода из патрона и обеспечивающих поэтому полное сгорание углерода в патроне, хорошие результаты при взрывных работах в Т.

О с в е щ е н и е Т. Для освещения Т. при постройке раньше применялись масляные лампы с разными растительными маслами. Керосин обычно исключается, как дающий много копоти. При опасности встречи с воспламеняющимися газами (светильный и др.) для освещения пользовались особыми шахтерскими лампочками. Лучше всего применять электрическое освещение. Работа при ярком электрич. свете, не портящем воздуха и безопасном при встрече с воспламеняющимися газами, по своей продуктивности с избытком искупает расходы по установке электрич. освещения, помимо того, что электрич. освещение является единственно безвредным для здоровья работающих в Т.; поэтому только при очень малых Т. позволительно от него отказываться. При эксплоатации длинные ж.-д. и прочие Т., обслуживающие транспорт, должны освещаться для лучшего надзора за ними, причем особо яркого освещения не требуется, и вообще д. б. приняты меры, чтобы лампочки не мешали видимости сигналов. Хорошо размещать лампочки против ниш, что облегчает обслуживающему персоналу при подходе поезда быстро находить ниши. Для обеспечения беспрерывности освещения устраивают, особенно в городских Т., по всему Т. две независимые друг от друга проводки с питанием от различных источников.

Т р а н с п о р т п р и т у н н е л ь н ы х р а б о т а х. Для удаления разработанной породы и доставки материалов в Т. укладываются рельсовые пути обычно узкой колеи 600—1 000 *мм*. При разработке штольни и калотты в Т. для перевозки грунта пользуются обычно вагонет-

ками дековилевского типа или специальными рудничными вагонетками; для транспорта же больших масс служат деревянные или железные вагончики с откидывающимися боками или опрокидывающимися кузовами емкостью 3—10 $м^3$, составляемые в поезда. В штольнях вагонетки из-за тесноты проталкиваются людьми, но только до места расширения Т., откуда они продвигаются дальше конной или механич. тягой. Конная тяга применяется только в самом начале разработки или в коротких Т. Паровая тяга еще до последнего времени была сильно распространена при туннельных работах несмотря на сильную порчу воздуха от дыма паровозов. В нек-рых случаях применялись особые паровозы с перегретым паром без топки (сист. Ламма и Франка) или с топкой, но с котлом большой вместимости (сист. Краусса), причем при проходе в Т. огонь в топке прикрывается. Такого рода паровозы работают с небольшими скоростями и на короткое время и все же портят воздух в Т., нагревая его. Сильное распространение в туннельных работах теперь получили локомотивы с двигателями внутреннего сгорания (бензиновозы), но они тоже отравляют воздух и требуют усиленного вентилирования туннеля. Полное удовлетворение в отношении чистоты воздуха в Т. дают локомотивы со сжатым воздухом под давлением 100—200 atm. Отработанный воздух способствует вентиляции Т. Производительность этих локомотивов однако слаба. Наилучшее решение представляет электрич. тяга с применением особых низких электровозов туннельного типа. Для подъема грунта через шахты применяются особые подъемные механизмы.

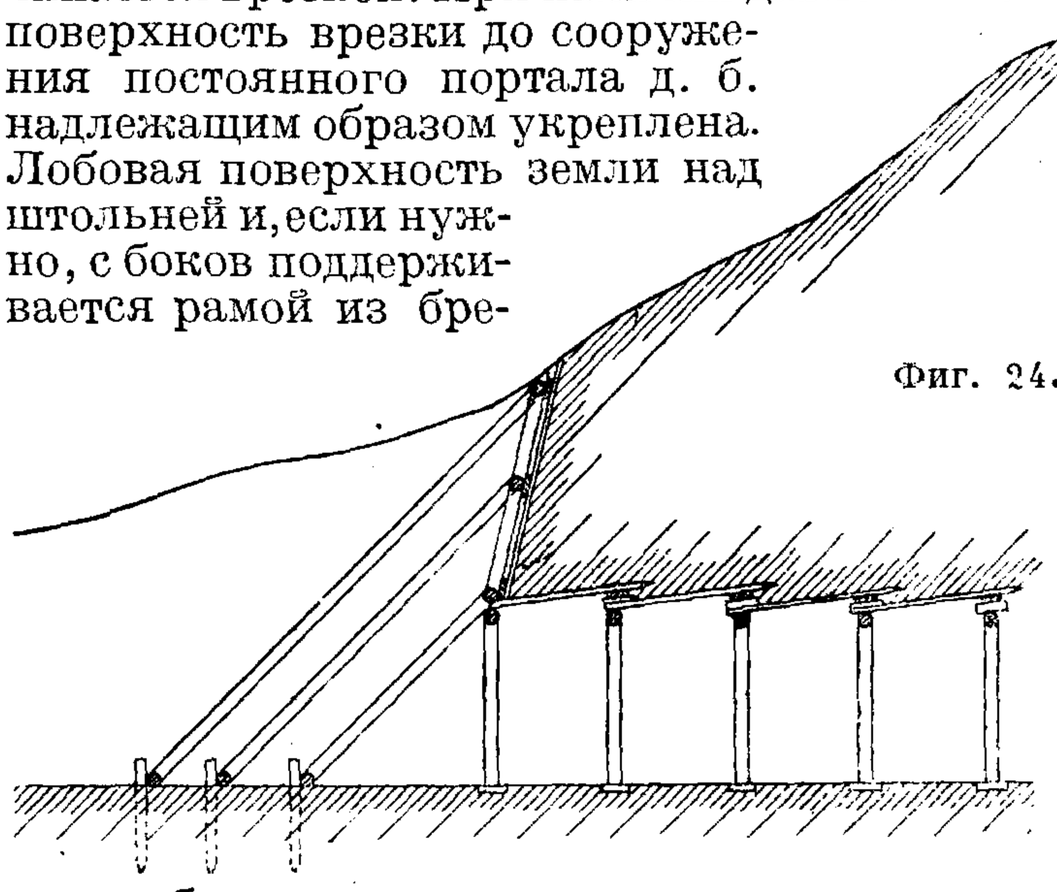


Фиг. 23.

При небольших количествах пород, извлекаемых из Т., употребляются наиболее простые подъемные механизмы, как например ручной ворот. При большой глубине и большом количестве извлекаемого грунта ставят лебедки, приводимые в действие двигателями, и над шахтой строят вышки подъемных механизмов и эстакады с бункерами.

Д е т а л и к р е п л е н и й. Для крепления употребляется преимущественно еловый или сосновый лес в виде бревен, пластин, досок, горбылей и накатника; дубовый лес имеет тот недостаток, что ломается сразу, не давая предварительно прогибов, тогда как еловый или сосновый лес перед разрушением сильно деформируется, предупреждая т. о. своевременно о грозящей опасности. Т. к. крепи в Т. имеют временный характер, постоянно разбираются, заменяются, перемещаются и работы ведутся в стесненном пространстве и при искусственном освещении, то все соединения составных элементов крепления и врубки делаются возможно проще (см. *Рудничное крепление*). Для возможности свободного манипулирования среди леса креплений части крепей делаются небольшой длины. Только для продольных бревен, л о н г а р и н, укладываемых параллельно оси Т. (что облегчает их протаскивание), употребляется лес нормальной длины. При соединении двух бревен в одном направлении стык делается в полдерева, а для ответственных частей, как швеллеры, применяются врубки простым или сложным зубом (фиг. 23). Железные связи для креплений применяются самые простые: скобы, железные полосы, железные накладки с болтами и т. п. Гвоздей, как затрудняющих разборку крепей, следует избегать.

В р е з к а. Пробивка Т. в массиве горы начинается врезкой. При наличии давления земли поверхность врезки до сооружения постоянного портала д. б. надлежащим образом укреплена. Лобовая поверхность земли над штольней и, если нужно, с боков поддерживается рамой из бре-



Фиг. 24.

вен, забранных со стороны земли досками толщиной 5—10 $см$. Раму поддерживают бревенчатые контрфорсы, упирающиеся через схватки в сваи (фиг. 24). Размеры и система креплений врезки меняются в зависимости от давления и расположения бокового откоса.

Ш а х т ы в поперечном сечении бывают прямоугольными, многоугольными или круглыми. Многоугольные и круглые шахты устраиваются реже и больше для вспомогательных целей (спуск материалов, вентиляция). Для подъема грунта и прохода людей шахты обычно устраивают в виде прямоугольника, разделенного стенкой на две неравные части. В меньшей части располагается лестничная клетка для людей, а бо́льшая служит для подъема извлекаемого грунта и спуска материалов. Обычно бывает достаточно дать в плане размеры 2,50×5,00 $м$, считая в том числе на лестничную клетку 2,50×1,50 $м$. Кроме случаев твердых скалистых грунтов стены шахты не могут оставаться без креплений. Они м. б. рубленными из дерева, как в обыкновенных колодцах, при этом их лучше делать из брусьев с венцами, рубленными в прямую лапу в полдерева. В мелких шахтах стены рубят даже из досок. В необходимых случаях для придания большей связи между венцами их связывают в углах вертикальными брусьями или бревнами, называемыми в а н д р у т а м и. Вандруты при сильном давлении на стенки распирают поперечинами и раскосами. В грунтах, не обнаруживающих давления, звенья можно класть с нек-рыми промежутками друг от друга, связывая их в углах вандрутами. В слабых грунтах и при наличии давления применяется так называемая «забивная крепь». В этом случае разработка шахты ведется под защитой особых

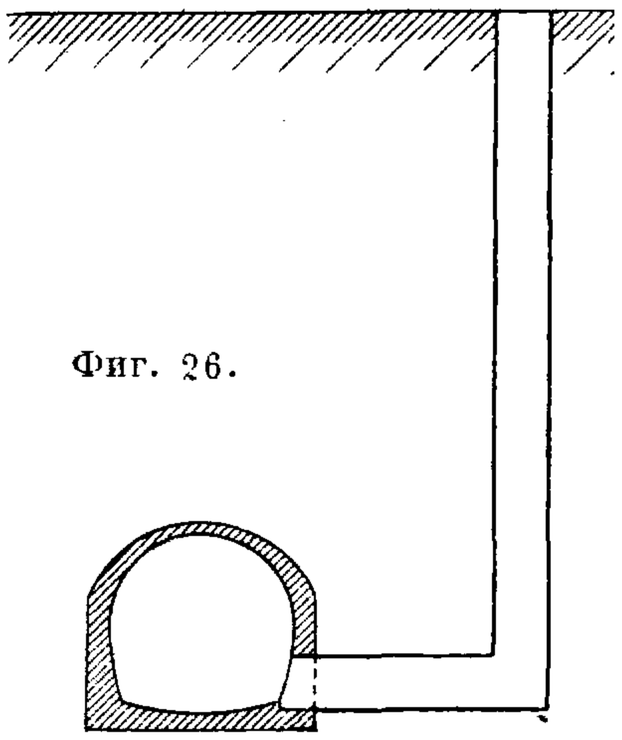
Фиг. 25.

досок, забиваемых в грунт за венцами (фиг. 25) под нек-рым наклоном к вертикали. Заостренные внизу доски вгоняются в грунт между бревнами венца и досками предыдущего звена, причем доски предыдущего звена поддерживаются на уровне венца поперечной доской—филатой. Между филатой и последующим рядом досок забивают клинья, прижимающие доски к грунту. Под прикрытием забитых досок грунт в шахте выбирают, а доски по мере разработки грунта забивают глубже, по меньшей мере на 10—20 *см* ниже забоя. Расстояние между венцами делают 1,5 *м* при длине досок 2 *м*; в слабых грунтах венцы сближают больше. Толщина досок 4—$7^1/_2$ *см*. При сильном давлении в плывунных грунтах приходится укреплять досками и дно шахты. Для отвода воды, набирающейся в шахте, на дне ее устраивают сточный колодец. Если шахта должна работать долгое время и приток воды в шахту через стены значителен, то стены шахты и сточный колодец обкладывают каменной кладкой. Размеры леса для креплений шахты по Макензену приведены в табл. 4.

Табл. 4. — Размеры лесного материала для крепления шахты.

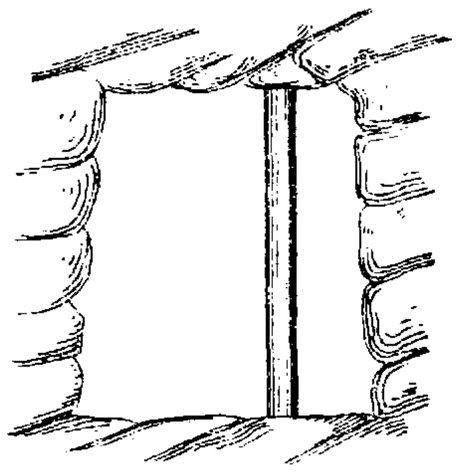
Обозначение частей	Порода				
	твердая	ломкая	мягкая	сыпучая	плывун
Расст. между венцами, *м*	2,00	1,60	1,30	1,00	0,60
Венцы, диаметр, *см* .	20	20	25	30	35
Распорки, диаметр, *см*	20	20	20	25	30
Вандруты, диаметр, *см*	20	20	25	30	30
Стойки, диаметр, *см* .	15	15	20	20	20
Доски, толщ., *см* . .	4—6,5		—	—	—

Во франц. практике для мягких и сыпучих грунтов расстояние между венцами делается 1,5 *м*. Шахты располагают б. ч. по оси Т., иногда же несколько в стороне, соединяя их в таком случае особой боковой штольней с Т. (фиг. 26). Расположение шахты над осью Т. позволяет производить точную проверку правильности разбивки Т. и более содействует его вентиляции, а боковое расположение более безопасно для работающих в туннеле. Глубокие шахты, а также шахты, проходимые в плывунах, отличаются по приемам проходки и по материалам обделки (см. *Шахты*).

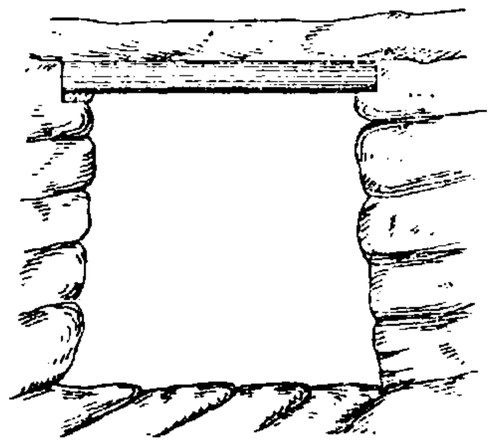


Фиг. 26.

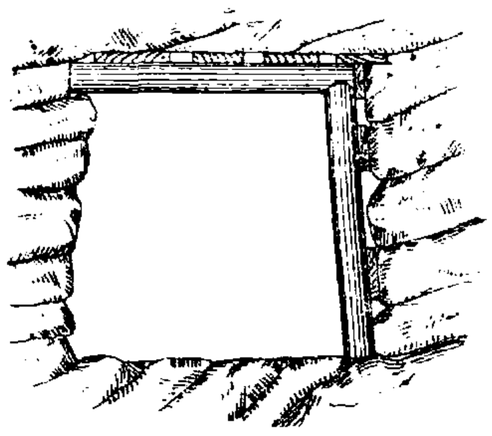
Ш т о л ь н я—галлерея небольшого поперечного сечения, прокладываемая обычно в начале туннельной разработки. Штольни бывают прямоугольного или трапецоидального очертания. Последние встречаются чаще. Т. к. в разработке Т. штольня обходится дороже остальных работ, то размеры штольни по возможности ограничивают, исходя только из необходимости свободного прохода людей, пропуска вагонеток с материалами и прокладки вентиляции и прочих трубопроводов. Возможное уменьшение размеров штольни особенно необходимо при проходке в грунтах, оказывающих давление, т. к. давление на крепи увеличивается с размерами разработки. Обычно размеры штольни колеблются сл. обр.: ширина в потолке 1,5—3,0 *м*, внизу 2,0—3,5 *м*, высота 2,0—3,5 *м*. Наиболее опасным местом штольни является потолок. В каменистых устойчивых грунтах можно обходиться без креплений, подхватывая только отдельные грозящие падением глыбы скалы стойками (фиг. 27) или подхватными брусьями (фиг. 28), укладываемыми в гнездах, устраиваемых в скале. В более слабых грунтах подхватные брусья кладутся на одну или две стойки (штендеры), образуя крепь «глаголем» (фиг. 29) или «дверным окладом» (фиг. 30) с обычными врубками и креплением скобами. Подхватный брус в таком случае называют «верхняк» или «маточник», а также иногда «притолок», «капелла» или «каппа». В скалистых грунтах штендеры устанавливают в лунках. В слабых грунтах под них подкладывают подушки, передающие давление на более значительную площадь, или же под оба штендера подводят общий порог из круглого леса, отесанного на два канта (фиг. 31). В последнем случае получается крепь «оконным окладом» или полным дверным. Смежные рамы штольни распираются между собою в верхней части особыми распорками, называемыми «рошпанами» или просто «шпанами»; при длинных штендерах на высоте их кладут еще дополнительные шпаны, а штендеры одной и той же рамы распираются вверху еще «расколотами». Расстояние между рамами делается обычно 1,5 *м* и не превышает 2 *м*, но при более сильном давлении рамы сближаются между собою до 0,6 *м*, а иногда настолько, что штольня состоит из сплошного ряда рам, особенно если штольня имеет постоянный характер (дренаж и пр.). При проходе в грунтах менее устойчивых в потолке за верхняк раскладывают доски для поддержания грунта от осыпания. В случае надобности досками забирают также и боковые стенки штольни за штендерами. Загонка досок за верхняк после установки рам практикуется только в грунтах, к-рые могут держаться некоторое время, не деформируясь и не осыпаясь.



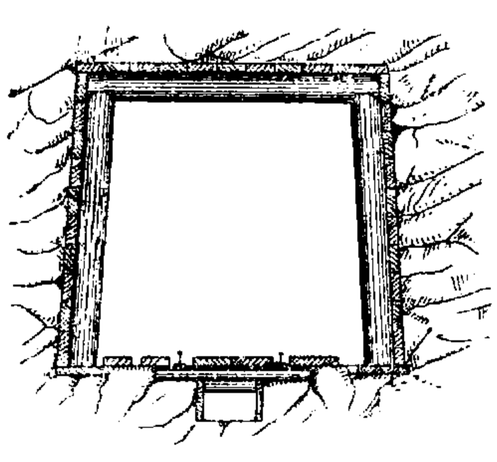
Фиг. 27.



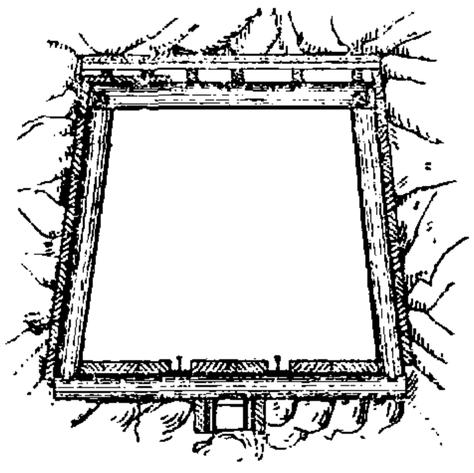
Фиг. 28.



Фиг. 29.

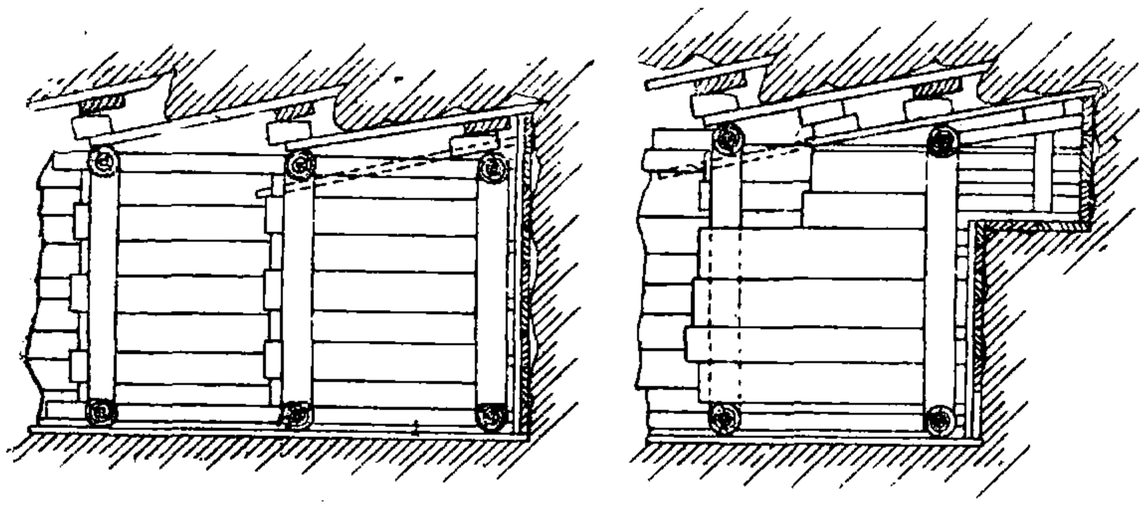


Фиг. 30.



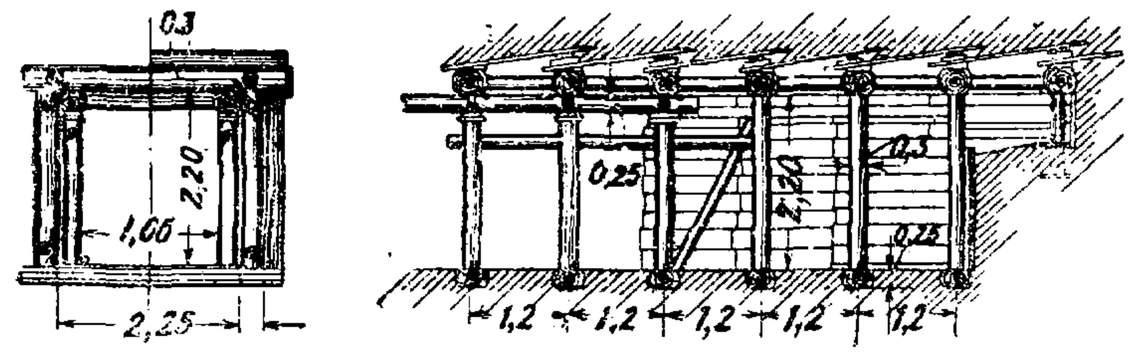
Фиг. 31

В грунтах, более слабых и осыпающихся, приходится подпирать досками потолок, а иногда и стены по мере разработки штольни. Доски, называемые «марчеванками» (от итал. marci avanti—иди вперед), загоняются ударами молота вперед в грунт (1 *м* на ~30 *см* в слабых грунтах). Ряд марчеванок спереди подхватывается



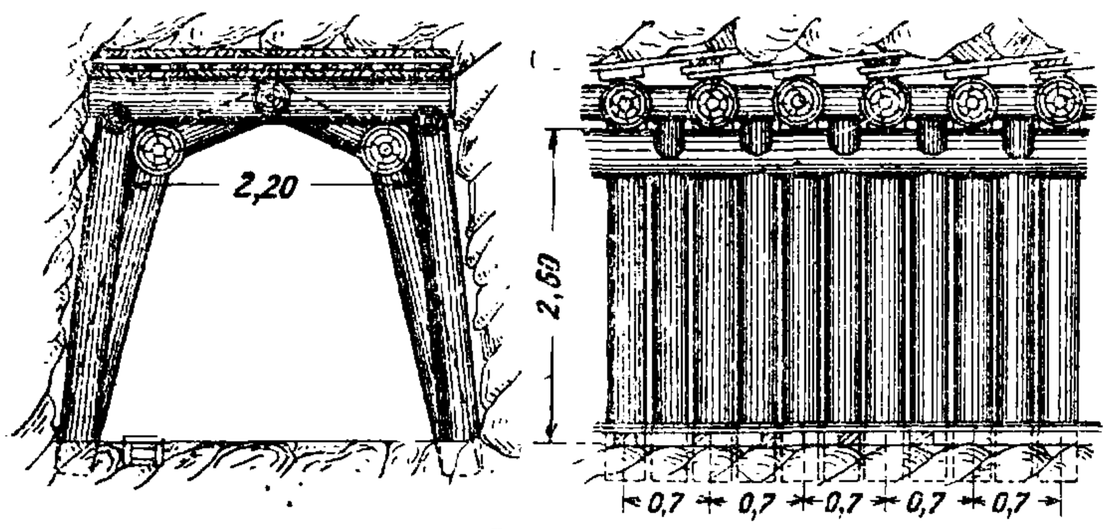
Фиг. 32.

особой поперечной доской—«филатой» (фиг. 32), к-рая плотно прижимает марчеванки к грунту посредством клиньев. Вначале по окончании звена и установки рамы вгоняют временно особые филатные клинья между филатой и верхняком рамы. Затем в промежуток между филатными клиньями загоняют марчеванки следующего звена и между ними и филатой



Фиг. 33.

новые клинья меньших размеров, после чего филатные клинья выбивают и на места их заводят марчеванки, образующие с прежде забитыми между филатными клиньями марчеванками сплошной настил нового звена потолка. Таким же образом крепятся, если нужно, и бока штольни. Марчеванки потолка по мере



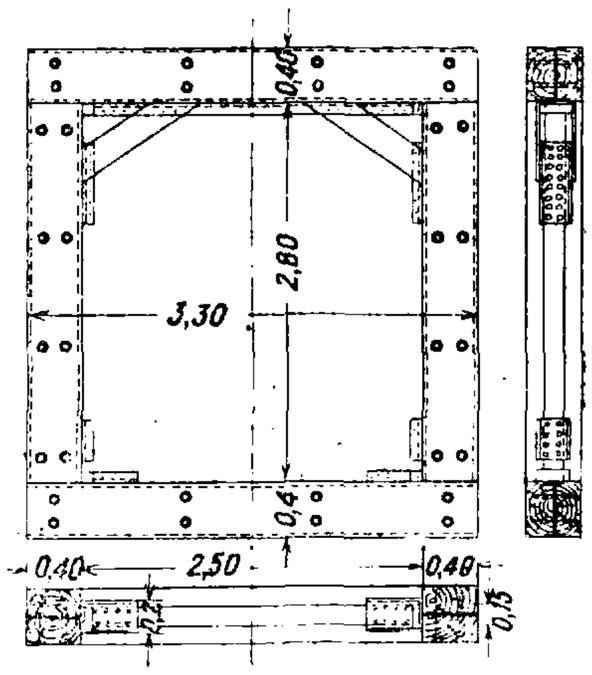
Фиг. 34.

продвижения их вперед и удаления под ними грунта подпирают через временные филаты особыми временными подпорками, «мальчиками», а сзади распирают клиньями между старым и новым рядом марчеванок. При очень слабых грунтах из опасения выплывов приходится крепить досками и самый забой штольни. В таком случае доски забоя поддерживаются филатами, которые распирают особыми распорками, упирающимися в штендер и мальчики. При очень сильном давлении под рамы штольни устанавливаются «подхваты», или «унтерцуги». Подхваты состоят из длинных прогонов (лонгарин), поддерживающих сразу несколько верхняков рам и подпертых стояками (штендерами). Штендеры подхватов иногда ставят в одной плоскости с рамами штольни, как в Симплонском Т. (фиг. 33), иногда же в промежутках между рамами штольни, как в Караванкенском Т. (фиг. 34). Внизу штендеры опираются на пороги иногда через посредство прогонов. Вверху лонгарины распираются шпанами. Для лучшей передачи давления штендеры подбивают клиньями. Размеры леса для крепления штольни по Макензену приведены в табл. 5.

Табл. 5.—Размеры лесного материала для крепления штольни.

Обозначение частей	Порода				
	твердая	ломкая	мягкая	сыпучая	плывун
Расстояние между рамами, *м*	2,0	1,5	1,0	0,8	0,6
Верхняк, диам., *см* .	15	20	25	30	35
Штендеры, диам., *см* .	15	20	25	30	35
Шпаны, диам., *см* . .	12	12	15	18	30
Доски, толщ., *см* . .	4—3,5		—	—	—

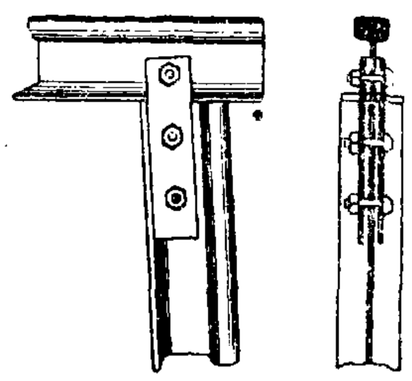
По франц. нормам расстояние между рамами в сыпучих грунтах до 1,50 *м*, причем ставятся дополнительные рамы, если условия давления этого требуют. При проходе в плывунных грунтах принимаются меры против утечки грунта через потолок и стены штольни. Для этого марчеванки проконопачивают и иногда припазовывают. В сильно плывунных грунтах потолок и стены обшивают второй опалубкой с забивкой промежутка между обеими опалубками сеном, соломой или другими фильтрующими материалами. В таких грунтах приходится зашивать досками также и пол штольни, причем доски загоняют под порог штольни. Крепление калотты и остальных частей Т. зависит от способа разработки Т.; поэтому их описание дано ниже вместе с описанием разных способов разработки туннелей.



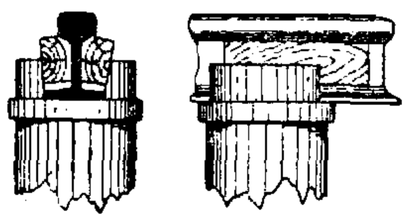
Фиг. 35.

Железные крепления в туннельном деле распространены сравнительно незначительно, хотя и было много попыток заменить при сильных давлениях дерево железом, к-рое меньше загромождает Т. Причины заключаются в том, что трудно заранее предуказать наружные очертания выломки Т., так как типы Т. меняются в зависимости от характера породы и давления. Наибольшее применение железные крепления нашли при прокладке штолен, поперечный профиль к-рых не изменяется. На фиг. 35 показана железная рама штольни, применявшаяся на трудном участке Симплонского туннеля. Очень часто рамы для штолен устраиваются из старых рельсов, причем штендеры соединяются с верхняками, как показано на фиг. 36,

или же вся рама делается из цельного гнутого рельса. Иногда рама составляется из деревянных штендеров и рельсового верхняка, соединяемых, как показано на фиг. 37. В нек-рых случаях не только рамы, но и марчеванки делают железными (горный туннель Коль-ди-Тенде, телефонный туннель в Париже и пр.). Иногда при



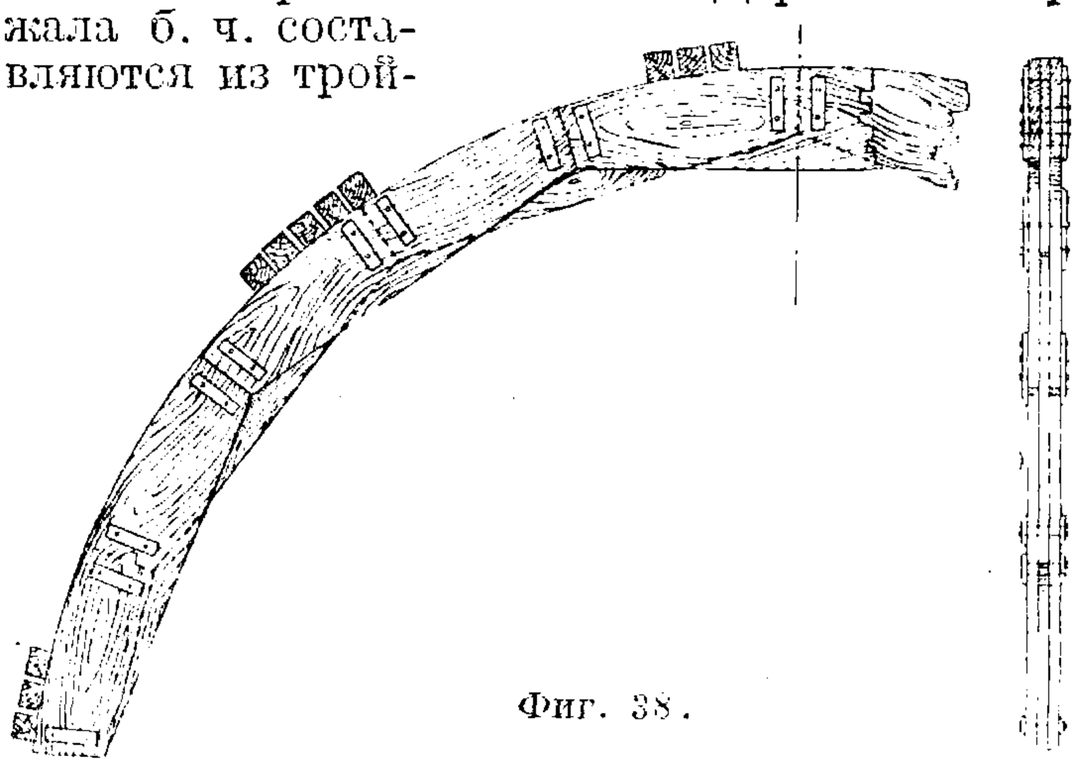
Фиг. 36.



Фиг. 37.

деревянных рамах, поддающихся деформациям от давления, устраивают железные унтерцуги (Симплонский туннель).

К р у ж а л а. Системы кружальных ферм для кладки обделки Т. неразрывно связаны со способом разработки Т. и потому излагаются при описании соответствующей разработки. Следует только отметить более частое, чем для креплений, применение железа для кружальных ферм, что объясняется тем, что внутреннее очертание Т. редко меняется, и потому кружальные фермы м. б. стандартизованы и применяться в разных местах Т. Деревянные кружала б. ч. составляются из трой-

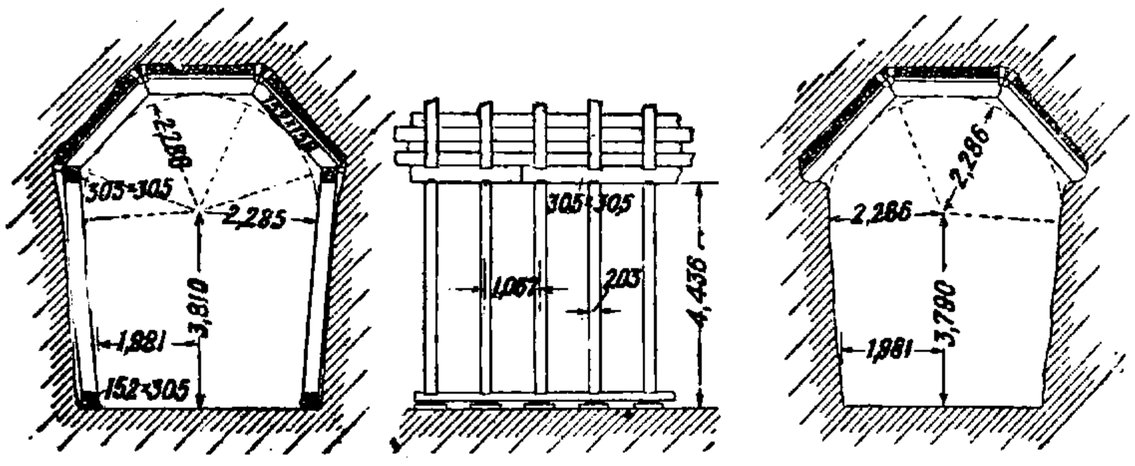


Фиг. 38.

ного ряда досок толщиною 5—8 *см*, скрепленных вместе железными планками и болтами (фиг. 38). Опалубка делается из брусков толщиной ок. 8 *см* и кладется по мере возведения кладки от пят свода.

О б д е л к а Т. выполняется из бетона, бутовой кладки, бутовой кладки с прокладными рядами, кладки из тесовых камней или бетонитов, кирпичной кладки, железобетона; применяется также металлич. обделка и деревянная обделка. Б е т о н в Т. применяется преимущественно для обратных сводов или лотков, а также для стен. Бетонирование сводов горных Т. при работе изнутри затруднительно, и допустимо лишь при отсутствии горного давления, могущего сжимать свод в процессе его отвердевания; поэтому для туннельных сводов бетон применяется сравнительно редко, за исключением случаев, когда свод выполняется сверху в открытом котловане, что встречается иногда в городах, или при щитовой разработке Т. Б у т о в а я к л а д к а очень распространена для туннельных работ. При разработке Т. в горной местности хороший бутовый камень часто находится вблизи работ и представляет собою недорогой материал. Многие строители рекомендуют вести бутовую кладку в туннельных сводах без тщательной расщебенки, а плотно заполняя все пустоты раствором. Благодаря этому кладка ведется быстрее (что для туннельных работ имеет большое значение) и кроме того такая кладка лучше сопротивляется растягивающим усилиям. Количество раствора в кладке в таком случае несколько превышает 50%. При таком преобладающем значении раствора в бутовой кладке необходимо только обеспечить, чтобы прочность камня была не ниже прочности цементного раствора. Особое внимание д. б. обращено на сцепление камня с раствором. Породы камня с гладкой поверхностью, хотя бы и прочные, не годятся. При кладке из т е с о в ы х к а м н е й можно допускать сравнительно большие напряжения (на сжатие), и потому к этой кладке прибегают при наличии сильного горного давления. Очертания туннельного свода при этом д. б. запроектированы т. о., чтобы он работал гл. обр. на сжатие, т. к. своды из тесовых камней слабо сопротивляются растягивающим усилиям (в швах). Разрушение нек-рых сводов большого Ровского Т. (для канала между Марселью и Роной) показывает, что в известных случаях, когда в своде доминирующее значение имеют растягивающие напряжения, бутовая кладка м. б. даже прочнее кладки из тесовых камней. Кладка из б е т о н и т о в ы х к а м н е й применяется в тех же случаях, как и из тесовых камней, когда по местным условиям заготовка тесовых камней затруднительна. Иногда для большей сопротивляемости (на сжатие) отдельные бетониты еще армируются внутри. В последнее время в Германии появился тип обделки из бетонных сегментов с прокладкой свинцовых листов и соединенных друг с другом штырями, причем каждый штырь одним концом заделан плотно в бетонит, а другим может скользить по железной трубочке, заделанной в соседний бетонит. Такое устройство придает всей системе известную гибкость, лучше передает сжимающие усилия, обеспечивая в то же время бетониты от скольжения по радиальной плоскости. П р о к л а д н ы е р я д ы из штучных тесовых или бетонитовых камней укладываются в бутовой кладке в наиболее ответственных частях свода, где можно ожидать больших сжимающих напряжений, преимущественно в замке и в пятах, иногда и в промежутках. Полезность прокладных рядов многими оспаривается. Растягивающим усилиям они сопротивляются слабо. К и р п и ч н а я к л а д к а раньше была очень распространена при сооружении Т. не только горных, но и подводных (туннель Брюнеля под Темзой). Затем после нескольких неудачных опытов с плохим кирпичом она была заброшена. В последнее время она снова нашла себе применение в туннельном деле в Германии, Италии и отчасти во Франции. Для туннельной обделки лучше применять хороший клинкер, обожженный до спекания, непористый (способность впитывать воду должна быть не свыше 2%). Преимущество применения кирпича заключается в том, что он не требует никаких приспособлений для подъема, и при развитии кирпичного производства в стране может быть легко всюду получен. При сводах значительной толщины кирпичную кладку иногда ведут концентрическими кольцами без перевязок, чтобы избежать больших швов у наружной поверхности свода. Такой способ однако нельзя рекомендовать. Разрушение кирпичной обделки в туннеле Ронко (Италия) приписывается именно этому способу кладки.

При кирпичных сводах большой толщины для выравнивания кладки лучше вставлять в нее местами клинообразные прокладные ряды и вести ее с перевязкой. Решением является также применение лекального кирпича. Железобетон для обделки горных Т. применяется сравнительно редко. Там, где при сильных давлениях железобетонная обделка была бы особенно желательна, она к сожалению и наименее осуществима вследствие сложного леса креплений, заполняющего иногда до 50% объем туннельной разработки и чрезвычайно затрудняющего укладку арматуры. Поэтому для железобетонной обделки в Т. больше применяется жесткая арматура сист. Мелана как более удобная для сборки в Т. При каменных и бетонных обделках (имеющих наибольшее распространение) особое внимание д. б. обращено на химич. свойства камня. Бывали случаи разрушения каменной обделки Т. из-за употребления камня, очень прочного при выломке и превращавшегося в глинообразную массу через несколько лет (многие порфиры). Искусственный песок, приготовляемый из такого камня, также разрушается в кладке. Для раствора в кладке Т. уже давно отказались от обыкновенной извести и применяют исключительно гидравлич. растворы из цемента, особенно портландского, или особых сортов гидравлич. извести. Последнее время за границей стали распространяться для туннельных работ шлаковые и пуццолановые цементы, имеющие перед портланд-цементами помимо меньшей стоимости еще то преимущество, что они лучше сопротивляются разъедающему действию к-т в случае наличия их в грунтовой воде. Металлические обделки, главным образом из чугуна, реже из стали, применяются почти исключительно в подводных Т. при работе щитом и встречаются еще в тюбах лондонского мет-



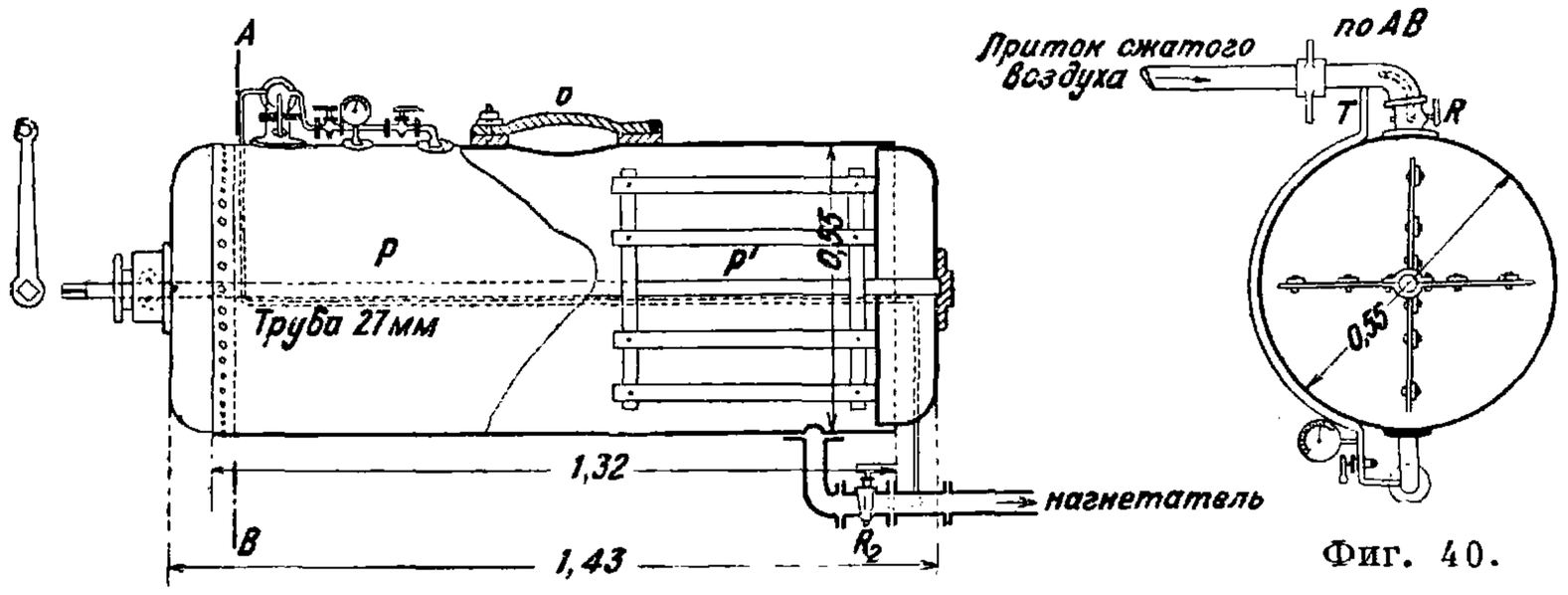
Фиг. 39.

рополитена. Описание их дано ниже. Деревянная обделка применяется редко и только в Америке. Такая обделка представляет собою ряд рам из коротких деревянных брусьев. У стен ставят вертикальные брусья, а свод образуется тремя брусьями в виде трапеции или пятью брусьями в виде пятиугольника. Рамы ставят вплотную друг к другу или на некотором расстоянии, закладывая за них доски. В углах рамы схватываются между собою продольными брусьями (фиг. 39).

Разрушение кладки водой с химическими примесями. Грунтовые воды, содержащие разного рода к-ты или сернокислые соли, разрушающе действуют на кладку, особенно на раствор. Достаточно 0,2% (или 2 *г* на 1 *л* воды) содержания сернокислых солей, чтобы сказалось их разрушительное влияние на кладку (Римонский туннель на линии Сен-Жирон-Фуа, Бельвильский в Париже и многие другие). Поэтому помимо геологич. обследований напластования над Т. и вблизи его надлежит производить тщательные анализы воды в тех слоях грунта, где прокладывается Т. Для предохранения туннеля от действия воды рекомендуется прикрывать обделку его с наружной стороны оклеечной изоляцией, т. е. несколькими слоями гудронированного войлока, хлопчатобумажной ткани или толя с промазкой их горячим гудроном или прокладкой асфальтовых слоев. Такого рода изоляция применяется в Т., сооружаемых в открытых котлованах, как напр. в нек-рых городах; но в Т., прокладываемых обычным туннельным способом на крепях, применение ее затруднительно. В таких случаях при желании обеспечить свод подобной изоляцией сначала устраивают особый защитный свод, под к-рым уже совершенно свободно без крепей на одних только кружалах возводится новый свод с прокладкой оклеечной изоляции. Если с течением времени под химическим действием воды наружный (верхний) свод Т. будет разрушен, то новый свод под оклеечной оболочкой останется нетронутым. Пример—тип Т. на Южно-французских ж. д. (в Париже) при встрече с грунтовыми водами, содержащими сернокислые соединения (фиг. 50). В качестве изоляции от воды применяется также кладка из хорошо обожженного плотного клинкера, иногда на асфальте вместо раствора. Устраивается также изоляция из свинцовых листов. Кроме того за границей нашли широкое употребление особого рода кислотоупорные цементы, специально заготовляемые нек-рыми фирмами и составляющие их секрет. Нагнетание цементного раствора за кладку также до известной степени предохраняет кладку от химич. действия воды с содержанием сернокислых соединений, особенно если для нагнетания применяются специальные цементы.

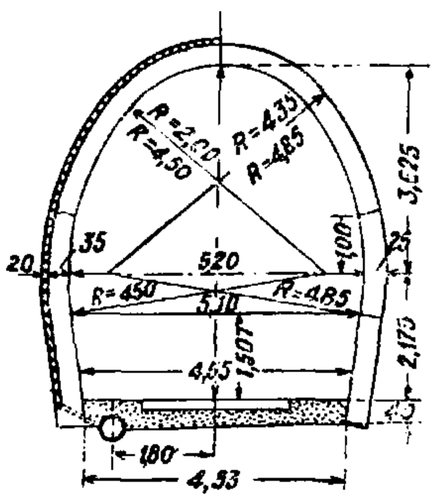
Влияние мороза. В странах с холодным климатом мороз при известных условиях разрушающе действует на Т. Находящаяся в кладке вода, проникающая в нее из грунта или путем конденсации паров, замерзая, разрывает кладку, расслаивая ее и отрывая от нее куски цементной штукатурки и целых камней, не говоря о том, что известные породы камня совершенно не выдерживают периодич. замораживаний и оттаиваний и потому не должны допускаться в кладку. Первой мерой против разрушающего действия мороза на кладку служат предохранение ее от воды (см. выше), подбор надлежащих морозоупорных материалов и наконец общее отепление туннеля. Мороз действует не только на кладку, но и на грунт за кладкой, если он пропитан водой и если толщина кладки недостаточно предохраняет его от замораживания. Мокрый грунт, замерзая, оказывает давление на кладку и вызывает в ней определенные деформации. При небольшой толщине промерзающего слоя грунта деформации эти незначительны и остаются в пределах упругости кладки, и если при этом грунт не оказывает на обделку туннеля активного давления, то при оттаивании все элементы кладки вновь возвращаются в прежнее положение. Туннельная обделка как бы «дышит», стенки зимой сближаются (гл. обр. по середине), а летом отходят в прежнее положение. Такое движение стенок м. б. обнаружено иногда только точным измерением расстояний между ними в определенных местах. Если грунт оказывает активное давление на стенки, то обратное движение стенок в прежнее свое положение становится невозможным, т. к. грунт под дав-

лением следует за стенкой при ее выпучивании, для обратного же движения оказывает ей значительное пассивное сопротивление. Т. о. если и имеется нек-рый обратный отход, все же после каждого зимнего сезона остается некоторое остаточное выпучивание, к-рое, накопляясь с годами, становится значительным и явно видным на-глаз. В стенках появляются сначала волосные, а затем уже вполне заметные продольные трещины, кладка разрушается и все состояние обделки становится угрожающим. Такие же явления наблюдаются и при отсутствии активного давления, если протяжение промерзающего слоя велико, и при напоре замерзающего слоя земли напряжения в кладке стен превосходят пределы упругости кладки. Мороз при этом изменяет иногда и самую консистенцию грунта; напр. плотная, ло́мовая глина под влиянием периодических замораживаний и оттаиваний размягчается и превращается в неустойчивую и жидкую. Особенно опасно, если такой грунт находится под фундаментами стенок при заложении их в пределах промерзаемости. В таких случаях стенки начинают определенно садиться, увлекая за собой свод и вызывая со временем общее разрушение каменной обделки Т. Поэтому при назначении каменной обделки Т. толщину стенок и свода нужно сообразовывать с требованием, чтобы толщина промерзающего за кладкой грунта была настолько мала, чтобы не могла оказывать заметного влияния на выпучивание стен; особая осторожность требуется при встрече с мокрыми глинистыми грунтами. Непременным условием должно ставиться, чтобы фундаменты стен основывались вне пределов промерзаемости грунта, а если Т. проходит в вечной мерзлоте,—то вне пределов возможного оттаивания его под действием теплого воздуха в Т. летом. Несоблюдение этого правила в условиях СССР давало часто плачевные результаты. Исключение м. б. допущено только для оснований в скалистом неразрушающемся грунте. Затем для предотвращения притока воды к промерзающей периферии вокруг Т. полезно уплотнять грунт за кладкой нагнетанием за нее цементного раствора под давлением. Помимо разрушения кладки и разложения пород грунта закладкой мороз оказывает непосредственное влияние в самом туннеле. При наличии потоков воды в Т. при морозе образуются местами настоящие ледяные сталактиты и сталагмиты, а низ Т. покрывается сплошной ледяной коркой несмотря на постоянное скалывание и удаление льда. Бывали случаи схода с рельсов поездов из-за покрытия пути льдом. В длинных Т. действие мороза далеко не равномерно по длине Т. У порталов, особенно со стороны господствующих зимних ветров, температура воздуха Т. близка к $t°$ наружного воздуха, затем по мере удаления от портала она повышается, а соответственно с этим уменьшается и глубина промерзания. Систематически собранных данных по этому вопросу пока еще нет, и при сооружении новых Т. необходимо наводить справки из практики Т., проложенных в аналогичных условиях. Действительным средством против разрушительного действия мороза в Т. служит его отепление и отопление. Небольшая еще практика на наших туннелях доказывает полную практичность этих мер. Для отепления Т. у обоих порталов закрывается на зиму особыми воротами или завесом, открывающимся только для прохода поезда и выпуска дыма от прошедшего поезда. Применение одной только этой меры уже значительно повышает $t°$ Т. и может совершенно устранить вредное влияние мороза. Устройство ворот небезопасно для движения поездов; бывали случаи наезда на них поездов вследствие того, что сигнализация в туннеле затрудняется наличием дыма, сильно уменьшающего видимость сигналов. Поэтому безопаснее устраивать завесы из какой-нибудь ткани, которые в случае наезда поезд может легко прорвать без вреда для себя. Отопление достигается печами, устраиваемыми в Т. у обоих или у наиболее холодного портала. В этом отношении большой практики еще нет, но устроенная в одном из Т. Уссурийской ж. д. у наиболее холодного портала (со стороны господствующих зимой ветров) простая кирпичная печь дает удовлетворительные результаты.

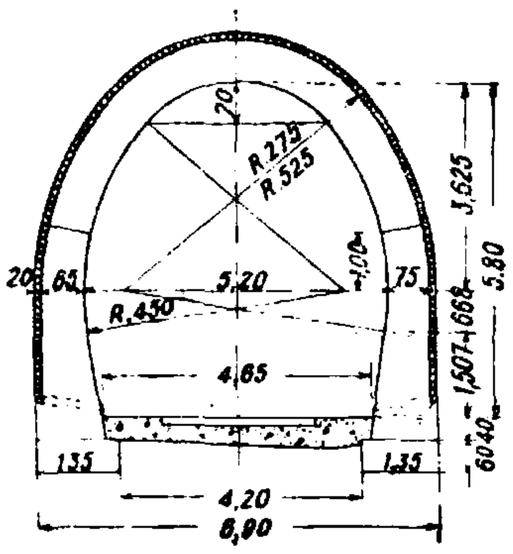


Фиг. 40.

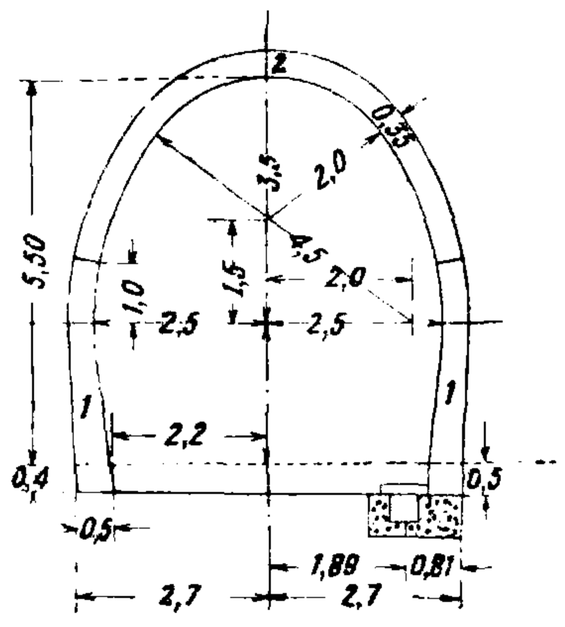
Нагнетание цементного раствора за кладку. Нагнетание цементного раствора за кладку во многих Т. было обязательно по окончании туннельной обделки для придания ей большей водонепроницаемости, для уменьшения осадок грунта, а также для более прочной связи обделки Т. с грунтом. Нагнетание производится под давлением 3—7 *atm* через отверстия диам. от 3 *см* на расстоянии ок. 2 *м* друг от друга. Если нагнетание предуказано заранее, то в кладку заделывают, где нужно, гончарные или газовые трубочки диам. 3 *см*, которые до производства нагнетания забивают деревянными пробками. В противном случае отверстия для нагнетания бурят в кладке обычным способом. Существует несколько приборов для нагнетания цементного раствора (Гретхеда, Бюинье, Першо и др.). Наиболее простой состоит из горизонтального цилиндра P (фиг. 40) длиной 1—1,5 *м* и диаметром ~ 0,50 *м* из котельного железа. По оси цилиндра расположен вал с лопатками P' для перемешивания раствора. Раствор вводится через запирающийся герметически люк *o*. Сжатый воздух поступает по трубке T, давит на раствор и гонит его по трубке за кладку. Обе трубки снабжены кранами R и R_2 и кроме того нижняя труба м. б. разобщена с цилиндром и соединена с верхней трубкой T, что делается в тех случаях, когда перед нагнетанием раствора считают полезным удалить из кладки воду предварительным нагнетанием воздуха. Сжатый воздух доставляется или из воздухопровода, если он имеется в Т., или подается особым компрессором. Трубка, подающая цементный раствор, соединена гибким рукавом с металлическим наконечником, который всаживают



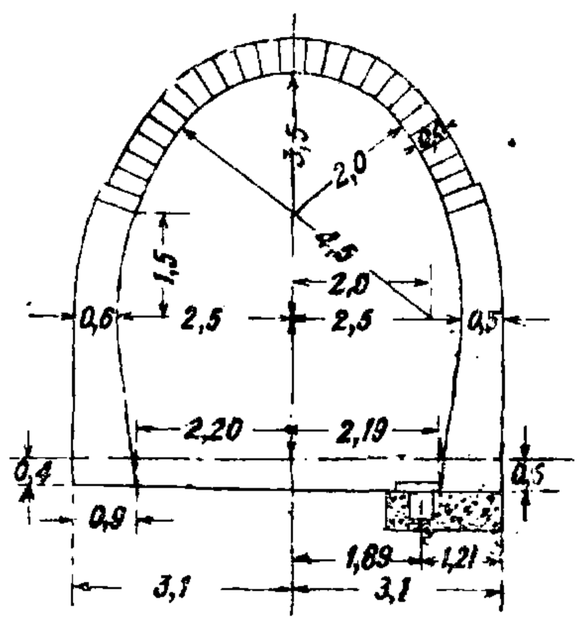
Фиг. 41.



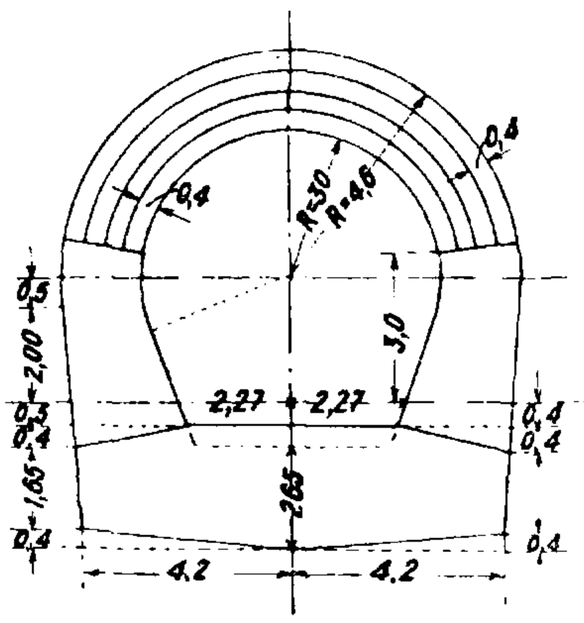
Фиг. 42.



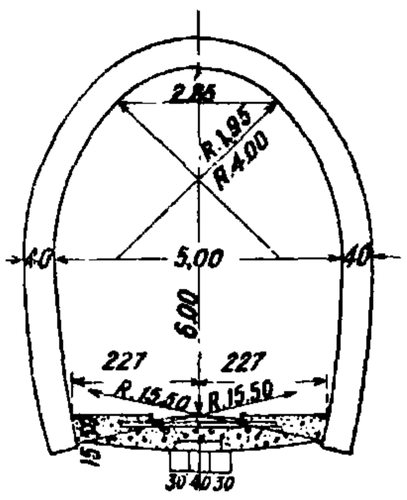
Фиг. 43.



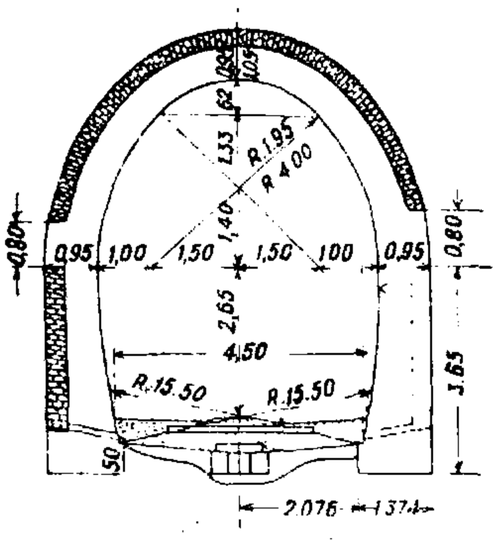
Фиг. 44.



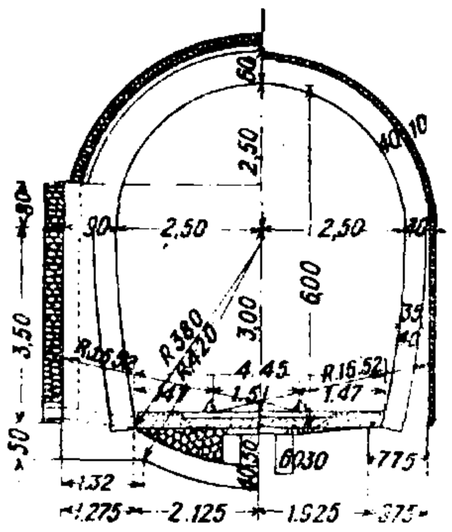
Фиг. 45.



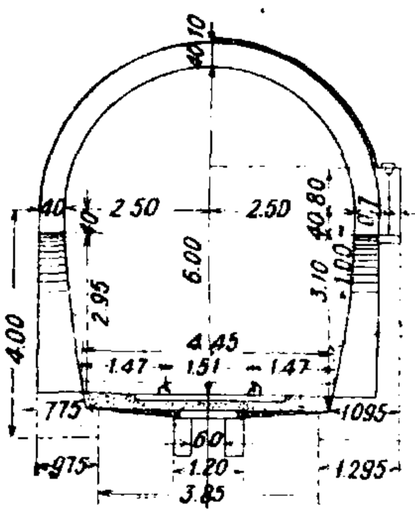
Фиг. 46.



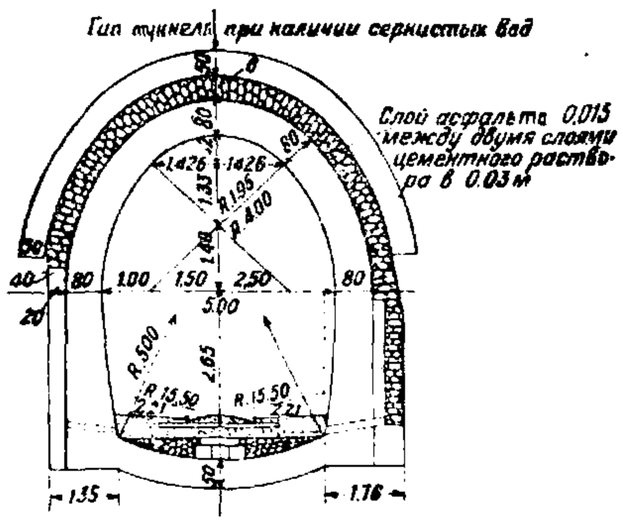
Фиг. 47.



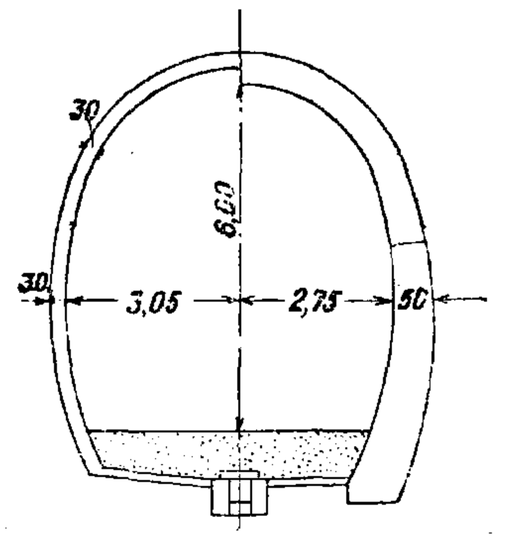
Фиг. 48.



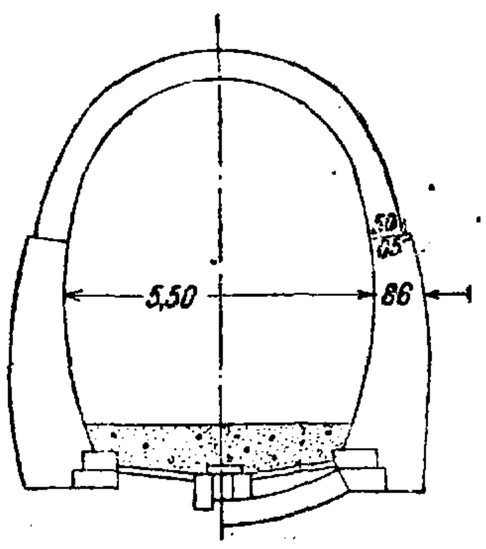
Фиг. 49.



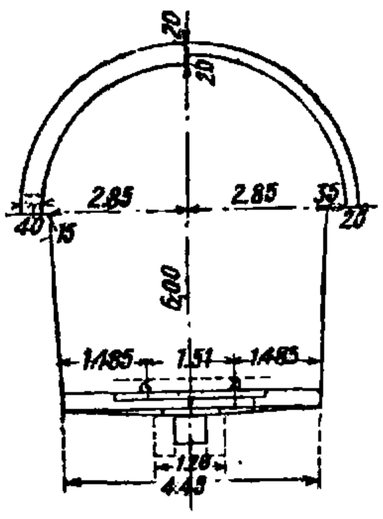
Фиг. 50.



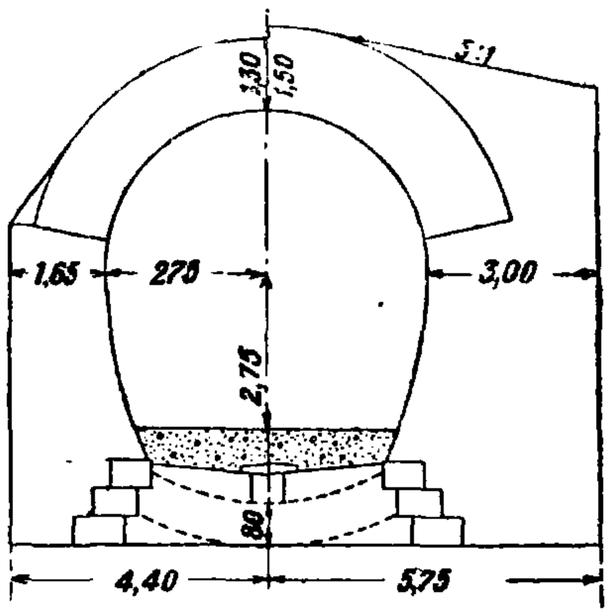
Фиг. 51.



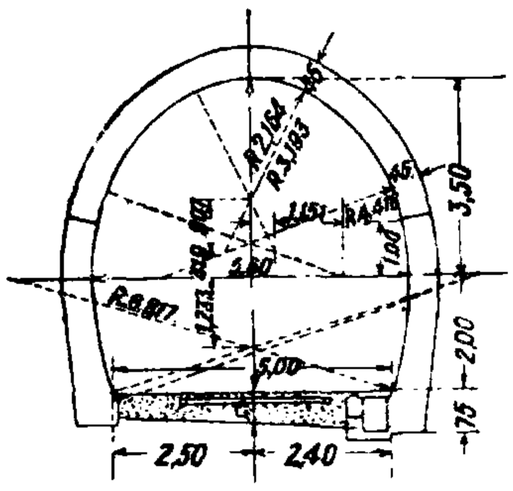
Фиг. 52.



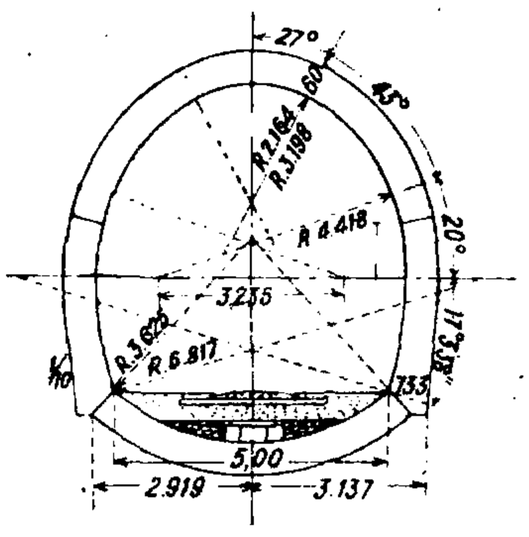
Фиг. 53.



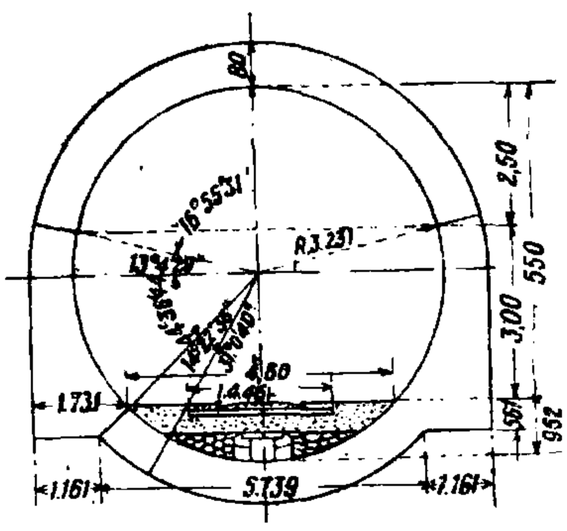
Фиг. 54.



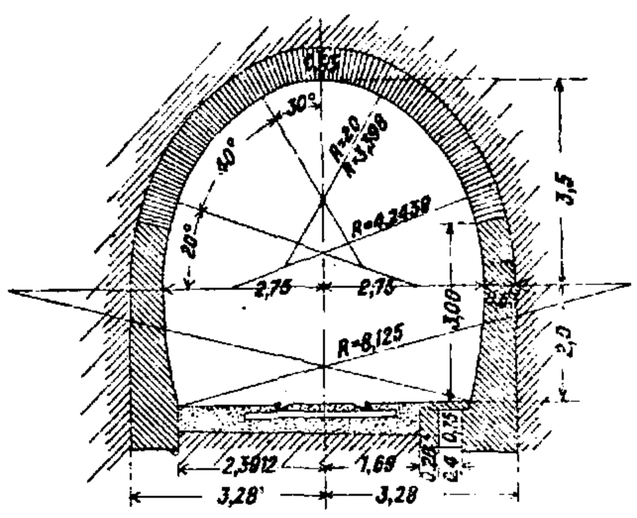
Фиг. 55.



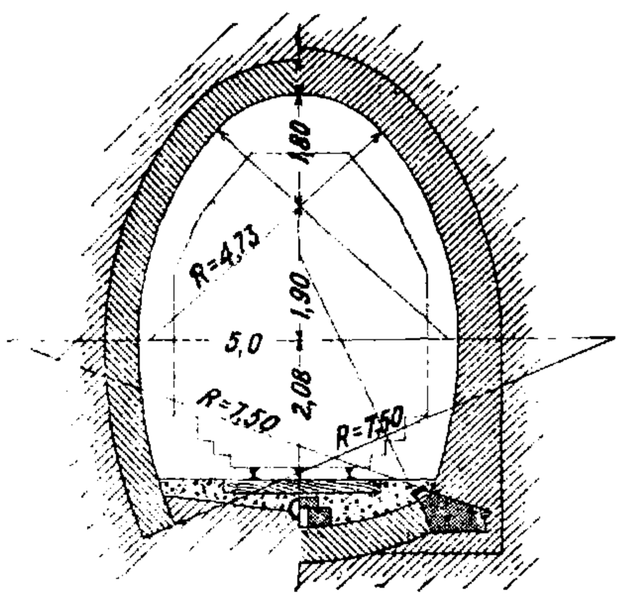
Фиг. 56.



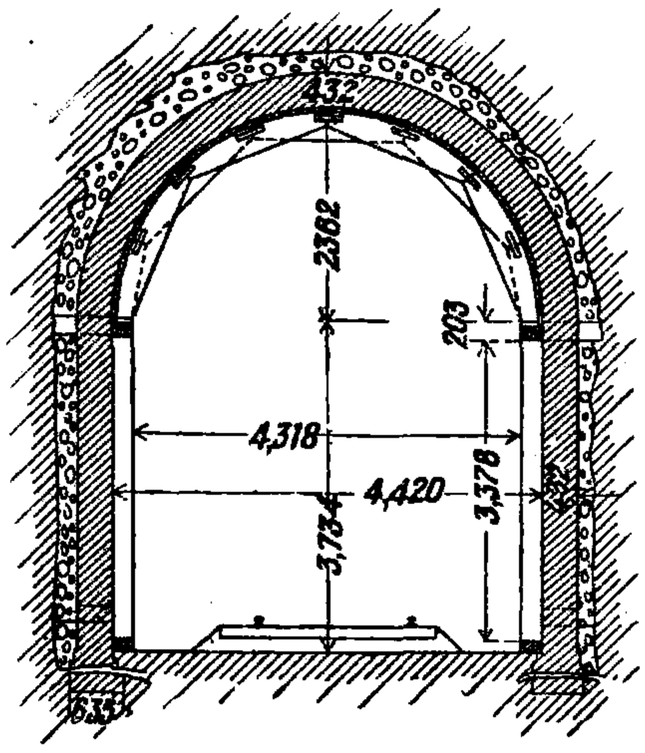
Фиг. 57.



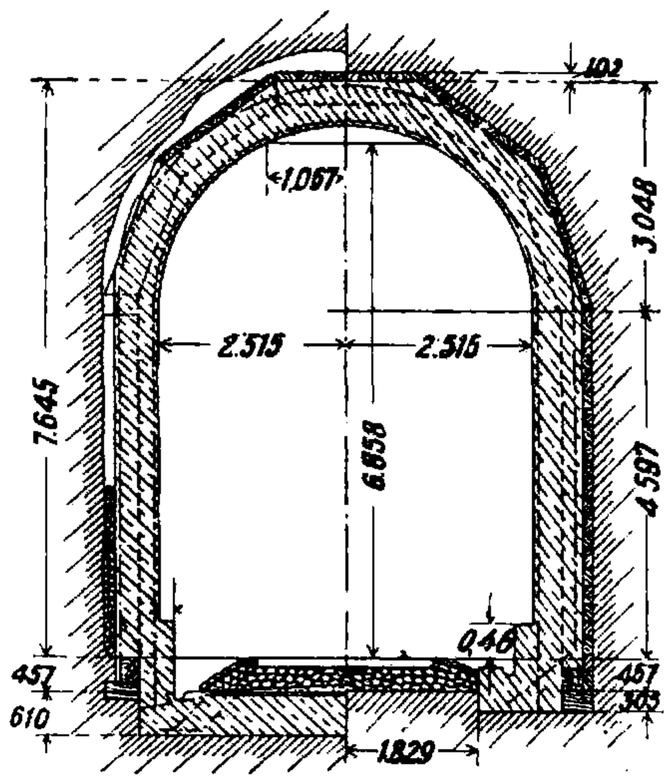
Фиг. 58.



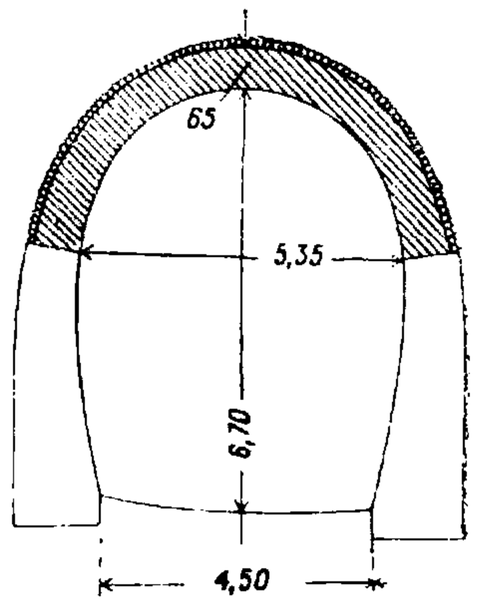
Фиг. 59.



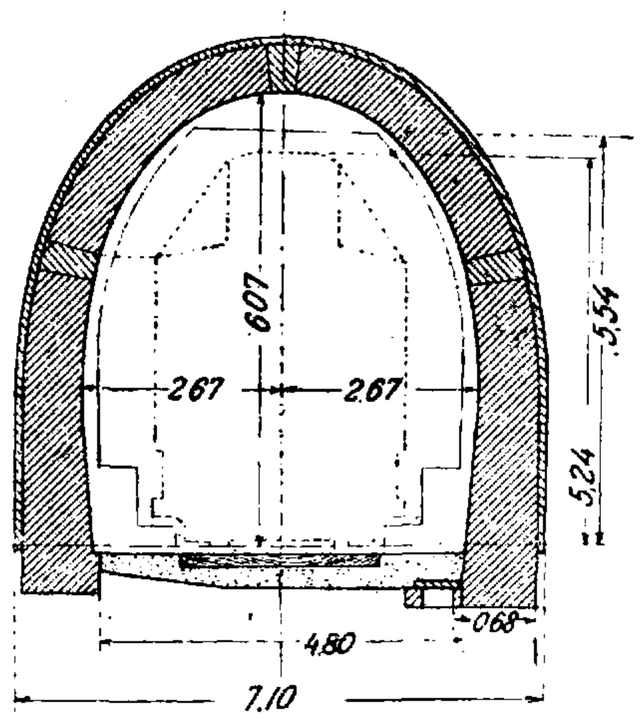
Фиг. 60.



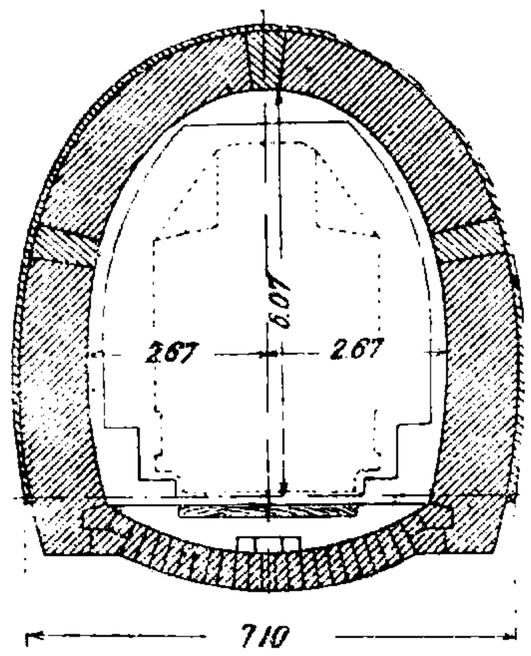
Фиг. 61.



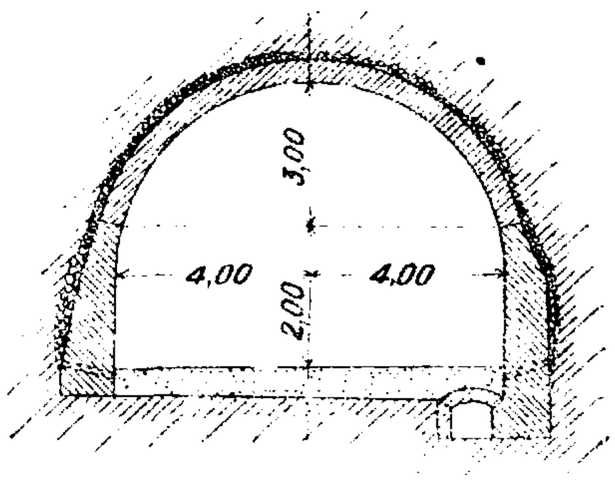
Фиг. 62.



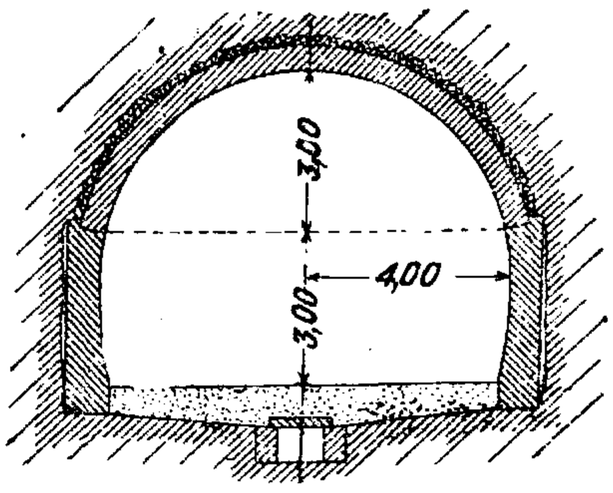
Фиг. 63.



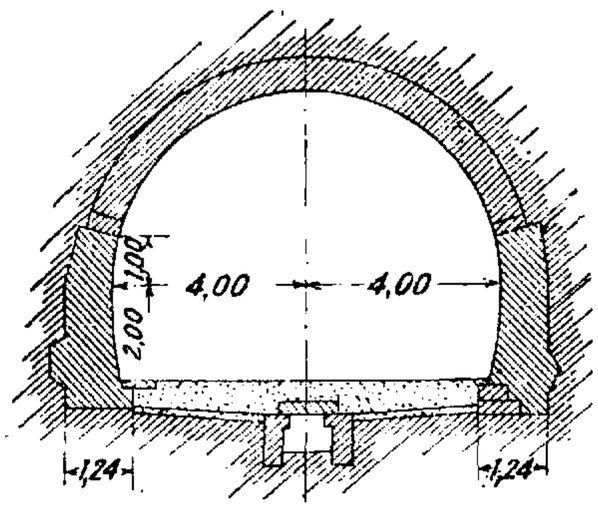
Фиг. 64.



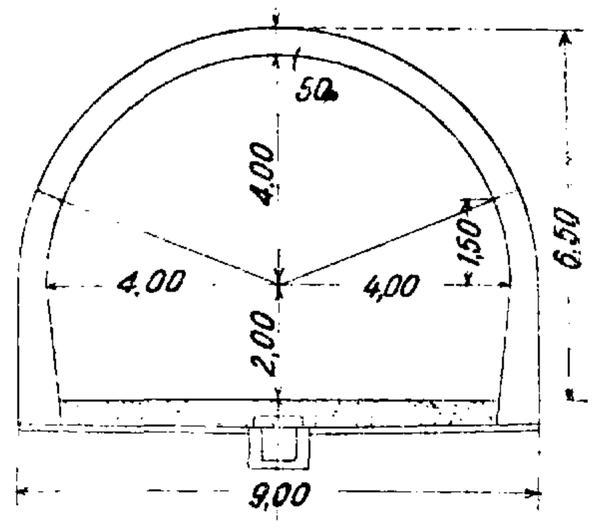
Фиг. 65.



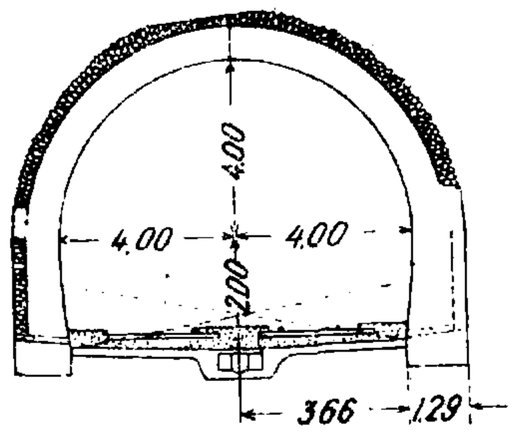
Фиг. 66.



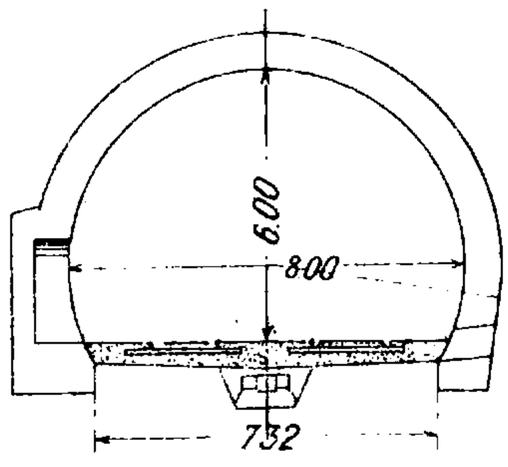
Фиг. 67.



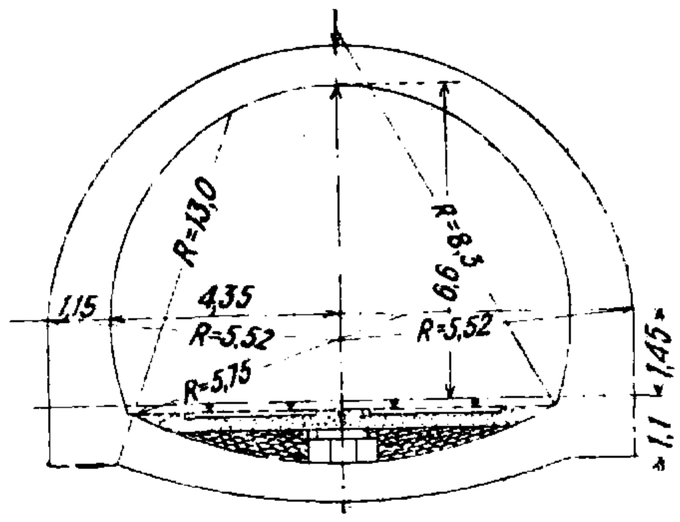
Фиг. 68.



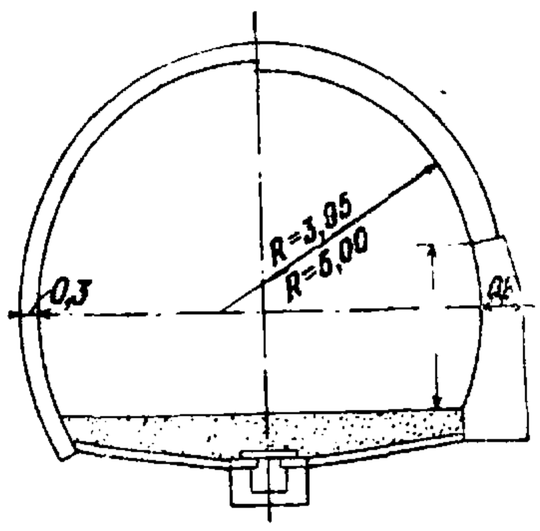
Фиг. 69.



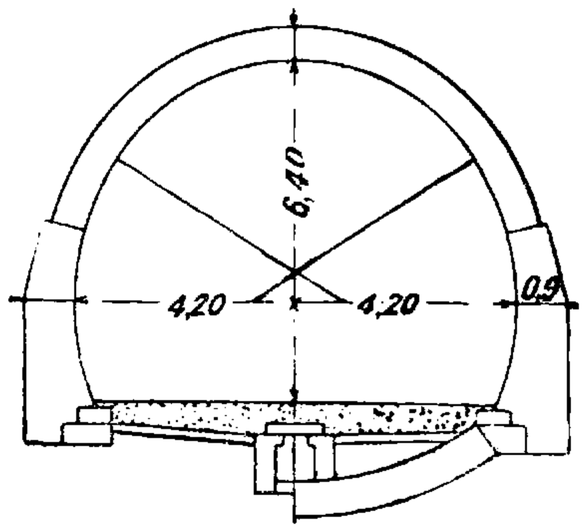
Фиг. 70.



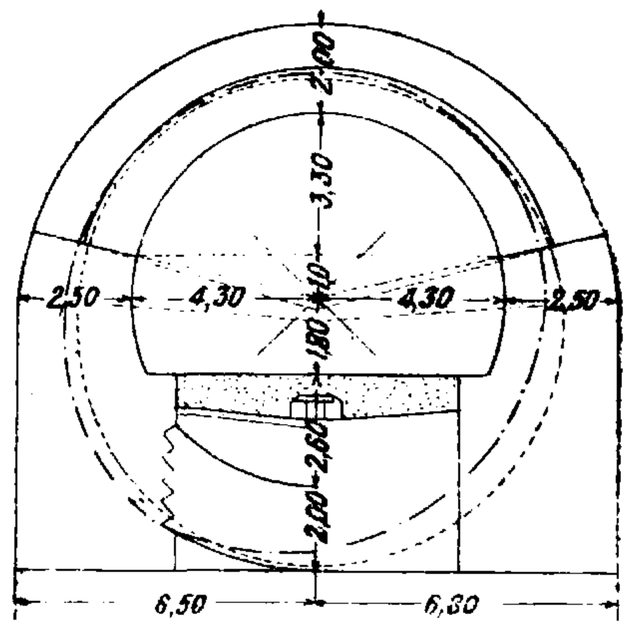
Фиг. 71.



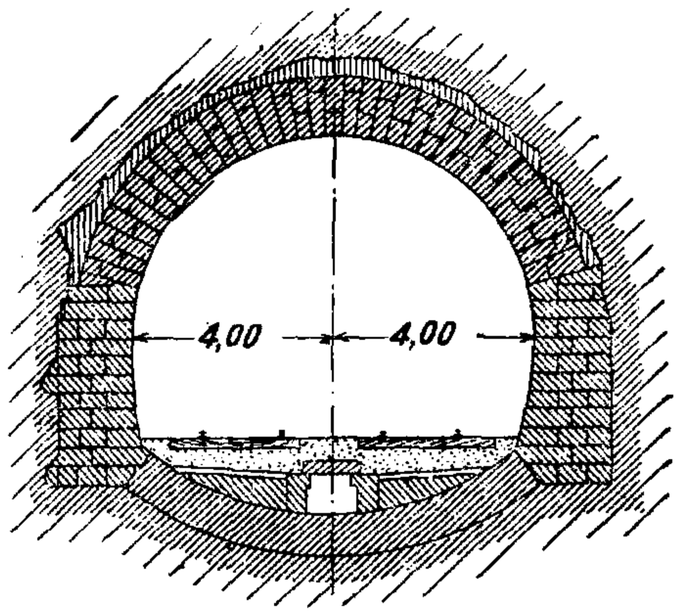
Фиг. 72.



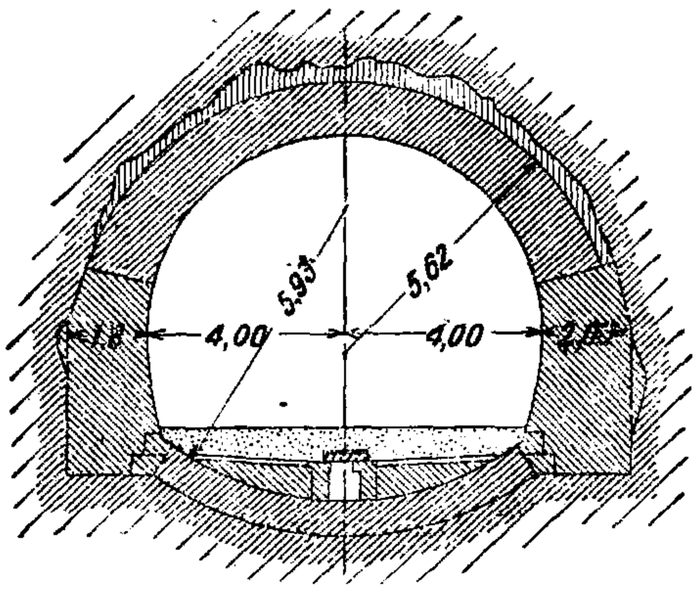
Фиг. 73.



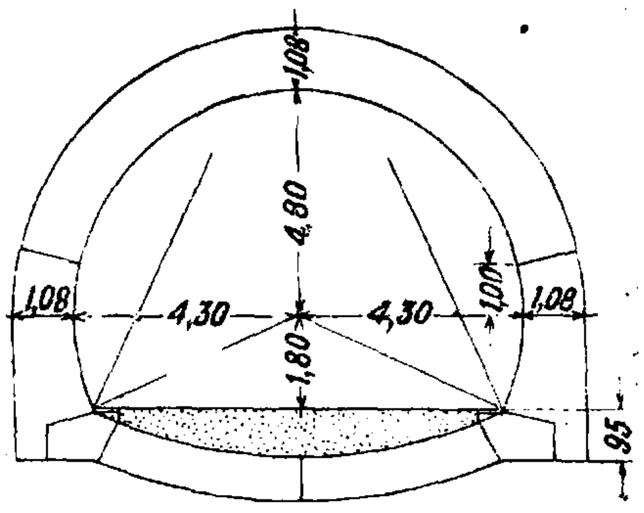
Фиг. 74.



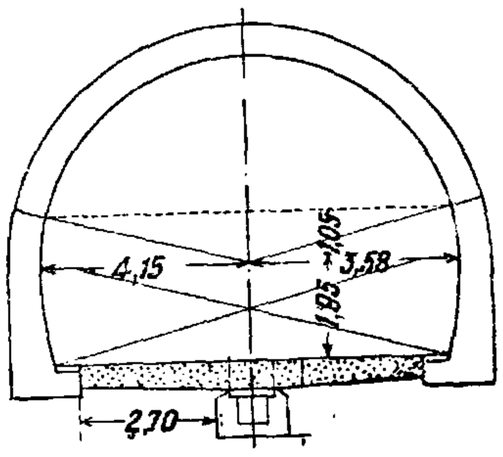
Фиг. 75.

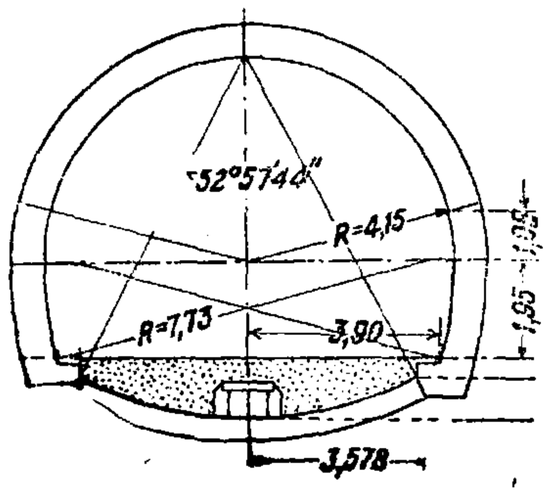


Фиг. 76.

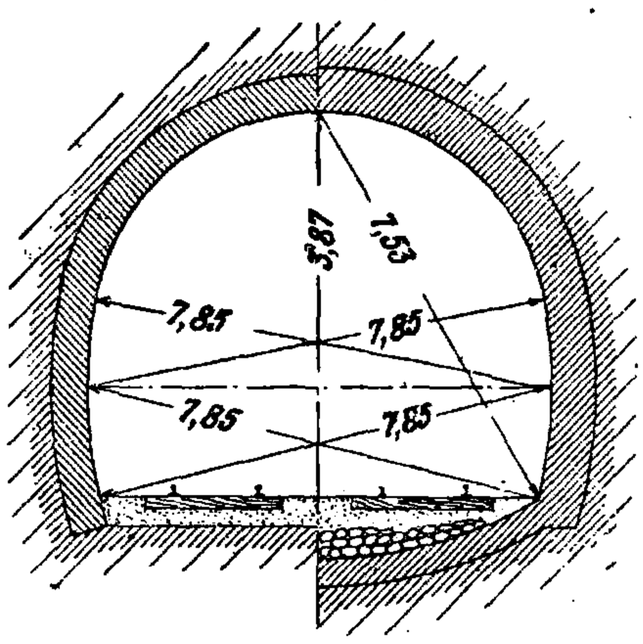


Фиг. 77.

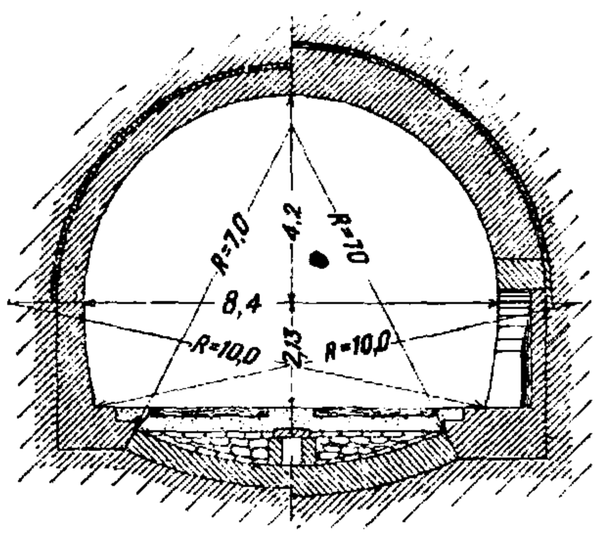




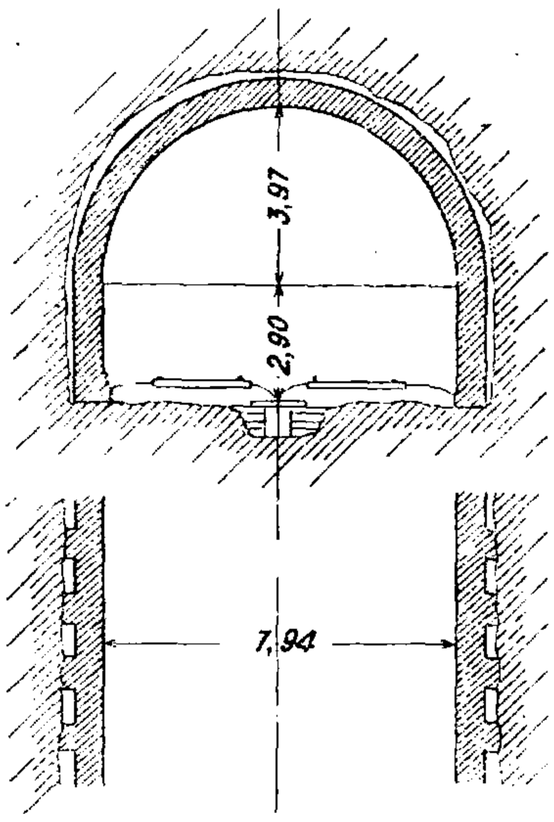
Фиг. 78.



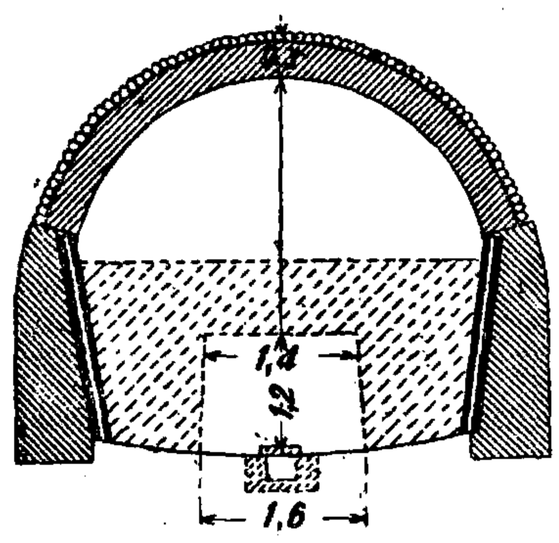
Фиг. 79.



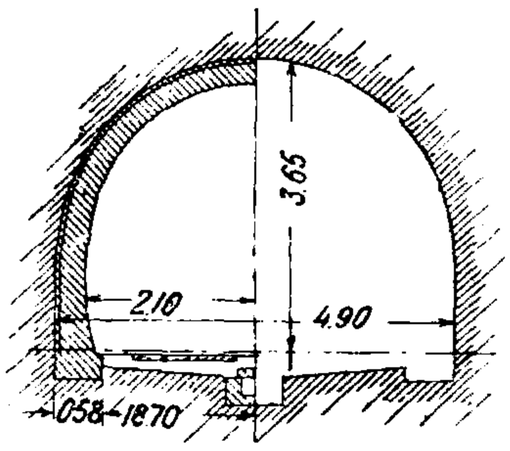
Фиг. 80.



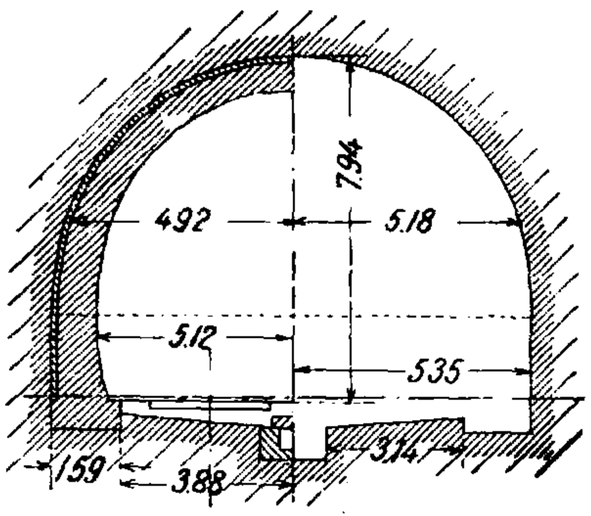
Фиг. 81.



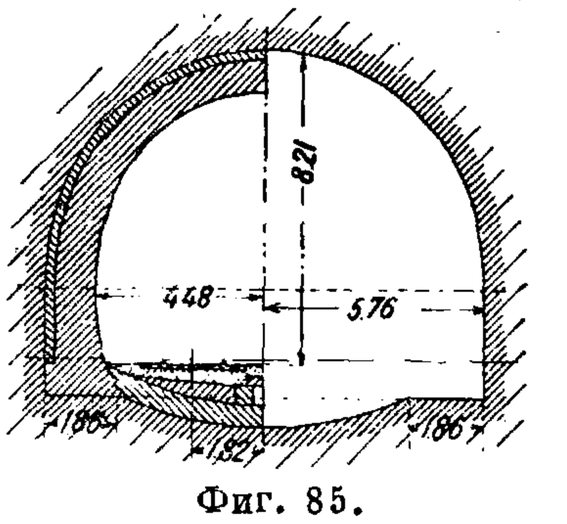
Фиг. 82.



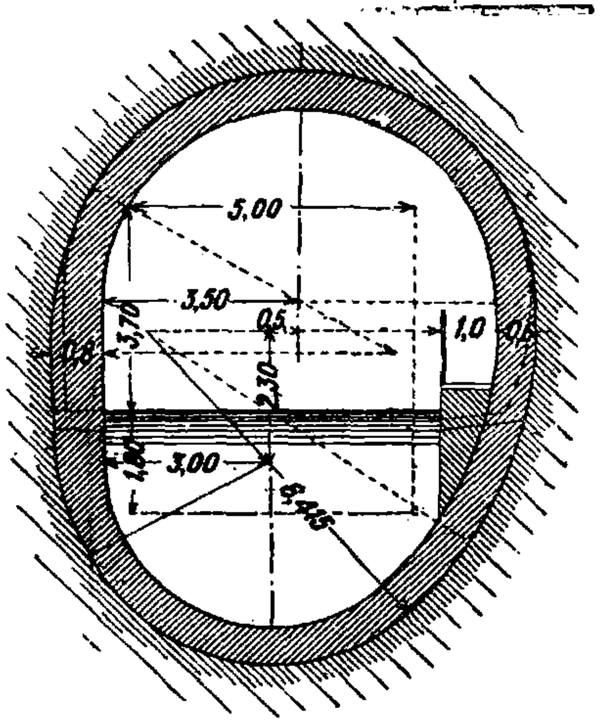
Фиг. 83.



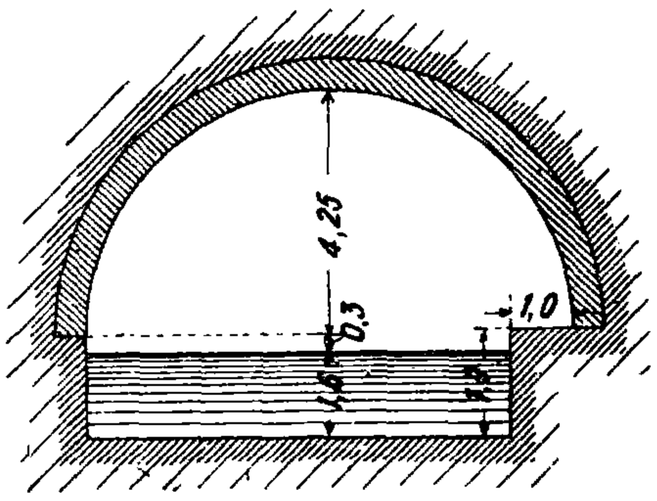
Фиг. 84.



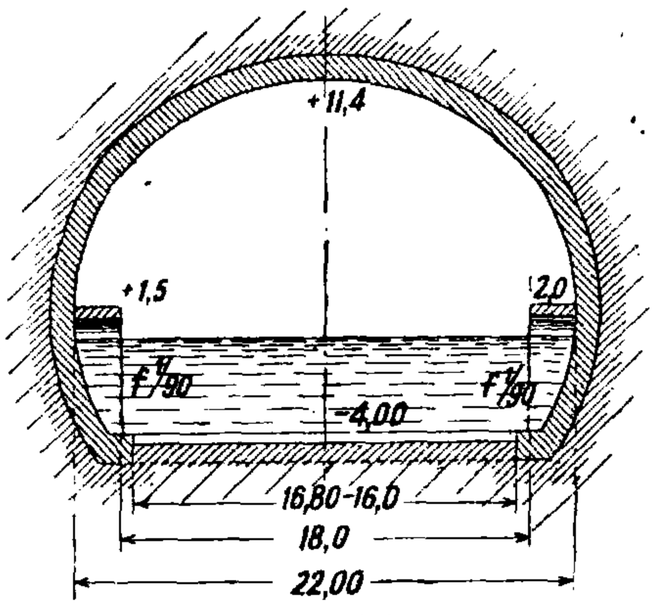
Фиг. 85.



Фиг. 86.



Фиг. 87.



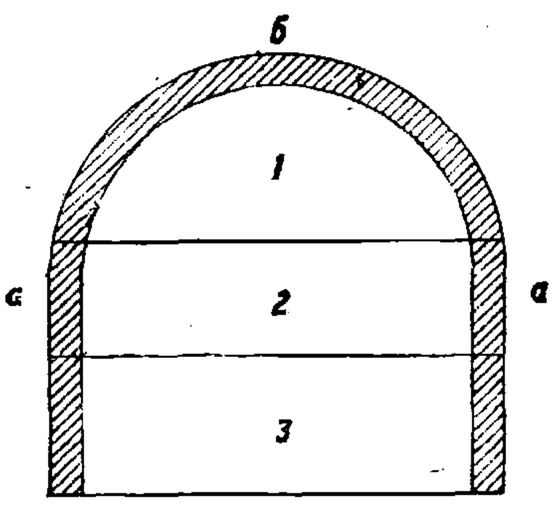
Фиг. 88.

в свинцовую трубку б. или м. значительной длины. Последнюю всовывают в отверстие кладки на 10—15 *см* и обмазывают кругом быстросхватывающимся цементом. Нагнетание обычно производится доотказа. По окончании нагнетания рабочий сжимает свинцовую трубку у кладки, спиливает и загибает т. о., чтобы несхватившийся еще и находящийся под давлением раствор не мог выпрыснуть обратно. Раствор для нагнетания берется или чисто цементный или с добавкой мелкого кварцевого песка. В качестве цемента употребляется портландский или, еще лучше, шлаковый или пуццолановый цемент, к-рый является и более кислотоупорным. Быстросхватывающиеся цементы употребляются редко и не всегда дают хорошие результаты. При наличии в воде химич. агентов, действующих разрушительно на обыкновенные цементы, применяются цементы особого состава. Нагнетание раствора за кладку Т. полезно не только для окончательного уплотнения кладки и для преграждения доступа воды к ней, но и во многих других отношениях. Прежде всего оно уплотняет грунт над сводом Т., разрыхленный осадками, неизбежными при прокладке Т. Если при этом нагнетание следует вскоре за окончанием Т., то разрыхление грунта не успевает зайти далеко и нагнетание его ликвидирует. Грунт т. о. приходит окончательно в состояние первоначального равновесия. Затем, уплотняя грунт и цементируя его, нагнетание создает самую тесную непосредственную связь между кладкой и грунтом, т. ч. малейшие деформации свода и стенок вызывают соответствующие противодействия со стороны грунта. Это особенно важно при учете сил трения и пассивного горизонтального отпора земли. Кроме того в грунтах песчаных вокруг свода и стенок образуется корка из отвердевшего цементного раствора, к-рая предохраняет собою кладку от разъедающего действия воды, содержащей вредные примеси. Наконец цементный раствор, обволакивая как футляром марчеванки, оставляемые за кладкой, предохраняет их от гниения и устраняет т. о. возможные сдвижки грунта.

Действие дыма на кладку. Кроме воды на кладку Т. часто вредно действует дым паровозов. Бывали случаи серьезных повреждений сводов туннелей под действием паровозного дыма при топке углем, содержащим много серы (Монружский Т. на Парижской окружной железной дороге). Особенно сильно влияние дыма в сырых Т., так как газообразные сернистые соединения, растворяясь в воде, более активно действуют на кладку. От дыма повреждаются главным образом верхние части туннеля, где преимущественно держится дым. Первое мероприятие против разрушающего действия дыма состоит в надлежащем выборе топлива с меньшим содержанием серы, затем устранение сырости в кладке, хотя бы путем нагнетания. Наконец при затруднительности заменить уголь другим, содержащим меньше серы, или иным топливом необходимо тщательно штукатурить внутреннюю поверхность свода (лучше торкретировать) и заменять эту штукатурку время от времени новой по мере надобности. Применение электрич. тяги было бы наилучшим решением вопроса.

Горные Т. Под горными Т. в данном случае разумеются Т., проводимые не только в горах, но также и в холмистой и даже равнинной местности под водоразделами в отличие от Т. городских, где специфич. особенности создают и особенные условия работ, и в отличие также от Т. подводных, разрабатываемых совершенно особым образом. Горные Т. прокладываются для ж. д., для обыкновенных безрельсовых дорог, для судоходных каналов, для водоотводных и водонапорных каналов при гидротехнич. сооружениях и для других целей. Назначение Т. влияет гл. обр. на размеры Т., мало изменяя его тип, за исключением напорных гидротехнич. Т., в которых учитывается внутреннее давление воды и д. б. обеспечена известная водонепроницаемость. В отношении производства работ горные Т. характеризуются тем, что вследствие их глубокого заложения можно прокладывать их только туннельным способом, не вскрывая поверхности, а также тем, что число атак для работ в этих туннелях ограничено и сводится обычно к двум, по одной от каждого портала, за исключением случаев, когда удается через шахты открыть работы в Т. помимо порталов. Наибольшее распространение получили Т. на ж. д. Размеры их зависят от числа путей и габарита подвижного состава. Резко отличаются Т. двухпутные и однопутные. На фиг. 41—85 даны типы Т. для одного и двух путей в разных странах. Относительно советских типов Т. следует обратить внимание, что глубина заложения фундаментов стенок этих типов недостаточна и оказывается в пределах промерзания грунта, что при глинистых грунтах вызывало во многих случаях повреждение Т., в особенности вблизи порталов. Типы Т. для безрельсовых дорог приближаются по своим очертаниям к двухпутным Т. для ж. д. Т. для каналов имеют ширину обычно 6—8 *м* (фиг. 86, 87). Ронский Т. для канала, соединяющего Марсельский порт с Роной, представляет исключение по своим необычайным размерам (фиг. 88).

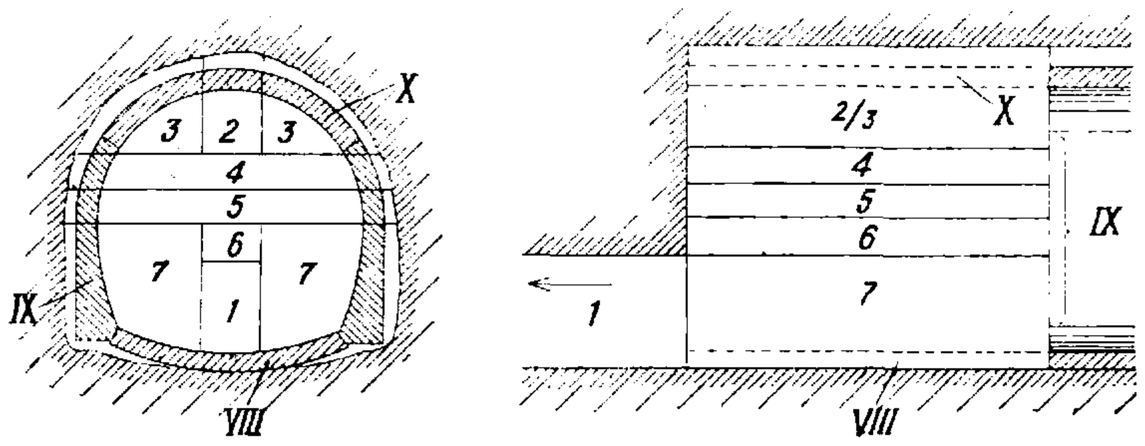
Основные способы разработки Т. Существующие способы разработки горных Т. известны гл. обр. под различными национальными наименованиями, не всегда при этом обоснованными. Различают способы: английский, бельгийский, австрийский, новоавстрийский, способ потолочного разреза, германский, итальянский, американский.



Фиг. 89.

Английский способ. В Англии первые туннели прокладывались в устойчивых грунтах, что позволяло разрабатывать их сразу на полный профиль ступенями, начиная сверху, без особенно сильных креплений, как показано схематически на фиг. 89. Снималась сначала верхняя часть калотты туннеля *1* без предварительной прокладки штольни, затем, несколько отступая от нее, разрабатывалась средняя часть *2* и затем на нек-ром отдалении—нижняя часть *3*. Следом за разработкой породы шла каменная кладка, начиная со стенок *а* и кончая сводом *б*. Иногда разработка ведется сразу на полный профиль. При этом способе продольные лонгарины, поддерживающие грунт, опираются с одного конца на готовый уже свод предыдущего законченного звена и с другого—на соответственным образом устроенное лобовое крепление забоя или прямо на грунт. Перед началом разработки

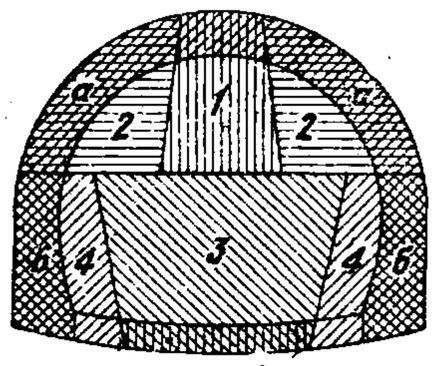
следующего звена д. б. закончена кладка обделки уже разработанного звена. После этого по мере разработки лонгарины протягиваются на следующее кольцо. Фронт работ таким образом был достаточно широк, но удаление разрабатываемого грунта и доставка материалов к самому забою в верхней части (калотте) при этом способе затруднительны, т. к. вагонетки при нем могут доходить только до первого нижнего уступа. Для облегчения транспорта при англ. способе впоследствии стали предварительно прокладывать штольню в нижней части Т. (фиг. 90). Эта штольня служила в то же время разведкой для определения грунтов впереди работ. Порядок разработки указан



Фиг. 90.

цифрами. В слабых грунтах англ. способ разработки Т. сразу на полное сечение требует очень сильных креплений с переустановкой их по нескольку раз, что значительно удорожает работу. Длина разрабатываемого кольца при этом уменьшается из предосторожности до 2 *м*, тогда как при работе в устойчивых грунтах она доходит до 8 *м*. Англ. способ более применим в твердых устойчивых грунтах. Из Англии он перенесен в США, применялся отчасти во Франции, Германии и Швейцарии.

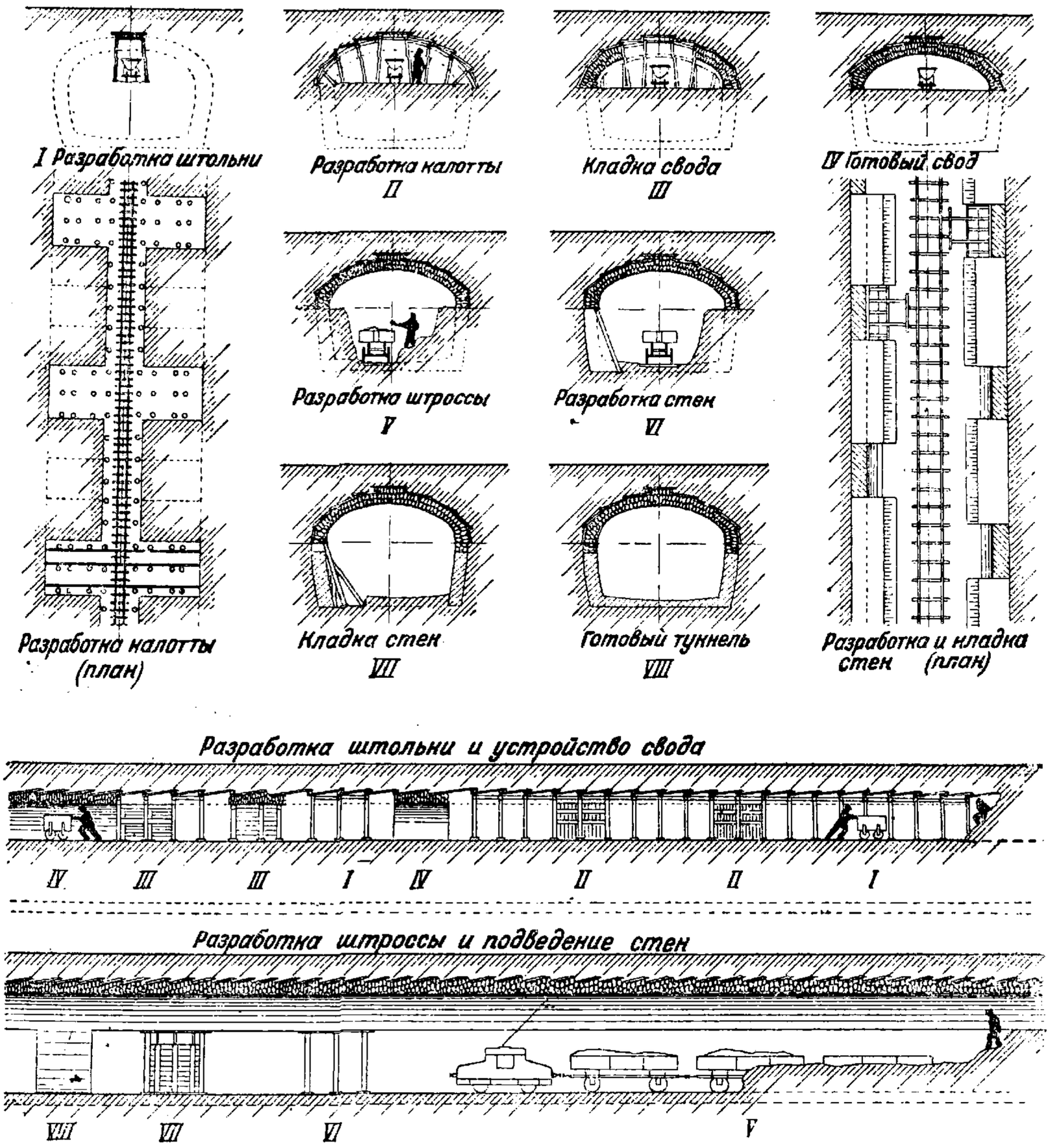
Б е л ь г и й с к и й с п о с о б, называемый также ф р а н ц у з с к и м по преимущественному распространению его во Франции, получил начало в Бельгии в начале 20-х годов прошлого столетия и с нек-рыми видоизменениями распространился по всем странам. Этот способ характеризуется пробивкой верхней направляющей штольни и устройством свода раньше стенок, как показано на фиг. 91. Штольня *1* располагается по оси Т. в верхней его части и обычно прогоняется на несколько десятков *м* вперед. Когда штольня *1* пробита на достаточную длину, приступают к боковой разработке Т. в той же верхней части, т. н. к а л о т т ы *2*. Эта работа ведется небольшими участками от 3 до 4,5 и даже до 6 *м* (длина разрабатываемого участка равна двум или нескольким расстояниям между рамами штольни). Если штольня пробита достаточно далеко, разработка калотты для ускорения работ ведется сразу в нескольких местах, в расстоянии не менее 4.5 *м* друг от друга и по преимуществу в наиболее слабых, выбираемых по чутью строителей. Немедленно по окончании разработки участка калотты там ставятся кружала и начинается кладка свода *а*. Свод при этом временно опирается на землю. Когда свод выложен сплошь на сравнительно большую длину, раскружален и окреп, приступают к разработке средней части Т., т. н. ш т р о с с ы *3*. Эта работа производится без креплений под защитой возведенного свода продольными траншеями, причем пути приходится постепенно



Фиг. 91.

передвигать с одной стороны на другую, постепенно при этом углубляясь. Работа эта мало отличается по существу от обычной разработки грунта под открытым небом. Между пятой свода́ и верхним ребром штроссы оставляется банкетка шириной не менее 0,70 *м* (при проходе в нормальных грунтах). После разработки штроссы на всю глубину и допустимую ширину приступают к разработке грунта *4* для подведения стенок *б* под свод. Работу эту производят сразу в нескольких местах, достаточно удаленных друг от друга, и из предосторожности ведут ее небольшими частями, подводя стенки столбами не более 1,5—2 *м* длиной. Работы ведутся в шахматном порядке, т. е. одновременно не подводят стенок под один и тот же свод друг против друга. Свод при этом подпирается подпорками — ш т р е б е л я м и (обычно достаточно двух на стенку длиной 2 *м*). Успех прокладки Т. зависит от успешности пробивки направляющей штольни. Главное достоинство бельг. способа—его относительная дешевизна благодаря производству значительной части работ без креплений или с небольшими креплениями, затем большая гарантия против осадки грунта, благодаря тому что потолок разработки остается самое недолгое время на крепях и сравнительно быстро заменяется постоянной каменной обделкой—сводом. Главный его недостаток—это нек-рая медленность в работе, особенно чувствительная при длинных туннелях, вследствие необходимости перекладки путей и всякого рода трубопроводов при разных фазах работ и стеснения движения вагонеток в верхней штольне. Поэтому бельгийский способ иногда видоизменяют, устраивая предварительно нижнюю штольню с постоянными путями и трубопроводами сжатого воздуха, воды, кабелями и пр. Такая штольня хорошо дренирует грунт в верхней части Т., но несколько нарушает структуру и равновесие в вышележащих грунтах, вызывая дополнительные осадки. Другой упрек, который бросают бельг. способу,—это нек-рый риск обрушения свода при подведении под него стенок. Практика сооружения многих сотен *км* Т. по бельг. способу не дает однако оснований для подобных опасений. При правильном ведении работ небольшими частями с соблюдением необходимых предосторожностей подведение стенок под свод проходит совершенно безболезненно. Типичным примером бельг. способа служат работы по прокладке Т. парижского метрополитена. На фиг. 92 показан последовательный ход разработки: прокладка штольни уже описанным ранее способом, затем разработка калотты на крепях под защитой марчеванок. Первый ряд марчеванок калотты в Париже забивался за распорки (рошпаны) между верхняками рам штольни. Дальше разработка шла подобно тому, как и в штольне, но только на бо́льшую ширину. Марчеванки спереди подпирались филатами, которые при окончательном положении марчеванок плотно прижимали их к грунту посредством клиньев, вгоняемых между филатой и л о н г а р и н о й (из круглого леса), уложенной в потолке параллельно оси туннеля в конце первого пролета и подпертой стойками (ш т е н д е р а м и) по числу рам штольни, в пределах которой разрабатывается калотта. Между клиньями забиваются марчеванки следующего пролета и расклиниваются постоянными клиньями, временные же клинья (филатные) убираются и на

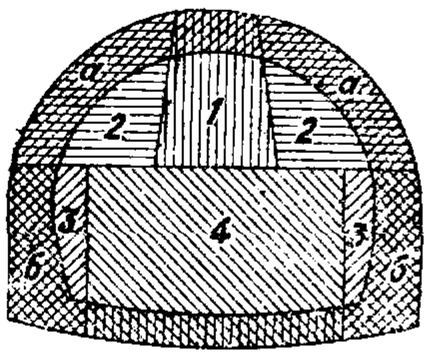
место их загоняются марчеванки (как и при разработке штольни). В следующем пролете также укладываются филаты, стойки, клинья и т. д., и калотта разрабатывается далее, следуя по возможности за теоретическими очертаниями свода. Кружала устанавливаются вне



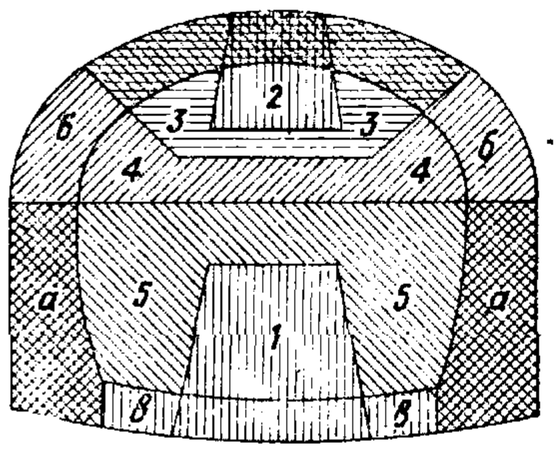
Фиг. 92.

плоскости ферм калотты. Остальные работы ясны из фиг. 92 и пояснений не требуют. При производстве кладки марчеванки почти всегда приходится оставлять за кладкой. При прокладке Т. в городах бельгийский способ иногда изменялся в том смысле, что после разработки калотты *1*, *2* (фиг. 93) еще до установки кружал немедленно разрабатывались котлованы *3* для стенок *б*, возводилась в них каменная кладка стен и затем клался свод *а* и разрабатывалась штросса *4*. Способ этот применяется во всех тех случаях, когда признается рискованным закладывать, хотя бы и временно, свод Т. прямо на земле.

Австрийский способ впервые был применен в Германии при постройке Оберанского Т. в 30-х годах прошлого столетия и несколько позднее распространился в Австрии при сооружении больших Т. Основной характеристикой этого способа является пробивка сначала нижней направляющей штольни, затем верхней, после чего следует разработка сечения Т. последовательно на полный профиль и устройство каменной обделки, начиная со стенок и кончая сводом, как показано на схеме (фиг. 94). Работы начинаются с прокладки нижней штольни *1* по оси Т. Когда она продвинется на известную длину, приступают к пробивке верхней штольни *2*, причем для спуска разрабатываемой породы и для подъема наверх материалов обе штольни соединяются вертикальными шахтами, или воронками, называемыми также фурнелями, а иногда устраиваются наклонные шахты—бремсберги, которые удобны для доставки наверх лонгарин. Из верхней штольни ведется разработка верхней калотты *3* небольшими участками длиной 3, 4, 5 или 6 *м* в зависимости от грунтовых условий. От верхней калотты переходят на том же участке (если высота Т. этого требует) к разработке нижней, или большой калотты *4*. После нижней калотты разрабатывается нижняя часть—штросса *5*. Когда т. о. разработка сечения Т. на данном участке закончена на полный профиль, приступают к кладке стенок *а*, а затем свода *б*. Работы заканчиваются, если требуется, разработкой выемки под обратный свод *в* и кладкой его. Переход от одной фазы разработки к другой при австрийском способе сопряжен с постоянным изменением крепления. Схематически эти изменения показаны на фиг. 95, где бревна креплений и марчеванки показаны линиями, а торцы лонгарин точками. Фазы *I* и *II*, соответствующие прокладке штолен, понятны сами собой из схемы. При переходе от верхней штольни к верхней калотте (фаза *III*) все давление от потолка штольни передается через уложенную под верхняк пару лонгарин и стойки под ними на поперечные брусья — швеллеры, уложенные внутри калотты в специально пробитых из штольни траншейках. За лонгарины заводятся марчеванки, и в дальнейшем разработка верхней калотты ведется, как и при бельгийском способе, причем стойки опираются на упомянутый выше швеллер. При переходе от верхней к большой калотте сначала укладывают в особых траншейках, устроенных из



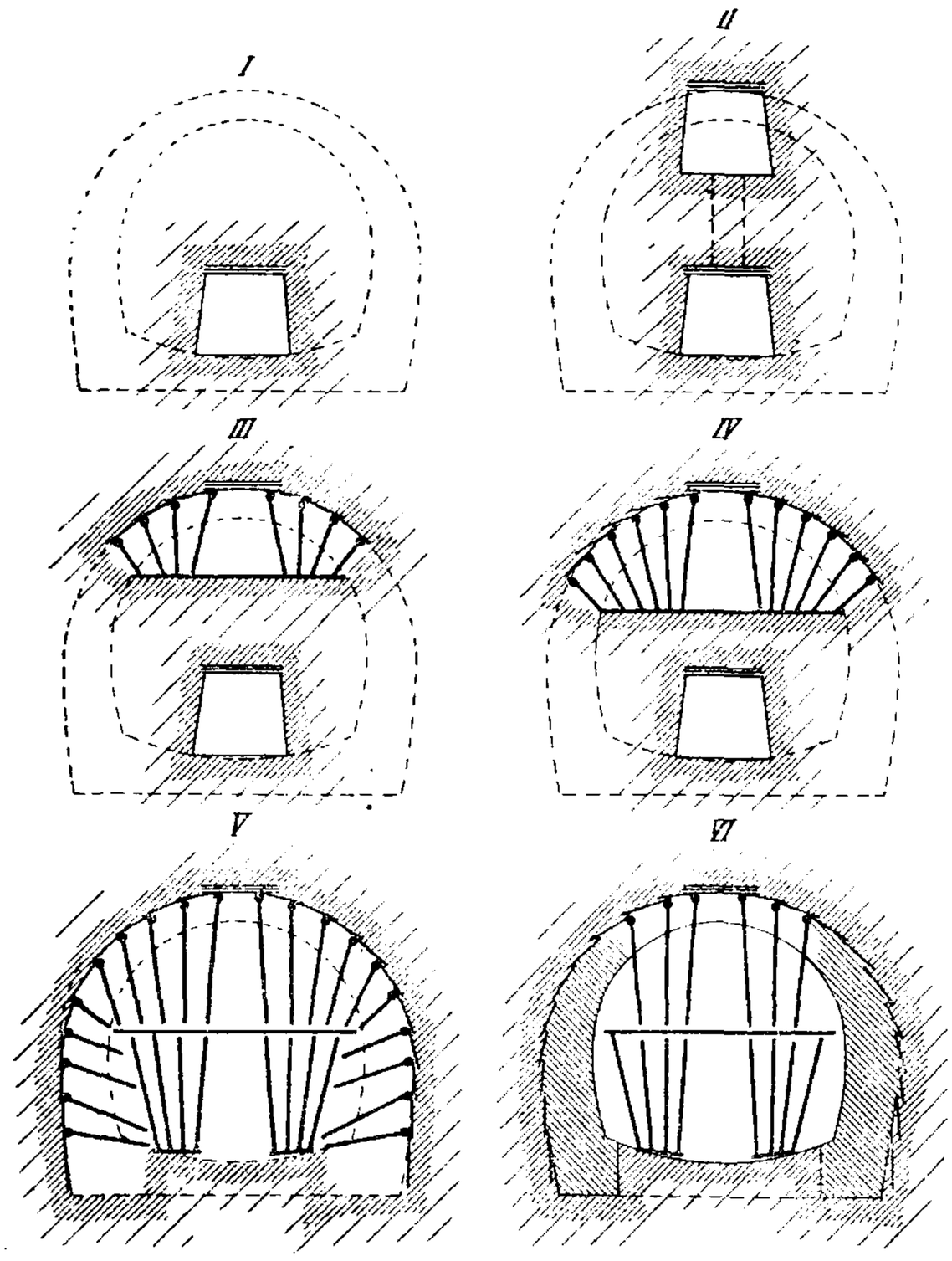
Фиг. 93.



Фиг. 94.

верхней калотты, швеллеры и на них постепенно переводится через новые стойки давление от потолка верхней калотты (при этом швеллеры и стойки верхней калотты убираются). После этого приступают к уширению большой калотты с креплением потолка, как и при разработке верхней калотты. Разработку штроссы начинают с укладки внизу с боков нижней штольни

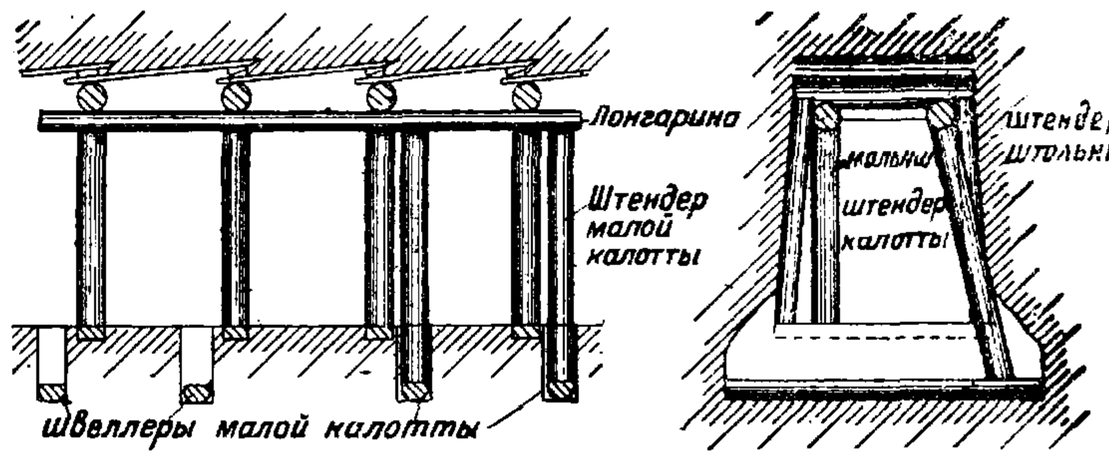
и в плоскости ферм большой калотты больших коротких лежаков (фаза *V*). Затем разбирают потолок нижней штольни, разрабатывают грунт над ним до швеллеров большой калотты и ставят под швеллер первые стойки, упирающиеся в лежаки. После этого при постепенной



Фиг. 95.

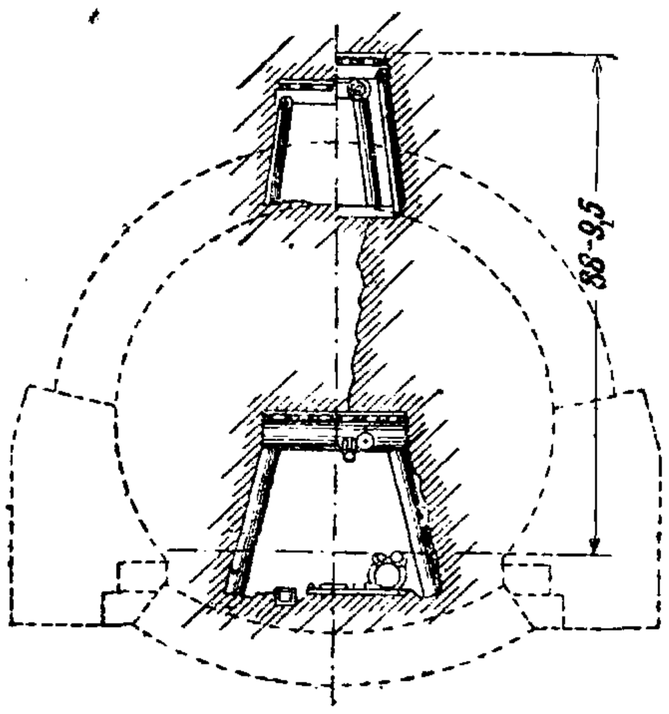
разработке штроссы с обоих боков подпирают швеллеры новыми стойками, переводя т. о. все давление от потолка разработки через швеллеры и стойки на лежаки, уложенные в подошве Т. Переход от верхней штольни к верхней калотте детально показан на фиг. 97—99.

вают строго по уровню заготовленные швеллеры. Ш в е л л е р представляет собою бревно, отесанное на два канта (для лучшей передачи давления на землю). Эти швеллеры определяют собою плоскости ферм верхней калотты. На швеллеры переводится давление от потолка штольни через штендеры, подпертые под установленные ранее лонгарины. Ш т е н д е р ы устанавливаются комлями вверх для лучшего сопряжения с лонгаринами, а внизу подклиниваются клиньями. «Мальчики», поставленные временно под лонгарины, после этого убирают

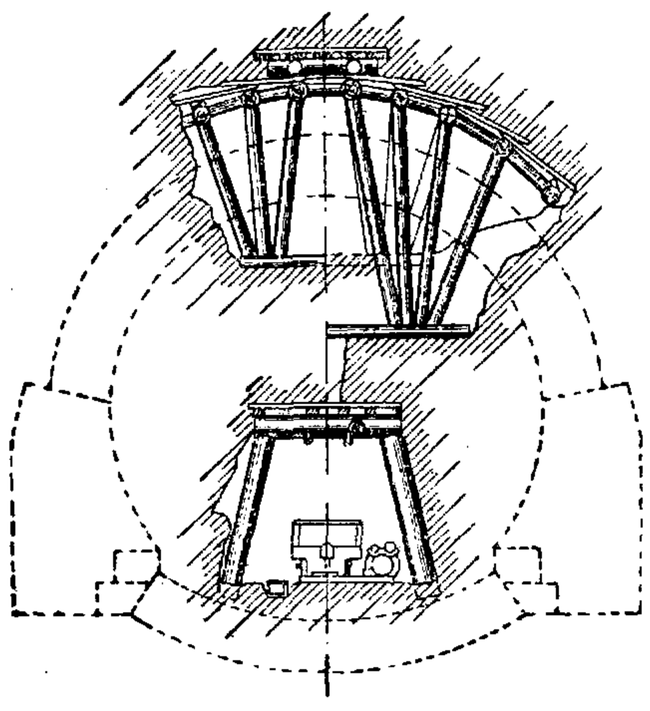


Фиг. 96.

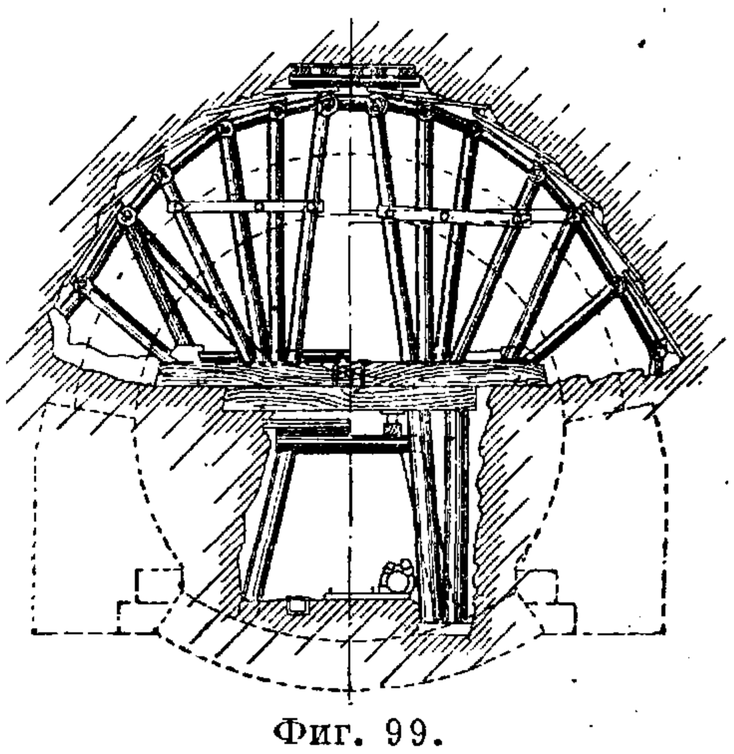
и приступают к боковой разработке калотты. Для этого разбирают грунт с боков штольни, за каждую лонгарину заводят марчеванки (фиг. 98) и забивают в грунт, как при пробивке штольни. Временно марчеванки поддерживаются филатами и мальчиками, распертыми клиньями. Когда грунт разработан до места установки вторых лонгарин, под передние концы забитых марчеванок заводят лонгарины, к-рые подпираются штендерами на клиньях. Между марчеванками и лонгаринами кладут филаты и филатные клинья (как в штольне) и марчеванки плотно прижимают к грунту. Между соседними лонгаринами забивают распорки—р о ш п а н ы, или ш п а н ы. Разработка и крепление следующего пролета калотты ведутся способом, уже известным из описания крепления штольни и калотты по бельг. способу. При более стойких грунтах работы по креплению упрощаются. Вместо швеллера можно упирать штендеры прямо на грунт через небольшие подкладки. Возможно бывает вести



Фиг. 97.



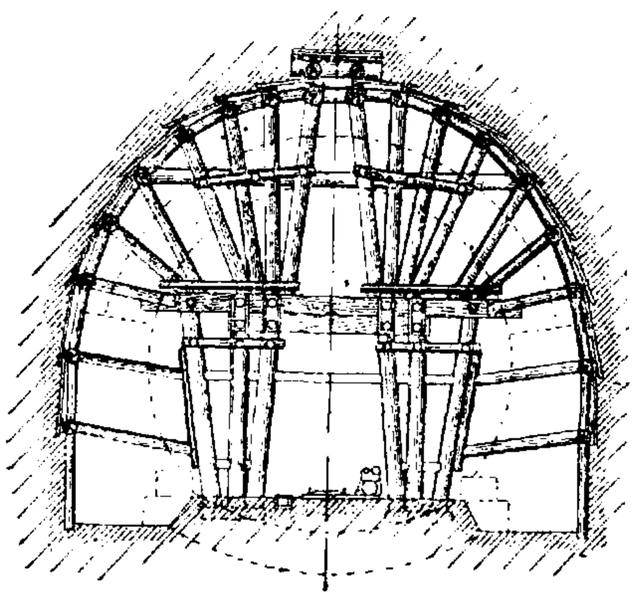
Фиг. 98.



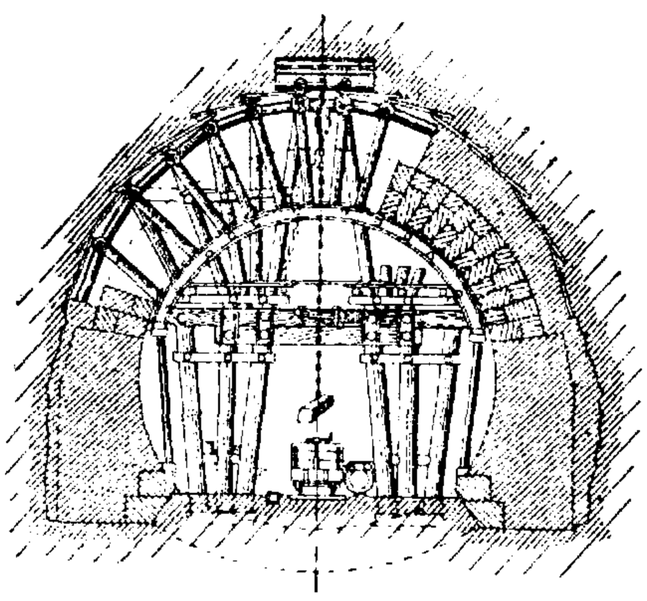
Фиг. 99.

Работа начинается с укладки первой пары лонгарин требуемой длины (если только эти лонгарины не были установлены ранее при усилении штольни). Лонгарины заводятся под верхняки и подпираются временными подпорками в плоскости рам штольни, называемыми м а л ь ч и к а м и (фиг. 96). Одновременно с этим в промежутке между рамами штольни вырывают траншейки для укладки швеллеров калотты, сравнительно небольшой длины (несколько длиннее ширины штольни), и укладыработу без марчеванок, оставляя потолок временно без поддержки и укрепляя его лишь потом досками, заводимыми между лонгаринами. При переходе от верхней калотты к большой прежде всего вырывают в промежутках между фермами верхней калотты траншейки, обычно до уровня пят свода, и в них устанавливают строго по уровню швеллеры большой калотты (фиг. 99). Швеллеры эти выбирают из толстого леса (ок. 40 *см*), отесывают на два канта и по длине делают почти равными пролету свода с

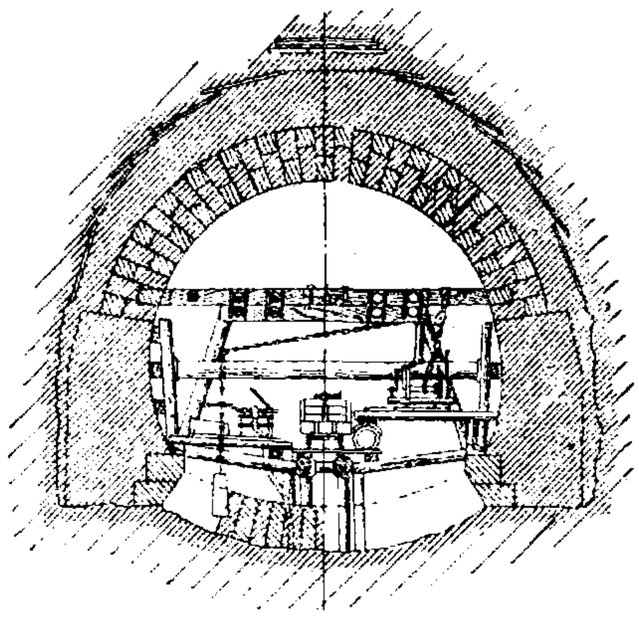
таким расчетом, чтобы при подклинивании они могли служить распоркой для стенок обделки (т и р а н т о й). Их делают составными с врубкой по середине, б. ч. сложным зубом с затяжкой и поковкой. Цельный швеллер без врубки нельзя было бы завести на место среди леса креплений. На швеллеры устанавливают (комлями вверх) штендеры большой калотты, к-рые через лонгарины, уложенные при разработке верхней калотты, передают давление



Фиг. 100.



Фиг. 101.

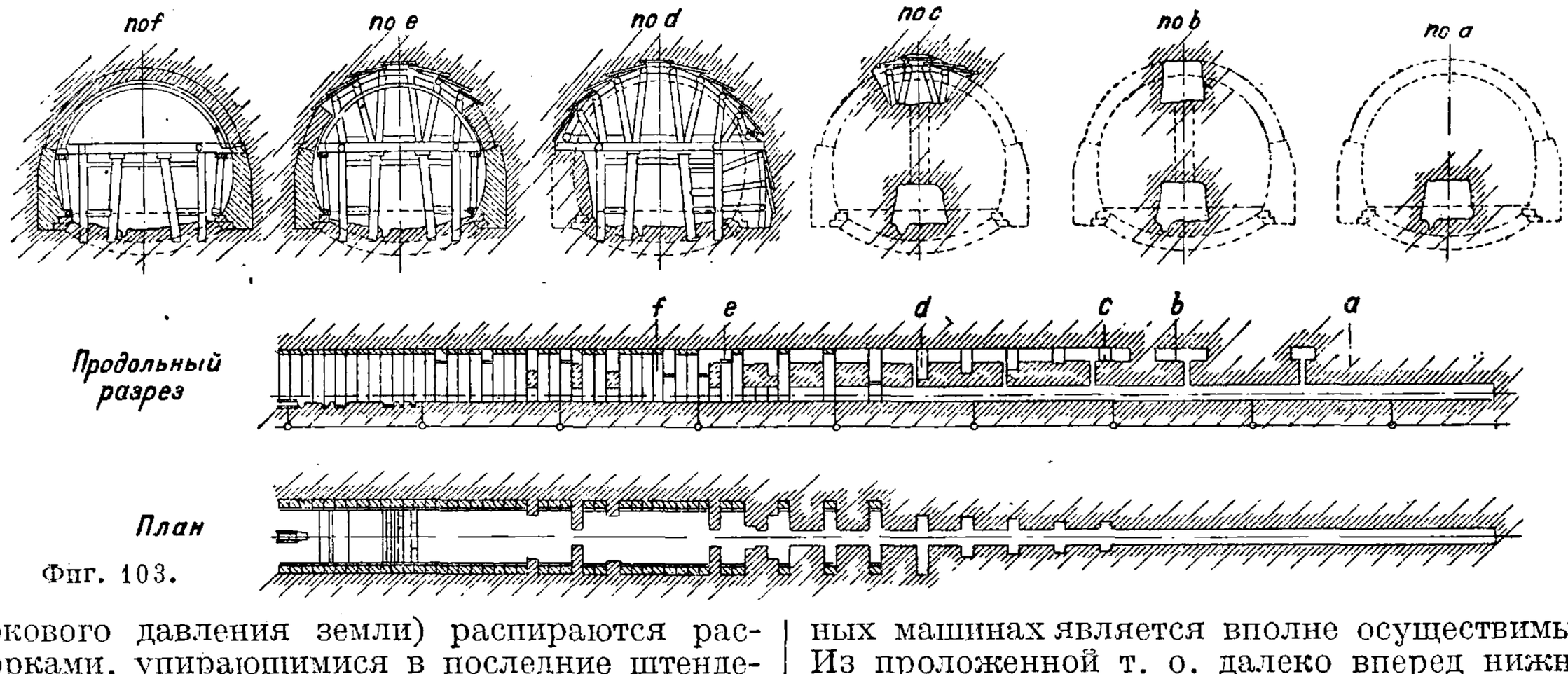


Фиг. 102.

от потолка верхней калотты на новые швеллеры. Дальнейшее расширение большой калотты идет, как и в малой калотте. Разработка штроссы ведется уже описанным способом. Штендеры штроссы распираются между собой распорками. В последний штендер упираются распорки, подпирающие лонгарины, устанавливаемые по бокам окончательно разработанного Т. За лонгарины заводятся марчеванки, как и при разработке калотты (фиг. 100).

После разработки штроссы немедленно приступают к каменной кладке стенок, установив предварительно для нее соответствующие формы. Стенки по мере возведения их (при наличии бокового давления земли) распираются распорками, упирающимися в последние штендеры штроссы. По возведении стенок устанавливаются кружала для кладки свода. Своим нижним концом кружала опираются на прогоны, уложенные вдоль пят свода и поддерживаемые рядом стоек (фиг. 101), поставленных вдоль стен и опирающихся нижними концами на обрез фундаментов через прогоны и клинья. По всему своему контуру кружала подпираются еще стойками, опирающимися на прогоны, уложенные на швеллеры. При большом расстоянии между замком свода и швеллером кружальные фермы разделяются по высоте еще особыми горизонтальными распорками (тирантами). Для предохранения кружал от деформации, а также для облегчения разборки крепей между кружалами и лонгаринами ставят небольшие распорные стойки—мальчики. Опалубка укладывается по мере возведения кладки. Одновременно с производством кладки разбираются крепления. При приближении кладки к лонгарине сначала убираются все штендеры этой лонгарины, и они остаются держаться только на мальчиках. Затем, когда кладка подходит вплотную к лонгарине, убирают и мальчики, а вместе с ними и лонгарину. Марчеванки обычно не удается убрать, и они остаются за кладкой. На фиг. 102 изображена кладка обратного свода. Во многих случаях в зависимости от грунтовых условий, а также строительных навыков инженеров и рабочих указанные здесь приемы разработки несколько видоизменяются, но в общем остаются те же.

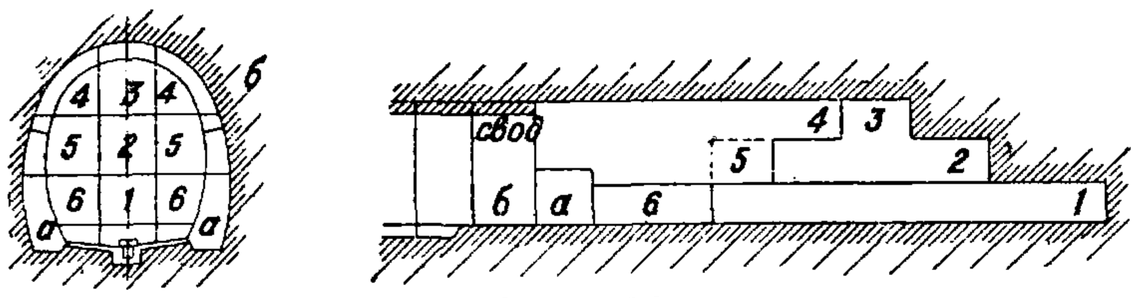
Дальнейшим усовершенствованием австр. способа в смысле ускорения работ служит н о в о а в с т р и й с к и й с п о с о б (фиг. 103). При этом способе прокладка нижней штольни должна итти с максимальной быстротой, что для скалистых грунтов при современных буриль-



Фиг. 103.

ных машинах является вполне осуществимым. Из проложенной т. о. далеко вперед нижней штольни начинается через шахты сразу в нескольких местах разработка верхней штольни с последующей одновременной разработкой калотты и штроссы, как и при обыкновенном австр. способе. Т. о. новоавстр. способ дает возможность увеличить число забоев, благодаря чему сильно ускоряется разработка всего Т. Успех работ на всем Т. зависит в таком случае всецело от успешности пробивки нижней штольни. Одним из типичных примеров австр. способа работ может служить Караванкенский Т. в Австрии. Австр. способ имеет много достоинств. Прежде всего устройство нижней штольни дренирует всю вышележащую часть

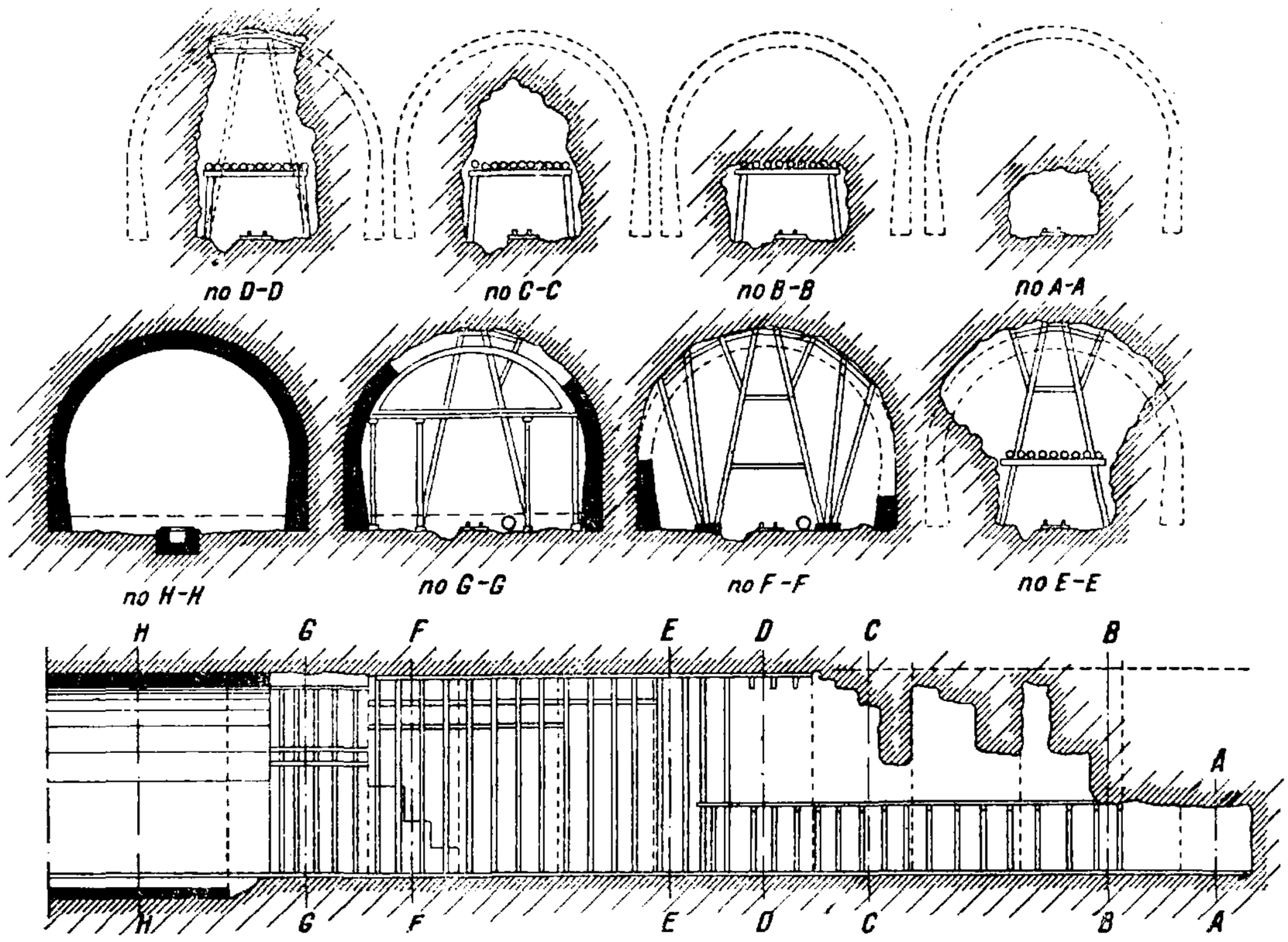
туннеля и позволяет вести там работы насухо, затем укладка в этой штольне неизменяемого до конца работ путевого строения обеспечивает беспрепятственную вывозку разрабатываемой породы и доставку необходимых материалов; в этой же штольне укладывают также неизменяемо до конца работ всякого рода трубопроводы и кабели, не требующие переустройства и перекладки при разных фазах работы, что имеет большое значение для бесперебойного производства работ, особенно при длинных Т. Большим преимуществом австр. способа перед другими является также возможность в случае сильного бокового давления противодействовать ему при возведении стенок через распорки между ними и штендерами штроссы. Наконец очень ценное преимущество представляет собою новоавстр. способ, позволяющий увеличивать фронт работы и тем содействовать ускорению сооружения Т. К недостаткам австрийского



Фиг. 104.

способа по сравнению с бельгийским следует отнести сравнительно высокую стоимость его, большой расход лесных материалов, применение очень сложных креплений, а также необходимость держать на креплениях сравнительно долгое время потолок разработки до обделки его каменной кладкой, что, несмотря на все меры предосторожности, сопровождается осадками грунта и представляет опасность при сильных давлениях.

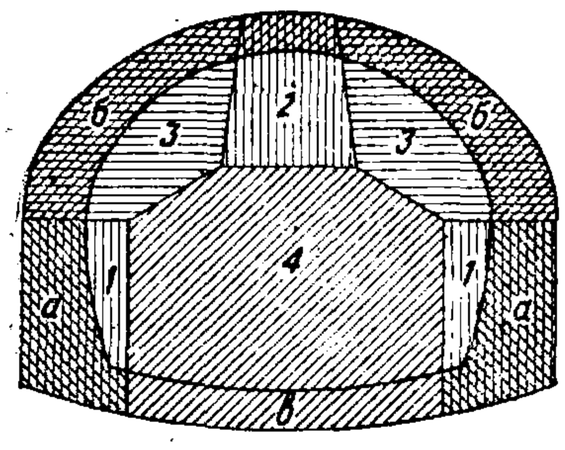
Способ потолочного разреза впервые был применен при постройке швейцарского Т. Альбула и затем получил большое распространение в Швейцарии и в Норвегии при работах в устойчивых скалистых грунтах. Работы при этом способе (фиг. 104) начинаются с прокладки нижней направляющей штольни *1*, как и при австр. способе. По мере прокладки штольни в потолке ее по оси делается на нек-рую высоту вертикальный прорез *2*, после чего потолок штольни покрывается сильным деревянным настилом, и дальнейший прорез вверх *3* и боковые разработки *4* и *5* ведутся с потолка штольни, на к-рый сваливается временно до нагрузки в вагонетки разрабатываемая порода. После того как разрез закончен до самого потолка Т., приступают к боковой разработке всего верха Т.—калотты *4* и *5* и затем к разработке оставшихся частей с боков штольни—*6*. Каменная кладка начинается по окончании всей разработки на полный профиль, причем сначала выкладывают стенки *а*, а затем свод *б*. Главное преимущество этого способа заключается в удачном распределении разработки, облегчающем производство взрывных работ, благодаря чему расход на бурение и на взрывчатые вещества при этом способе значительно меньше, чем при австрийском, и составляет экономию ок. 30% на 1 $м^3$ разработки. В слабых грунтах, не вызывающих больших расходов на бурение и взрывчатые вещества и требующих много креплений, этот способ теряет все свои преимущества. Примером разработки по этому способу может служить Лечбергский Т. в Швейцарии длиной $14^1/_2$ *км* (фиг. 105) и базисный Гауенштейнский там же.



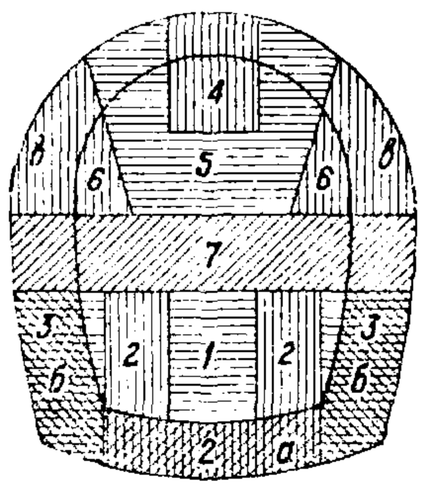
Фиг. 105.

Германский способ впервые был применен при прокладке Т. Тронкуа для канала Сен-Кантен во Франции в начале 19 в. и затем лет через 30 был перенесен в Германию. Основная идея этого способа заключается в устройстве обделки Т. в особых штольнях. Т. к. при этом основное центральное земляное ядро остается нетронутым до полного окончания стенок и свода и служит опорой для крепей и кружал, то этот способ называется еще способом центрального ядра (фиг. 106). При этом способе сначала прокладывают на месте будущих стенок *1* одну или две (или даже более) штольни. Штольни эти заполняются каменной кладкой по очертанию стенки *а*, причем прокладка верхней штольни не начинается ранее окончания каменной кладки в нижней. Для устройства свода *б* пробивается штольня *2* вверху по оси Т., и далее работы идут, как при бельг. способе (разрабатывается калотта *3* и ядро *4*, последним кладется обратный свод *в*), но только пяты свода опираются не на землю, а на готовые уже стенки. Главное достоинство этого способа заключается в том, что при разработке небольшими штольнями давление на крепи Т. сводится к минимуму и не вызывает больших осадок их. К недостаткам германского способа следует отнести большую медленность работ и высокую стоимость их, вследствие чего в горных туннелях он давно уже покинут, но снова возник при сооружении туннелей в городах, при больших пролетах (на станциях), при проходе в слабых грунтах, а также при проходе под зданиями.

Итальянский способ был применен итальянцами на коротком протяжении в Симплонском Т. при встрече с исключительно сильным давлением, а также в нек-рых итал. Т. Сущность его (фиг. 107) заключается в том, что после пробивки нижней штольни *1* с очень сильным креплением непосредственно над обратным сводом (крепления штольни в Симплоне состояли из железных балок) из штольни разрабатывают на короткое протяжение пространство для обратного свода *2* под штольней и для стенок *3* и немедленно производят кладку обратного свода *а* и стенок *б*, причем все остающееся свободное пространство между рамами штольни и выведенной кладкой также запол-



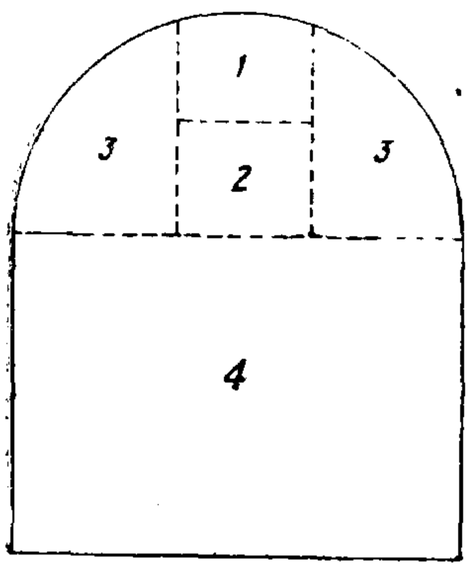
Фиг. 106.



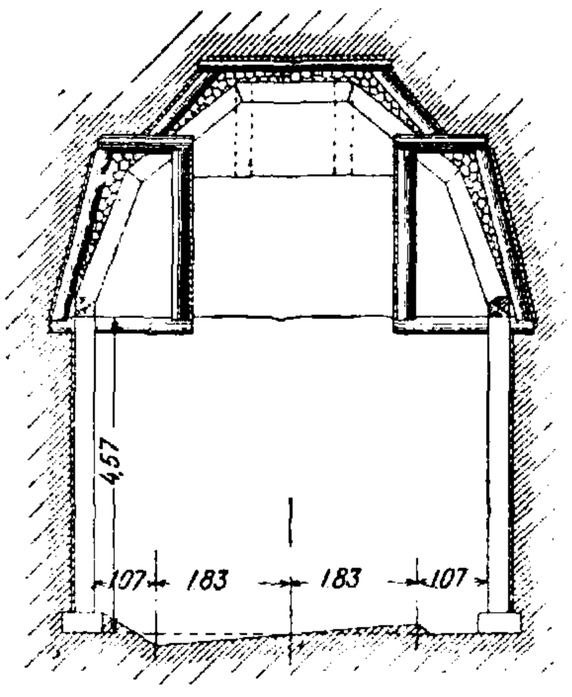
Фиг. 107.

няют кладкой на более тощем растворе. Работая т. о. последовательно небольшими секциями, создают на всем участке с сильным давлением прочную основу из обратного свода стен и зажатых рам штольни, что дает возможность приступить к верхней части Т. Для этого пробивают вторую штольню *4* меньших размеров, разрабатывают малыми частями калотты *5*, *6* и *7* и кладут свод *в*. В Симплонском Т. перед устройством постоянного свода выкладывался внутри Т. временный свод, служивший кружалами для постоянного. Способ этот обходится естественно очень дорого. В Симплоне при средней стоимости всего Т. ок. 1 400 руб. за 1 *п. м* (под один путь) работы по итал. способу на протяжении около 40 *м* обошлись около 8 400 руб. за 1 *п. м*.

Американский способ характеризует не столько метод разработки, сколько систему креплений. Возможен он только в стойких грунтах при незначительном и равномерном



Фиг. 108.



Фиг. 109.

давлении. Ход разработки ведется по схеме, изображенной на фиг. 108. Разрабатываются сначала верхняя штольня *1* и *2* по оси Т. и затем две боковых *3* с боков калотты. Получившаяся разработка крепится рядом коротких деревянных брусьев (фиг. 109), располагаемых по внешнему очертанию Т. и образующих собою своего рода свод из деревянных клиньев. В пятах брусья такого деревянного свода опираются на деревянные прогоны. После этого разрабатывается штросса *4* (фиг. 108), причем под прогоны, поддерживающие свод из деревянных брусьев, подводятся деревянные стойки. На фиг. 109 изображен Т. Канадской Тихоокеанской ж. д. Крепления иногда остаются в обделке и после открытия движения по Т.

Обрушения Т. при постройке. Обрушения строящихся Т. происходят б. ч. от недостаточности технич. надзора и от излишней погони за экономией или за темпами проходки, а иногда и от действительно непредвиденных обстоятельств. При обнаружении сильного давления, сказывающегося в деформациях крепей, необходимо немедленно приступить к их усилению, не разбирая старых. При заметном увеличении притока грунтовых вод необходимо стараться установить его причину и, если вода угрожает работам, принять меры, как при проходе в сильно водоносных грунтах. Во всяком случае средства для удаления воды должны значительно превышать возможный приток ее в Т. Необходимо следить, чтобы удаляемая вода не содержала осадков, что указывало бы на вынос вместе с водой частиц грунта. Щели между марчеванками должны в таком случае забиваться паклей, за марчеванки, где возможно, надо забивать сено, солому, ветки ельника и пр., устраивать вторую обшивку вокруг разработки с заполнением пространства между ними фильтрующим материалом. Отнюдь не следует при этом преграждать доступ воды в Т., так как при последующей разработке вода прорвется в Т. с еще большей силой, вынося с собою грунт. Необходимо только свести к безобидному минимуму вынесение земляных частей из грунта. В случае образования пустот за креплениями необходимо их заполнить глиной или вынутой породой, деревом, камнем и пр., т. к. подобного рода пустоты могут вызвать осадки и сдвиги грунта над Т. и нарушить первоначальное равновесие земляных масс горного массива, значительно увеличив давление на Т. В некоторых случаях становятся необходимыми меры консолидации грунта замораживанием или нагнетанием цементного раствора, а также силикатизацией его. Бывают случаи, когда катастрофы в Т. трудно предусмотреть, напр. при встрече с большими подземными резервуарами воды при водонепроницаемой оболочке их, когда подход к ним происходит незаметно, или при встрече со скользящими по мокрой глине глыбами скалы, оказывающими сильное сосредоточенное давление на туннельную крепь. В случае обвала Т. необходимо в первую очередь после спасания людей принять меры к пресечению дальнейших обвалов. Ближайшие к месту обвала части Т. должны быть усилены, иногда даже возведением каменных столбов, стен и т. п. Необходимо найти доступ к пустоте, образовавшейся над Т. (если есть основание предполагать, что обвал не распространился до дневной поверхности), и заполнить ее камнем, деревом, кладкой. При наличии большой воды принимают меры к осушению места обвала прокладкой дренирующих штолен или другим образом или же нагнетанием цементного раствора укрепляют грунт. Если обвал распространился до дневной поверхности и на ней образовались воронки, то эти воронки необходимо завалить глинистым грунтом, чтобы предотвратить проникание в Т. поверхностной воды. Восстановительные работы на месте обвала ведутся малыми частями с соблюдением

величайших предосторожностей. Часто применяют герм. способ, т. е. сначала пробивают штольни для стенок, производят кладку стенок и затем ведут работы по устройству свода.

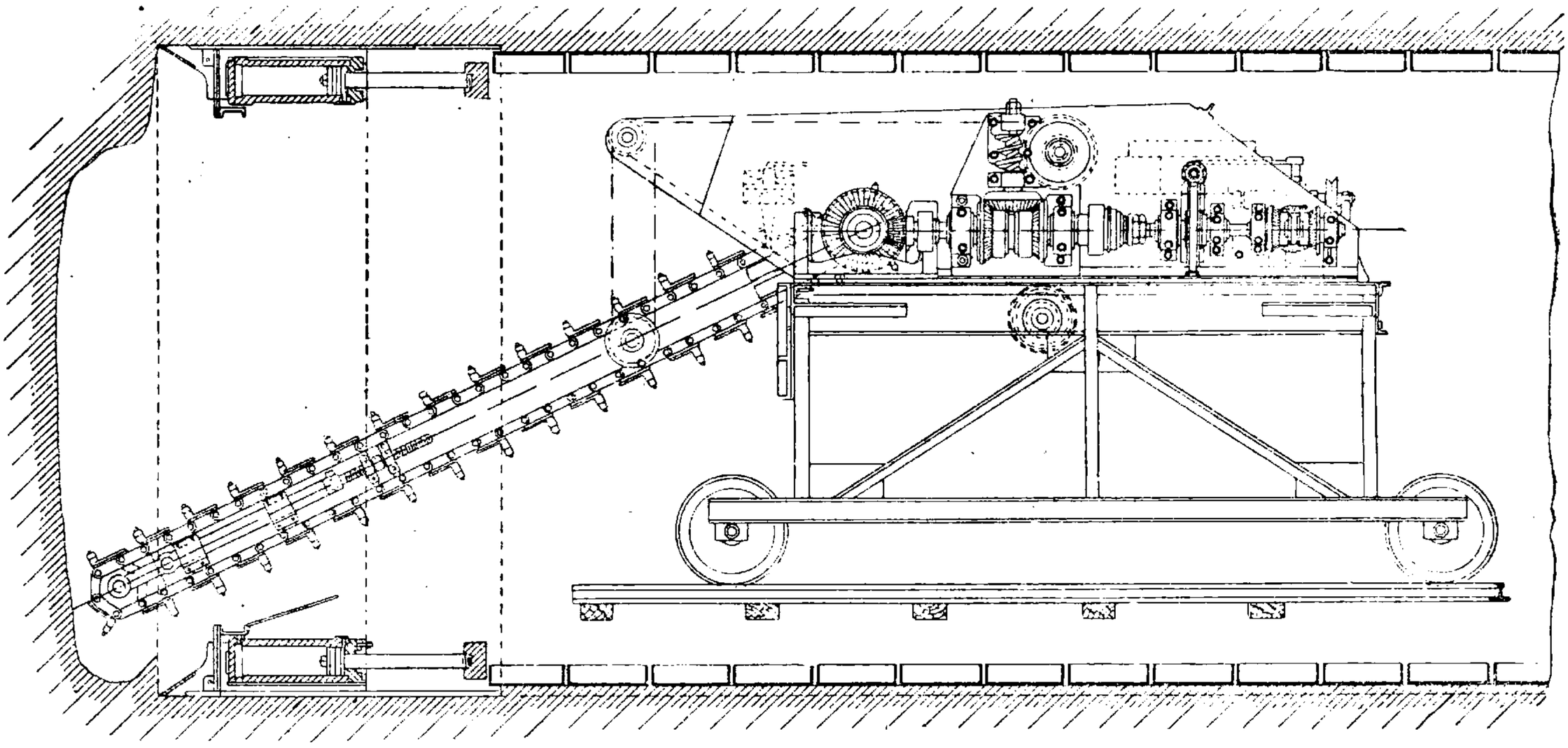
Повреждения эксплоатируемых Т. Нередко Т. спустя несколько и даже много лет после постройки подвергаются повреждениям и разрушениям. Причины этих повреждений заключаются: 1) в изменении геологических условий, существовавших до постройки, 2) в изменении состояния обделки Т., 3) в случайных явлениях и 4) в комбинации всех предидущих факторов. Изменение геологич. условий б. ч. вызывается самим же Т. Усиленный приток грунтовых вод, происходящий как при постройке, так и при эксплоатации Т. через дренирующую прослойку за сводом и окна, часто вызывает размывание грунта и вынос его в Т. Над сводом Т. образуются пустоты, вызывающие опасные падения отдельных масс грунта на свод или общий сдвиг его, усиливающий давление на Т. Но действие воды на грунт, в особенности текучей, этим не ограничивается. Она не только вымывает слабые грунты, но и разлагает грунт, часто превращая его из твердых скалистых пород в мягкую. Известны случаи разложения под действием текучей воды твердых кварцевых порфиров в глинистую массу и затем вымывание этой глины (Лагар-Аульский Т. на Уссурийской железной дороге), разложение талько-хлоритовых сланцев в глину (Уральский Т. на линии Казань — Свердловск) и много других. В суровом климате действие воды еще усиливается при этом периодич. замораживаниями и оттаиваниями грунта за кладкой, особенно чувствительными для глины. Изменение в состоянии каменной кладки Т. вызывается химич. причинами или же механическими вследствие увеличения давления и под действием мороза. Меры для борьбы с разрушениями в готовых Т. были указаны выше. Исправление повреждений в законченных Т. производится тем же способом и соблюдением тех же мер предосторожностей, как при исправлении Т., находящихся в постройке. Особое внимание при этом д. б. обращено на поддержание движения при ремонте Т. При двухпутных Т. дело решается просто. На ремонтируемом участке один путь закрывают, другой же путь переводят на середину Т., и т. о. по бокам пути остается достаточно места для постановки кружал и крепей. Кружала д. б. прикрыты сплошной опалубкой для предупреждения падения грунта и материалов на проходящие поезда. В однопутных Т. положение осложняется. Если можно не дорого устроить обходный путь вне Т., то это для работ наилучшее решение. В противном случае приходится конструировать особые крепи, не стесняющие габарита подвижного состава. Задача не всегда возможная, и тогда уже становится необходимым временное закрытие движения по Т.

Т. в городах. В отличие от горных Т. городские Т. прокладываются б. ч. сравнительно не глубоко, и потому при их сооружении не приходится встречаться с теми исключительными давлениями земли, к-рые иногда так осложняют прокладку горных Т. Другим немаловажным преимуществом неглубокого заложения городских Т. является возможность разделить прокладываемый Т. на произвольное число небольших участков, развить т. о. фронт работ и закончить линию в короткий срок. Но эти преимущества слабо искупают специфич. затруднения, возникающие при прокладке Т. в городе. Прежде всего современный город с его многочисленными потребностями располагает чрезвычайно развитой сетью всякого рода подземных сооружений: канализация, водопровод, водостоки, заключенные в Т. речки, каналы, подземные дороги, газопроводы, электрич. кабели разного напряжения и пр. Эти подземные сооружения сильно осложняют прокладку городских Т. Приходится часть трубопроводов переносить на другое место, а в отношении остальных принимать все меры предосторожности для охраны их от повреждений. Затем при трассировке Т. под улицами города трудно избежать приближения их к фундаментам зданий, а иногда приходится решаться и на проход под зданиями. Ни малейших осадок здания допускать нельзя, а потому проход под такими зданиями или даже вблизи их требует дорогих предварительных работ по укреплению их фундаментов или особых методов работ. Но и при благополучном решении этой задачи все же при прокладке Т. под улицей большого города должны приниматься особые меры против осадок грунта, т. к. даже и небольшие осадки могут вызвать порчу дорогой уличной мостовой и трамвайных путей. Наконец перед строителями Т. в городе всегда стоит задача по возможности не стеснять при производстве работ уличного движения. В зависимости от указанных затруднений, а также топографических и гидро-геологических особенностей в разных городах выработались различные типы городских Т. Немалую роль в выборе того или иного типа имеют также состояние пром-сти в стране, обеспечение ее теми или иными материалами и строительные навыки инженеров. Городские Т. устраиваются либо сводчатыми из каменной или бетонной кладки, либо с плоским перекрытием (металлическим или железобетонным), либо в виде круглых чугунных труб, называемых в Англии тюбами. Работы по прокладке этих Т. ведутся или в открытых котлованах (для плоских, а иногда и сводчатых Т.), или обычным туннельным способом на деревянных крепях (при сводчатых Т.), или при помощи т. н. щита (при тюбах, а иногда и сводчатых Т.).

Тюбы для городских туннелей получили теперь исключительное распространение в Лондоне для линий метрополитена. На первых линиях, строившихся еще в шестидесятых годах прошлого столетия, туннели прокладывались на небольшой глубине и перекрывались каменными или же кирпичными сводами, а иногда и плоскими перекрытиями, причем работы велись не туннельным способом, а сверху в перекрытых особым настилом котлованах. При таком способе пришлось предварительно производить большие работы по перекладке или предохранению от повреждений сложной сети подземных городских сооружений, находившихся на трассе метрополитена, а в Лондоне эта сеть была очень хаотична. Кроме того при узости улиц линии метрополитена часто проходили вблизи домов, под к-рые приходилось в таких случаях подводить фундаменты. Эти подготовительные работы были настолько значительны, что обходились дороже сооружения самого метрополитена, а стеснение уличного движения вызвало ропот населения и даже много исков к компании метрополитена.

При дальнейшем развитии сети в 90-х годах прошлого века лондонские инженеры, чтобы избежать пересечений с другими подземными

сооружениями, решили зарыться глубоко в землю и остановились на типе чугунных круглых труб-тюбов, прокладываемых в земле при помощи щита, что дало перед тем хорошие результаты при переходах туннелями под дном реки Темзы в Лондоне. Этот тип применяется в Лондоне и по настоящее время. Тюбы устраиваются каждый под один путь и располагаются попарно на одну двухпутную линию. Они проходят на глубине 12—30 *м*, не встречаясь с другими городскими подземными сооружениями, при пересечении же линий между собой они располагаются на разных уровнях. Тюб представляет собой круглую трубу диам. 3,40—3,80 *м* и состоит из отдельных чугунных звеньев, сбалчиваемых между собою. Звенья отливаются из мелкозернистого высокосортного чугуна, имеют стенки толщиной 2,5 *см*, усиленные по периметру ребрами высотою 6,3 *см*, обращенными внутрь. В стыки между звеньями одного и того же кольца зажимаются деревянные, пропитанные креозотом реечки, а в круговые швы между кольцами закладывается

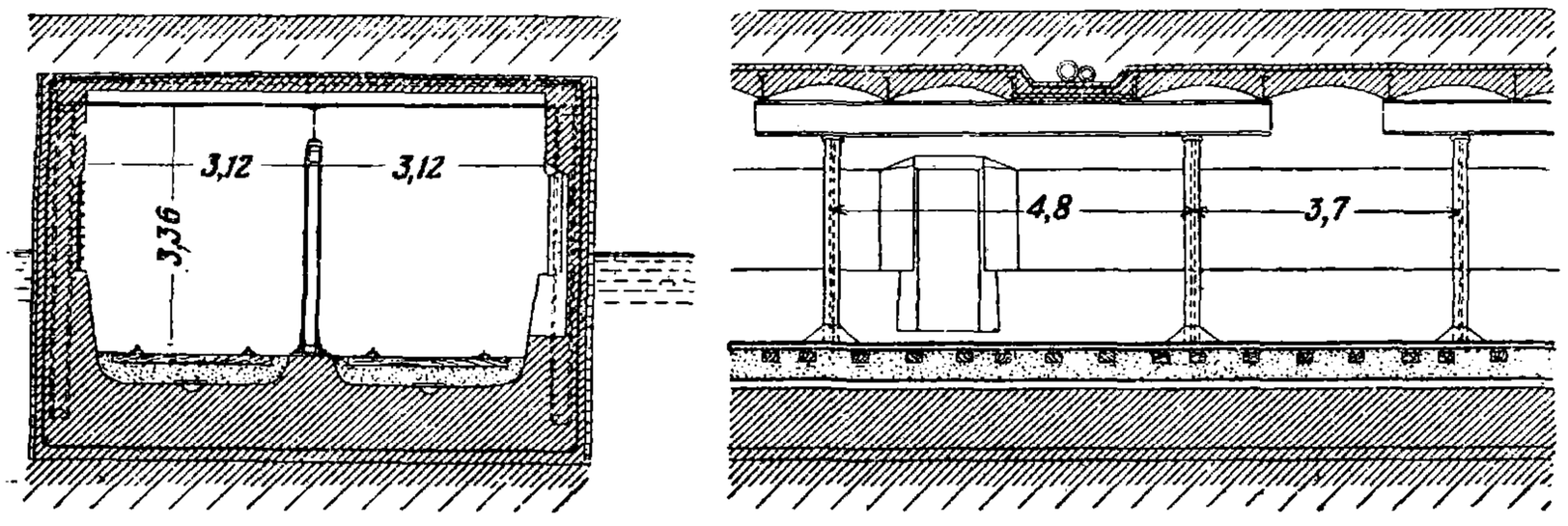


Фиг. 110.

просмоленная пенька или все стыки зачеканиваются свинцом. Вся внутренняя поверхность тюба обделывается бетоном. Для прокладки тюба применяется щит Гретхеда (фиг. 110), представляющий собой цилиндр, склепанный из железных листов, усиленный спереди чугунным кольцом, заостренным в виде резца, к-рый при продвижении щита врезывается в грунт. Задней своей частью щит опирается по своему периметру на собранные кольца тюба. Вертикальная поперечная диафрагма и продольные связи дают щиту необходимую жесткость. По окружности щита расположены гидравлич. прессы, поршни к-рых при выдвижении упираются в последнее собранное кольцо тюба и т. о. проталкивают весь щит вперед на полный ход поршня, равный длине кольца (0,46 *м*). Выемка грунта производится через прямоугольное отверстие в диафрагме щита (при помощи особого экскаватора, если грунт это позволяет). Когда щит под действием прессов продвинулся вперед на длину кольца, то под защитой хвоста, к-рый заднею своею частью опирается на последнее собранное кольцо, собирается новое кольцо, и так работа идет дальше. Небольшое кольцевое пространство, остающееся за хвостом вокруг тюба, заполняется цементным раствором, нагнетаемым под давлением в несколько *atm*. Опыт показал, что для работы щитом особенно благоприятна плотная, пластичная глина без валунов при достаточной мощности этого пласта. Работы при помощи щита в такой глине и на известной глубине не вызывают ни малейшей осадки грунта и могут вестись под зданиями без предварительного укрепления фундаментов. Именно наличие такого мощного слоя глины в лондонской подпочве и склонило англ. инженеров к применению тюбов для лондонского метрополитена. За первыми тюбами имеется уже более 30 лет существования, и после этого при непрерывно развивающейся до сих пор сети лондонского метрополитена все новые линии сооружаются в тюбах, что говорит о несомненной целесообразности этого типа в лондонских условиях. Но при работе щитом в грунтах сыпучих и особенно плывунных получаются осадки грунта, т. к. несмотря на закладку шандор впереди щита, наложение глиняных пластырей и пр. в отверстие щита устремляются частицы грунта, не только находящиеся впереди его, но и из ближайшей наружной периферии; движение грунта при этом неминуемо передается в верхние слои, что вызывает осадки на поверхности. Тюбы требуют для своей обделки большого количества высокосортного чугуна (до 3 *т* и более на 1 *п. м*), но при развитой металлургич. пром-сти Англии спрос на высокосортный чугун легко удовлетворялся, и заготовка его обходилась недорого (ок. 60 р. за *т*). Несмотря на это все же стоимость прокладки тюбов велика даже для Англии (ок. 600 р. довоенных за 1 *п. м* однопутного Т., или 1 200 р. для линии из двух однопутных тюбов). Сооружение Т. с чугунной обделкой при помощи щита применялось также на метрополитенах Нью Иорка и Парижа, но исключительно под реками или в подходах к ним и всегда с применением сжатого воздуха. Преимущественное распространение их в Лондоне находит себе объяснение в совокупности следующих трех факторов: 1) сложности и запутанности сети подземных сооружений в Лондоне, в прежнее время явившихся большим препятствием для неглубокого заложения туннеля метрополитена; 2) наличия на

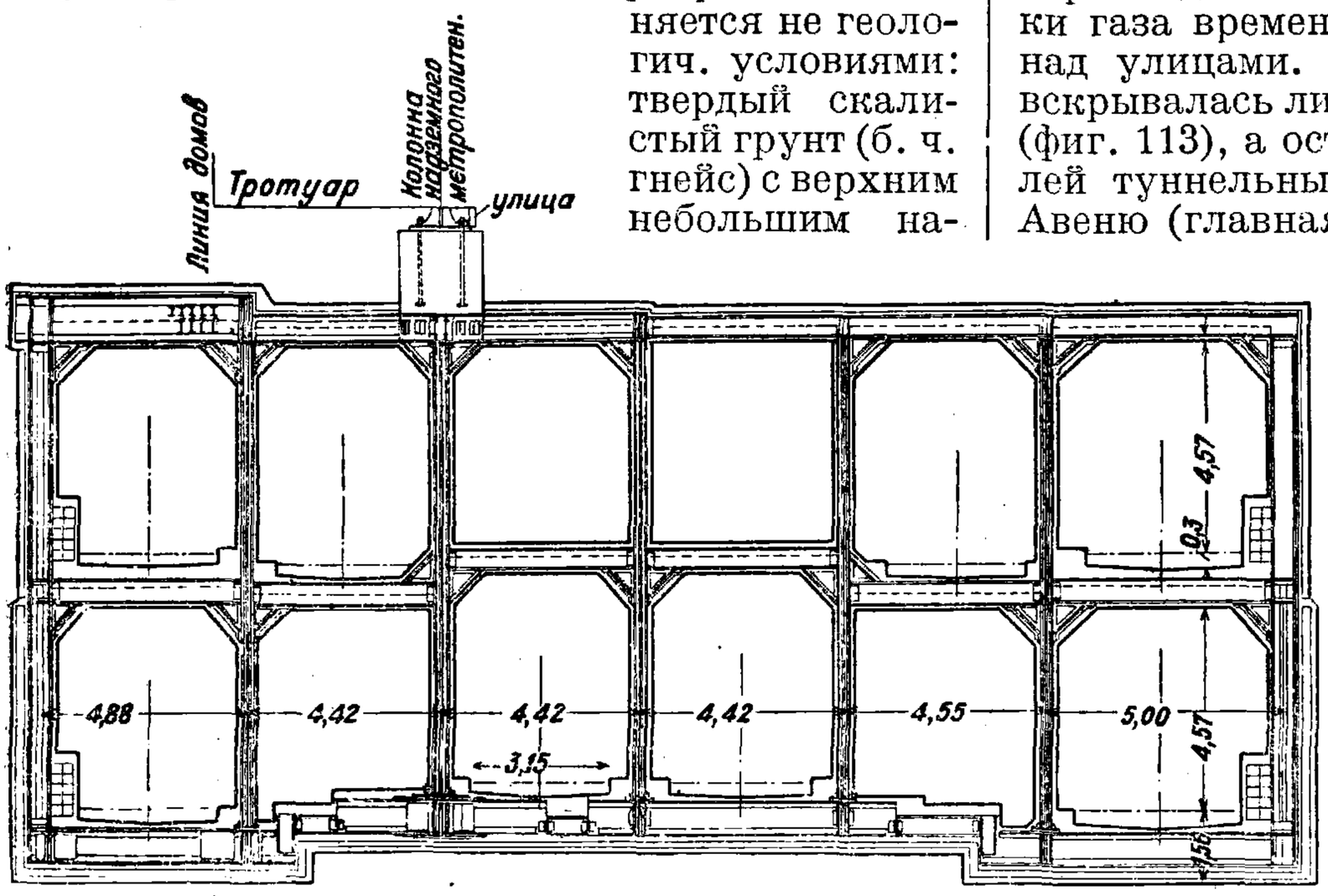
известной глубине мощного пласта плотной, пластичной глины, особо благоприятной для работы щитом; 3) сильной металлургической промышленности Англии, обеспечивающей надлежащую и недорогую заготовку чугунных колец для тюбов. Кроме того весь предыдущий опыт и навык английских инженеров к таким работам при прокладке туннеля под Темзой немало способствовали предпочтению, отданному ими этому способу и для прокладки городских туннелей.

Т. с плоским перекрытием получили преимущественное распространение в Берлине при постройке метрополитена и теперь в Нью Йорке. В Берлине были неизвестны те затруднения, какие выпали на долю Лондона при встрече с сетью других подземных городских сооружений. В Берлине подземные трубы и кабели укладываются под тротуарами. Улица от них свободна, и ее можно вскрывать, не трогая уложенных в землю сооружений. Только при пересечениях с поперечными улицами приходится встречаться со всеми подземными трубами и кабелями этих улиц. Но при такой встрече уже не представляется затруднительным пропускать эти трубопроводы над или под Т. метрополитена даже при неглубоком заложении его. С другой стороны, неглубокое заложение метрополитена диктовалось в Берлине природными условиями. Берлин расположен в долине р. Шпрее. Грунт там состоит из песчаных наносов этой реки, сильно водоносных, причем горизонт грунтовых вод начинается близко от поверхности земли. Туннельные работы в водоносных грунтах вообще тяжелы, поэтому естественно было стремление строителей берлинского метрополитена не заглубляться сильно в эти слои, тем более что расположение сети других подземных сооружений не ставило трудно преодолимых препятствий для прокладки Т. в верхних слоях, ближе к мостовой. Стремление поднять Т. метрополитена возможно ближе к мостовой предопределило и самый тип Т. Только плоское перекрытие наилучше решает эту задачу, и именно этому типу было отдано предпочтение в Берлине. Плоский тип требует большого количества металла для своего перекрытия, но для столицы Германии с ее сильной металлургич. пром-стью расход на металл не мог являться препятствием. Берлинские Т. устраиваются двухпутными и состоят обычно (фиг. 111) из двух бетонных стенок, соединенных внизу общим бетонным лотком и перекрытых сверху потолком, подпертым по середине стойками. Самый потолок состоит из бетонных сводиков между поперечными двутавровыми балками, уложенными на стенки и средние прогоны, поддерживаемые стойками. При сильных давлениях земли стенки армируются также двутавровыми балками, приклепываемыми к поперечным балкам перекрытия. Для защиты от грунтовых вод весь Т. обертывается двумя или тремя рядами толя с промазкой из клебемассы. Эта изоляция прикрывается бетонной рубашкой. В последнее время появилась тенденция устраивать Т. без средней стойки. Работы ведутся в открытых котлованах. При узости нек-рых улиц линии метрополитена подходят довольно близко к домам, причем дно котлована в общем было ниже фундаментов домов. При слабости грунта перед строителями прежде всего стояла задача не допустить высасывания его вместе с водой при водоотливе и пресечь всякие утечки грунта через стенки ограждений котлована. Иначе неизбежные осадки грунта могли бы вызвать повреждения ближайших к котловану зданий. Для работ был повсеместно применен метод искусственного понижения грунтовых вод путем откачки воды из трубчатых колодцев, расположенных вдоль трассы Т. В Берлине он увенчался полным успехом. Откачиваемая через трубчатые колодцы вода при анализе оказывалась совершенно чистой без малейшей примеси частиц земли. Добившись понижения грунтовых вод ниже дна котлована, строители могли вести работы в нем насухо. Общий ход работ следующий. Сначала забиваются вдоль наружных очертаний будущего Т. сваи из двутавровых балок длиной 10 *м* на расстоянии 2 *м* друг от друга. После этого вскрывается мостовая и приступают к рытью котлована, закладывая по мере углубления его доски за полки двутавровых свай. Верхние концы двутавровых свай при этом распираются бревнами на клиньях. Доски в случае надобности припазовываются и конопатятся. Как только показываются грунтовые воды, пускают в действие насосы заготовленной заранее системы трубчатых колодцев и понижают до требуемой глубины уровень грунтовых вод. Когда котлован доведен до конца, устраивают бетонную подготовку для изоляции на дне и стенках котлована. На бетонную подготовку дна и стен накладывают изоляционный слой из рядов толя на асфальтовом гудроне, и после этого происходит набивка бетоном лотка Т. Затем на окрепшую бетонную кладку лотка ставят стойки, собирают весь металлич. каркас Т., бетонируют стены, бетонируют сводики между балками перекрытия, причем прекращают откачку воды, укладывают изоляцию сверху перекрытия и бетонный предохранительный слой. По окончании работ Т. мостовую приводят в первоначальный вид, а двутавровые сваи вытаскивают; для предупреждения сцепления с бетоном эти сваи предварительно обертывают кровельным железом. В тех случаях, когда не разрешалось прерывать движение на улицах, работы велись тем же порядком, но только котлован перекрывался сплошным настилом из брусьев и досок. Для этого к забитым для ограждения котлована двутавровым сваям приклепывали в верхней части прогоны из швеллерных балок, на них укладывали поперечные двутавровые балки, на к-рые накладывали обрезные деревянные брусья (16 × 30 *см*) и затем сплошной дощатый настил. Работы по устройству настила производились в ночное время.



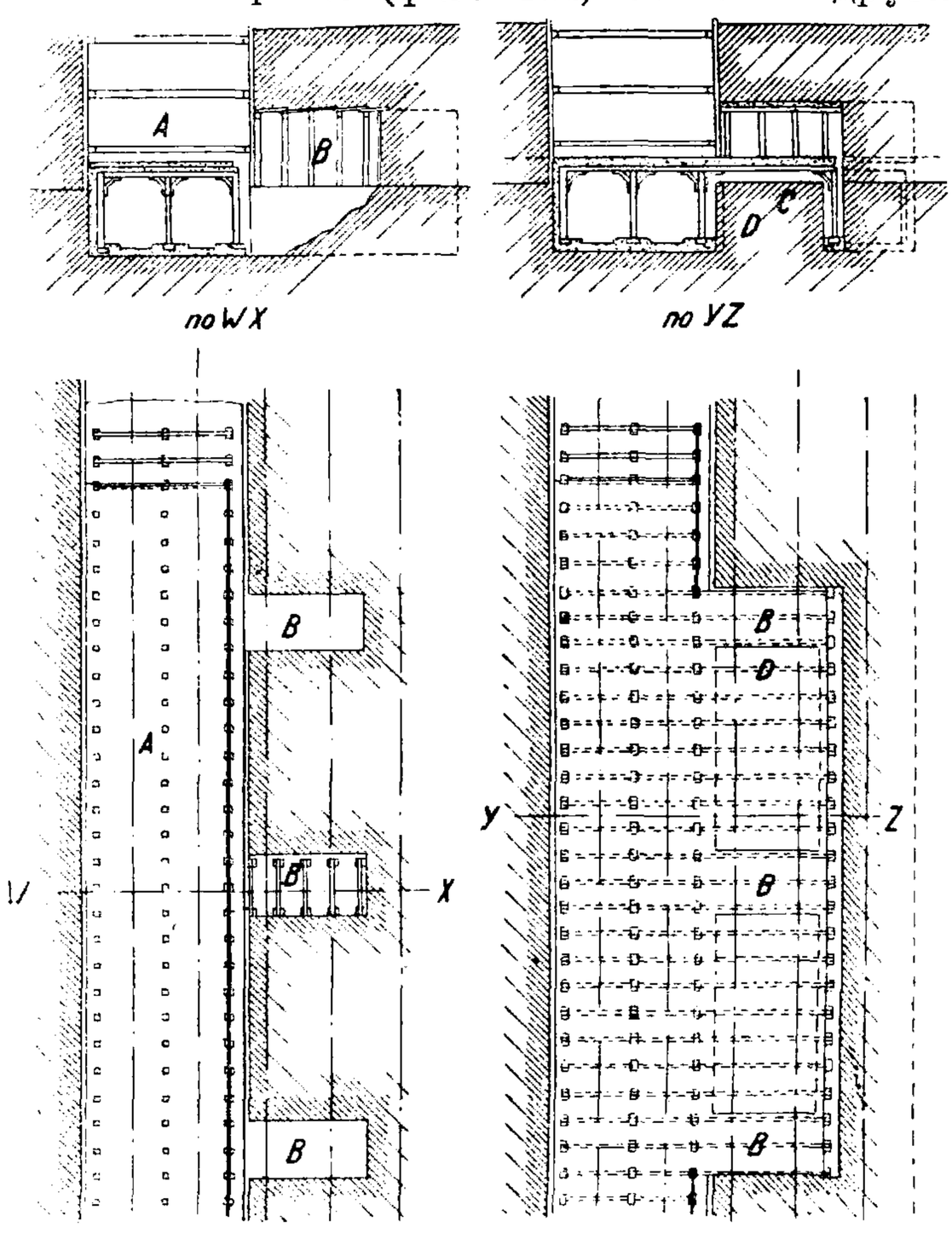
Фиг. 111.

Т. с плоским перекрытием в последнее время широко применялись на метрополитене в Нью Йорке, хотя там строились также Т. сводчатые и тюбы (при пересечении рек). Но в Нью Йорке применение плоского перекрытия объясняется не геологич. условиями: твердый скалистый грунт (б. ч. гнейс) с верхним небольшим напластованием лессовых отложений был одинаково неблагоприятен и для сводчатого и для плоского перекрытия. Предпочтение, отданное в настоящее время последнему типу, находит себе объяснение в условиях планировки и жизни великого американского города. Центральная часть Нью Йорка расположена на узком сильно вытянутом полуострове Манхатан. Главные улицы этой части (авеню) направлены вдоль полуострова, в этом же направлении преимущественно движутся и массовые людские потоки, к-рые при лихорадочной, интенсивной жизни Нью Йорка достигают больших размеров. При сооружении подземного метрополитена прокладки одной двухпутной линии под такими авеню было недостаточно. Помимо нормальных линий с обычными небольшими расстояниями между станциями в Нью Йорке пришлось строить независимо от них параллельные линии с большими перегонами, где скорости значительно повышены. Таких линий (тихоходов и скороходов) имеется по четыре и больше под одним авеню. Естественно, что при таком количестве параллельных туннельных линий под одной и той же улицей их сечение для более компактной укладки д. б. прямоугольным, т. е. с плоским перекрытием.



Фиг. 112.

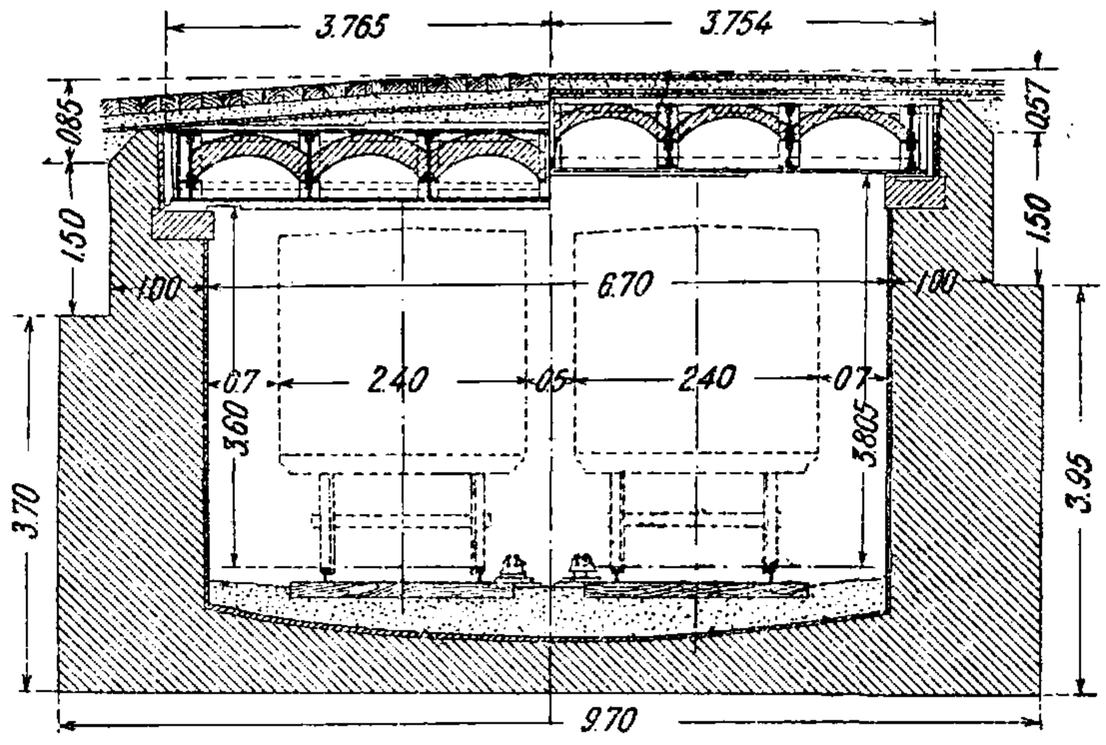
Примером такого расположения могут служить туннели под Лексингтон-Авеню, а также туннели недавно построенных линий в Нью Йорке (фиг. 112). Туннели с плоским перекрытием для ньюиоркского метрополитена устраивались обыкновенно из железных балок и стоек, напоминая собою конструкцию берлинского метрополитена. Иногда, когда можно было располагать некоторым временем, чтобы дать схватиться бетону, балки и стойки устраивались железобетонными. Там, где можно было не считаться с уличным движением (в парках, на больших площадях), работы по прокладке Т. велись в открытых котлованах. На улицах же с б. или м. интенсивным движением котлованы перекрывались для проезда деревянным настилом, под к-рым и производились работы. Стеснение уличного движения при этом ограничивалось только временем работ по устройству перекрытия. Все мешающие работам подземные канализации предварительно перекладывались на новое место, а для проводки газа временно подвешивались газопроводы над улицами. В иных случаях при работах вскрывалась лишь часть улицы около тротуара (фиг. 113), а остальные работы велись под землей туннельным способом, как напр. на 5-й Авеню (главная улица Нью Йорка), где полное вскрытие мостовой не было допущено даже и на короткое время. Грунт в этом месте был типичный ньюиоркский—вверху песчано-глинистый, внизу—скала. Работы начинались с устройства траншеи *A* вдоль тротуара, в к-рой прокладывалась первая линия. Прокладка остальных параллельных линий велась подземным способом. Для этого пробивали над будущим Т. поперечные штольни *B* обычным туннельным способом с забивкой марчеванок. Затем эти штольни углубляли и в них закладывали балки для потолка будущего Т., а также столбы (для чего прорезывалась особая траншея *C* в скале). По окончании потолка можно было под защитой его разработать и убрать ядро скалы *D*. Плоские Т. устраивались также в Будапеште, Токио, Сиднее, в виде исключения в Париже (фиг. 114) и многих других



Фиг. 113.

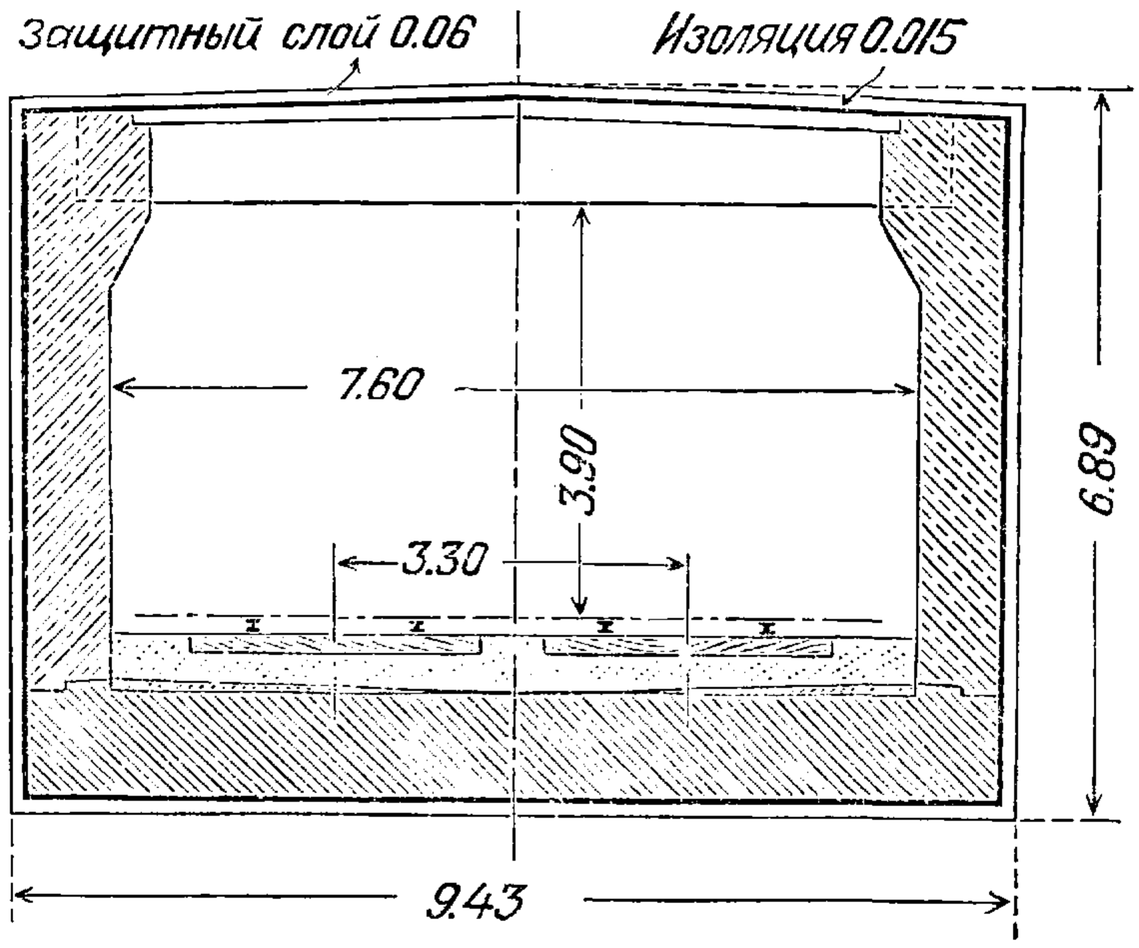
городах. В Париже работы велись несколько иначе. Сначала в узких траншеях прокладывали стенки Т., что мало стесняло уличное движение. Затем вскрывали улицу и на стенки укладывали плоское перекрытие. Работы эти были связаны с перерывом уличного движения, но на короткое сравнительно время, так как

основное земляное ядро туннеля не разрабатывалось и оставалось под фермами перекрытия. После укладки перекрытия мостовую восстанавливали в прежнем виде, и земляные работы по разработке ядра вели под защитой уложенного перекрытия. При сооружении московского



Фиг. 114.

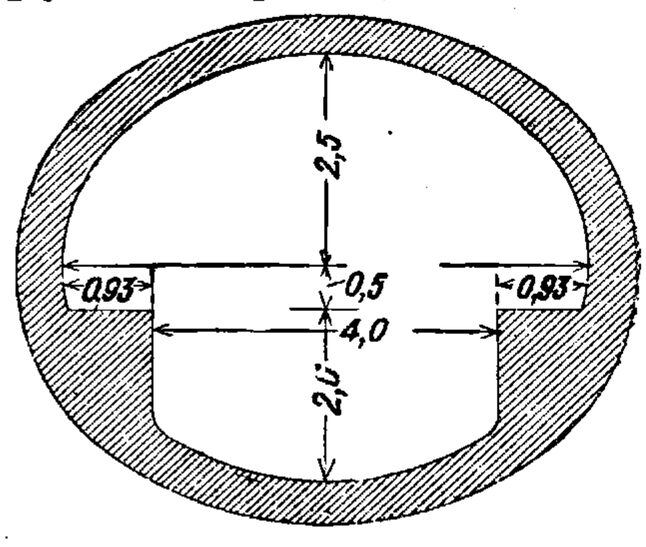
метрополитена плоское перекрытие Т. устраивается железобетонным. Примером может служить Т. на перегоне Краснопрудной ул. (фиг. 115). При постройке применяется понижение горизонта грунтовых вод. В ответственных и людных участках котлован перекрывается настилом, в других местах работы производятся открытым способом. Подземное хозяйство в данном случае частью перекладывается, частью подвешивается. Сложную задачу представляет собою проход плоским туннелем под существующими зданиями. Здесь получаются самые разнообразные решения в зависимости от частных случаев: например сначала про-



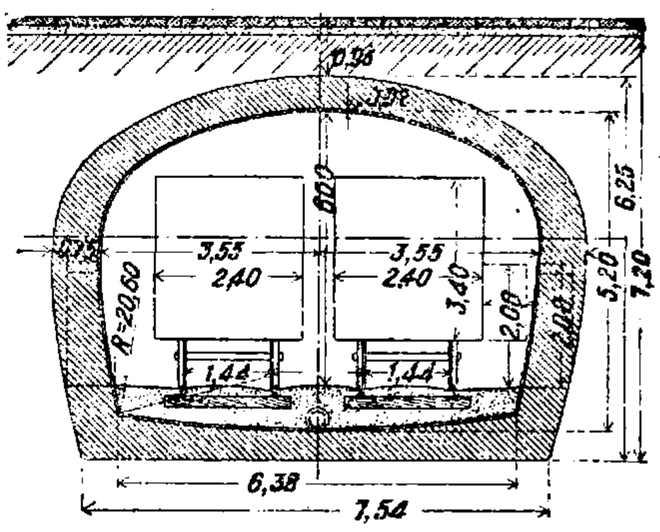
Фиг. 115.

кладывают под здание стенки, окаймляющие будущий Т. (для устройства их в фундаменты закладывают в штробах металлич. балки, разгружающие стены над котлованами), затем на эти стенки передается посредством балок вся тяжесть здания. После этого между стенками прокладывают без затруднения самый Т.

Сводчатые Т. в городах. Сводчатые Т. прокладывались во многих городах, но преимущественное распространение получили в Париже, и для этого были свои основания. В Париже схема расположения городских подземных сооружений иная, чем в Лондоне и Берлине. В Париже принята система общесплавной канализации, т. е. в канализационные трубы попадают и домовые и ливневые воды с мостовой. Этим трубам всюду даны большие размеры, дающие возможность рабочим проходить внутри (высота не менее 1,80 *м*). В этих трубах обычно расположены все водопроводные, воздухопроводные (сжатый воздух) и прочие трубы, а также всякого рода кабели. Таким образом середина улицы в Париже, как и в Берлине, обычно свободна от подземных сооружений, и лишь на перекрестках каждая улица пересекается поперек большими трубопроводами встречной улицы. Трубопроводы эти в отличие от берлинских настолько велики, что переустройство их (дюкеры и пр.) для пропуска туннеля вызвало бы большие затруднения и сильно осложнило бы всю хорошо налаженную систему городского подземного хозяйства. Поэтому парижские инженеры, как общее правило, не заглубляя своих Т., как в Лондоне, все же были вынуждены проводить их ниже сети своей канализации, т. е. несколько глубже, чем в Берлине. Переустройство подземных коллекторов было ограничено действительно необходимыми случаями. Грунт в Париже, за исключением высот Монмартра, Бельвиля и др., в верхних своих слоях состоит из аллювиальных отложений Сены, преимущественно песчаных, иногда водоносных и при тонкозернистости породы переходящих местами даже в плывун. В пески иногда вклиниваются глина и суглинки. Аллювии эти покрыты слоем насыпного грунта, достигшего местами значительной толщины (до 10 *м* у площади Бастилии). Аллювии покоятся непосредственно на довольно мощном слое известково-мергелистого грунта, большей частью влажного, или на песках Фонтенебло, обычно пропитанных водой. Скала (гипс, известняки, мел) расположена сравнительно глубоко. Туннели в центральной части города редко задевали нижние слои и прокладывались главным образом в слоях аллювия или в насыпном грунте. Проход щитом в таких грунтах хотя и возможен, но, как теперь определилось, вызывает известные затруднения, осадки и пр. при неглубоком заложении Т., т. ч. в Париже после многих опытов отказались от способа щитовой разработки, оставив этот способ только для прохождения под Сеной или для прохода вообще на большой глубине. Устройство плоского перекрытия со вскрытием котлованов сверху на сравнительно большой глубине было бы неэкономично и нерационально, и в Париже этот тип встречается как исключение. Работы по прокладке сводчатых Т. в Париже велись почти исключительно туннельным способом. Методы работы сильно варьировались в зависимости от породы



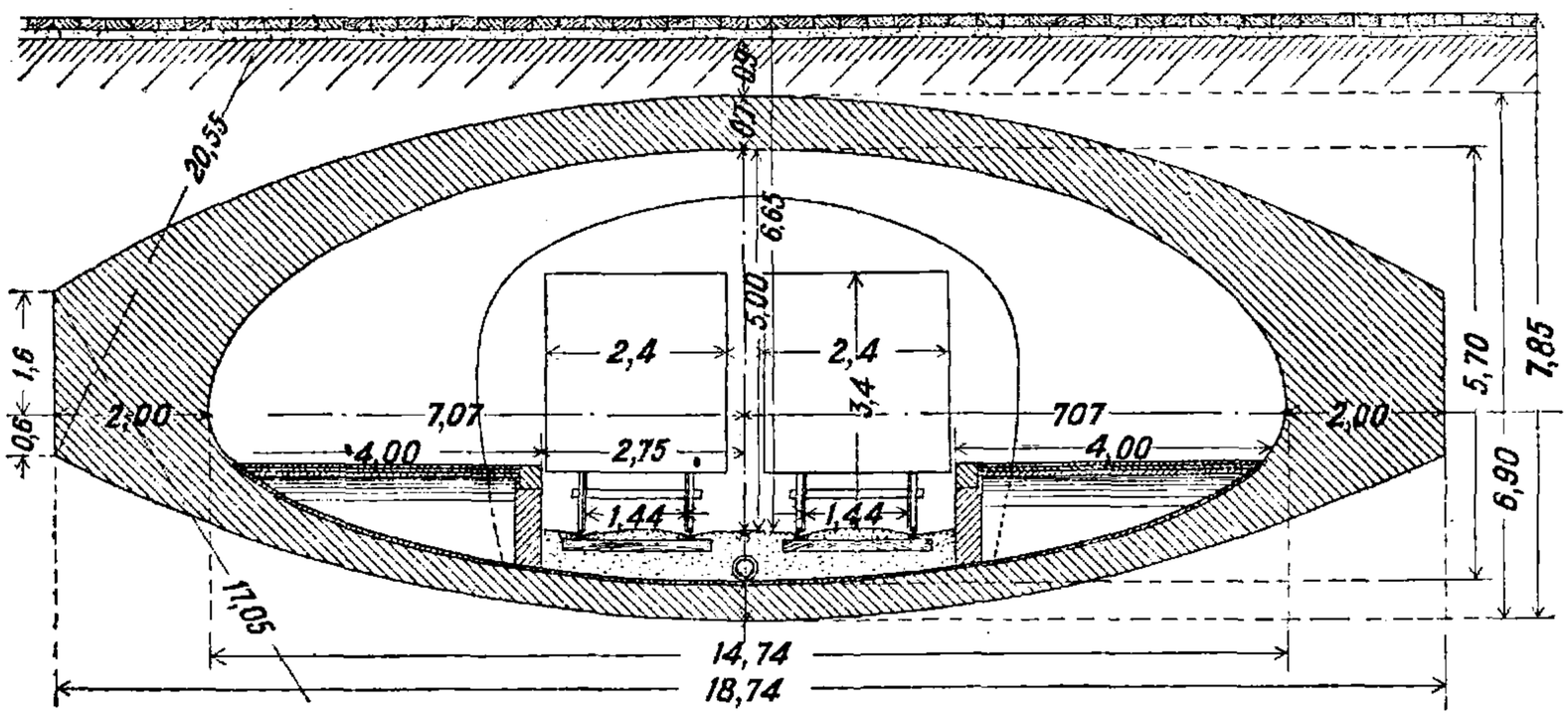
Фиг. 116.



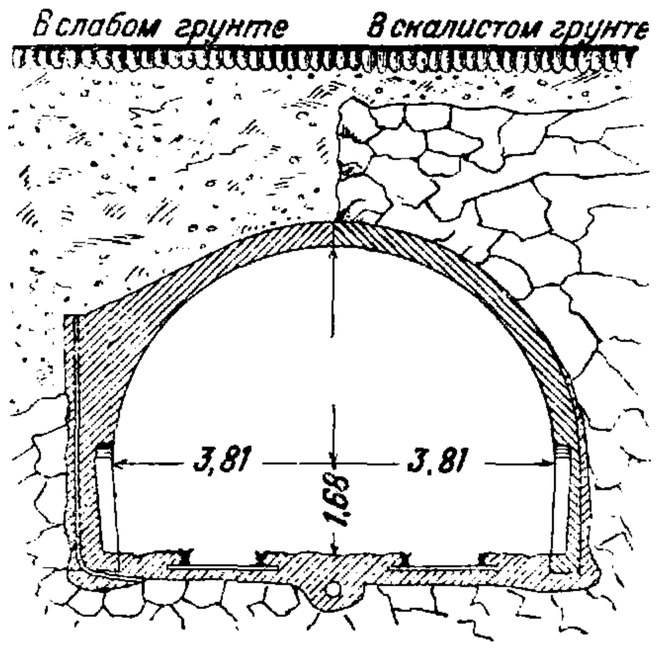
Фиг. 117.

грунтов, их водоносности, глубины заложения Т., величины его пролета, а также расположения соседних зданий, но в общем при средних условиях прокладки доминировал бельгийский способ, который особенно пригоден и дает большую экономию для Т. небольшого протяжения, тогда как при длинных он задерживает ход работ. При прокладке же городского Т., даже и большой длины, его всегда можно разделить на произвольное число небольших участков, соединив каждый участок с поверхностью улицы особой вертикальной шахтой, и разрабатывать эти участки самостоятельно, широко развернуть фронт работ и быстро закончить сооружение. Применение бельгийского способа было обусловлено не только его сравнительной экономичностью, но также и тем, что при этом способе туннельная разработка остается очень недолго на крепях и быстро прикрывается сводом, а потому он дает больше гарантий против осадок грунта. Типичным примером парижских Т. служат: коллектор для канализации (фиг. 116), Т. метрополитена (фиг. 117), подземная станция (фиг. 118), Т. для ж. д., проведенной к центру города (фиг. 119). В более слабых грунтах применялся для метрополитена усиленный тип (фиг. 120), и стенки при этом устраивались раньше свода в особых котлованах из калотты или применялся герм. способ. Иногда грунт под стенками оказывался настолько слаб, что их приходилось основывать на опускных колодцах. Эти колодцы опускались с поверхности земли и заполнялись бетоном или из котлована стенки при разработке Т. без вскрытия мостовой. Тип Т. на станции Бостонского метрополитена показан на фиг. 121, а способ работ (германский) на фиг. 122.

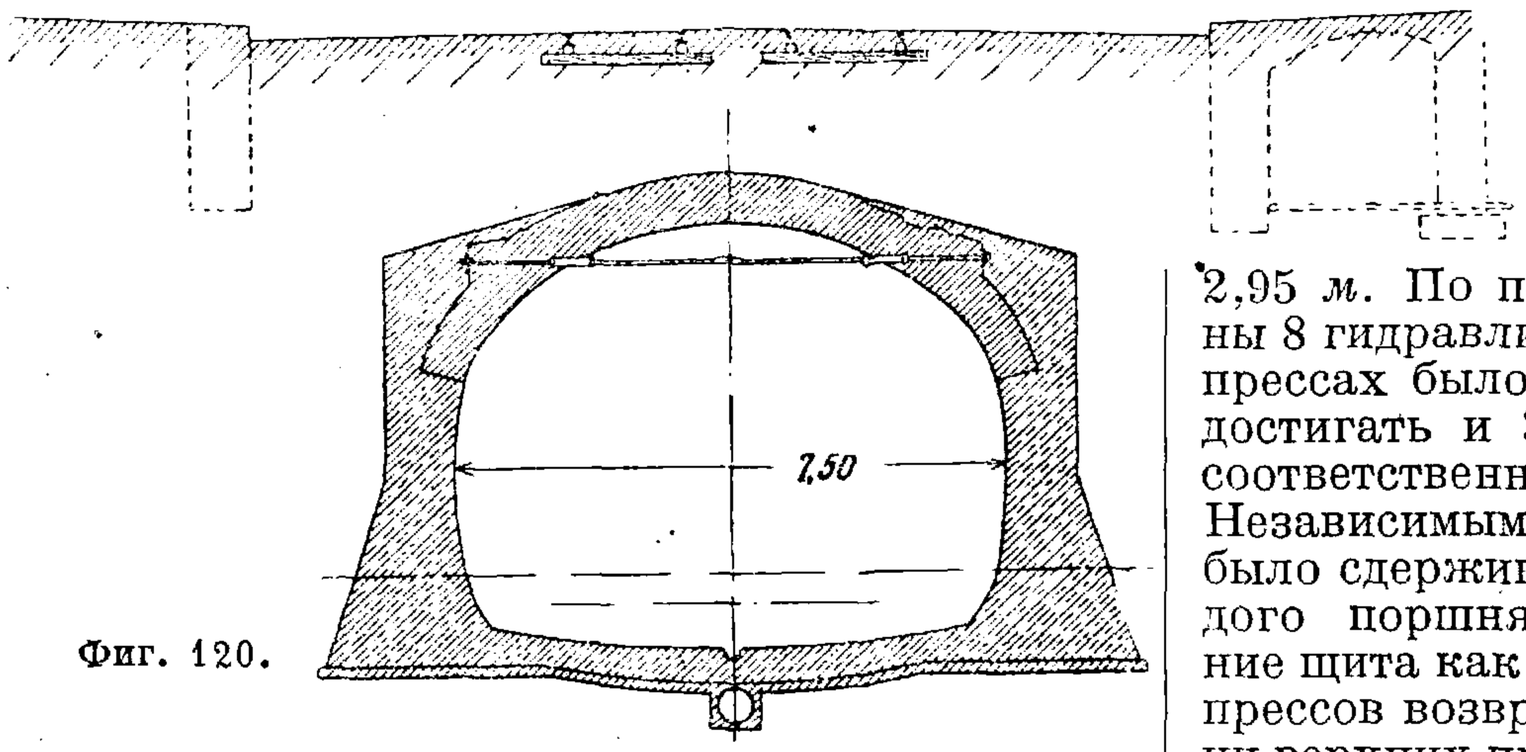
В Париже для сооружений сводчатых Т. из каменной кладки с успехом применяли иногда и щитовой способ. Для того чтобы щит при продвижении не мог повредить свежую, еще не схватившуюся каменную кладку, поршни гидравлич. домкратов, продвигавших щит, упирались не в обделку (как это делается в чугунных тюбах), а в металлич. кружала, расставленные на большую длину по Т. сзади щита. Давление от поршней передавалось т. о. через трение на большое протяжение уже схватившейся кладки. Примером устройства такого щита может служить щит, применявшийся при прокладке Т. для коллектора Клиши в Париже. Сечение коллектора показано на фиг. 116; несмотря на слабые размеры обделки и большую пологость свода, оно оставалось постоянным на всем протяжении Т. (2,5 *км*), хотя высота слоя земли над Т. менялась от 0 до 40 *м*. Щит (фиг. 123) состоял из брони, составленной из листов котельного железа и изогнутой по внешнему очертанию Т. (эллипс с большою осью 7,28 и малою 5,92 *м*). Для жесткости броня поддерживалась двумя эллиптич. диафрагмами-фермами на расстоянии 1,82 *м* друг от друга, ограничивающими среднюю часть щита, где были установлены гидравлич. прессы (фиг. 124). Передняя часть щита составляла 2,50 *м*, а задняя (хвост) 2,95 *м*. По периметру щита были расположены 8 гидравлических прессов. Давление воды в прессах было в среднем ок. 60 *atm*, но могло достигать и 300 *atm*, сила же продвижения соответственно колебалась от 200 до 1 200 *т*. Независимыми друг от друга кранами можно было сдерживать или усиливать давление каждого поршня и регулировать т. о. продвижение щита как в плане, так и по высоте. Поршни прессов возвращались назад зубчаткой. Поршни верхних прессов были на 0,60 *м* (т. е. на длину продвижения щита) длиннее, чем у нижних и средних. Металлич. кружала числом 31 с распорками между ними служили упором для поршней, причем нижняя часть кружал ставилась на 0,60 *м* вперед, что соответствовало разнице в длине поршней, указанной выше. В забое земляные работы велись сразу в трех ярусах (с двух горизонтальных платформ и внизу). Разрабатываемый грунт по транспортеру в 25 *м* длиной подавался назад в вагонетки, отвозимые небольшим электровозом. Каменная кладка следовала непосредственно за



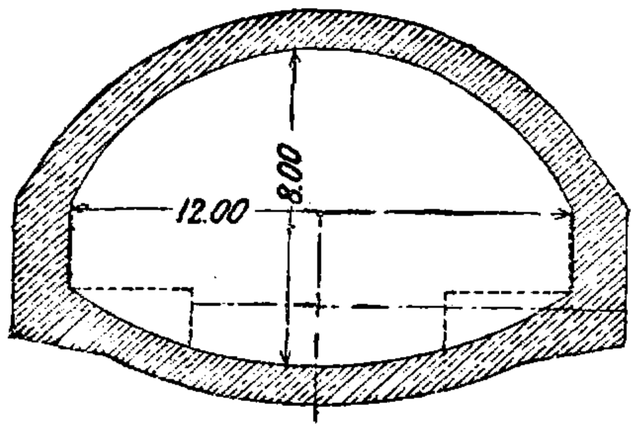
Фиг. 118.



Фиг. 119.

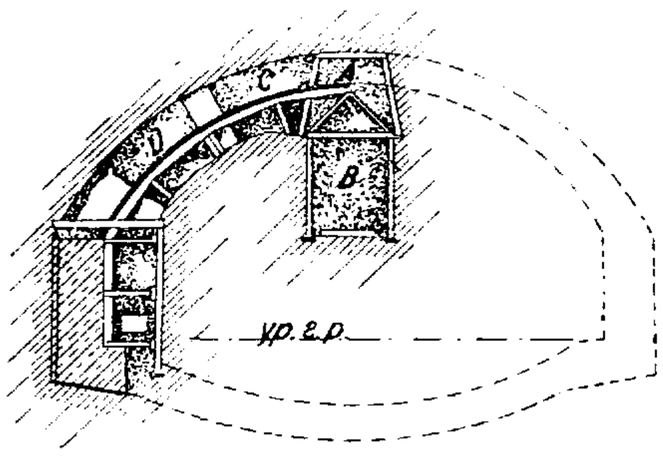


Фиг. 120.

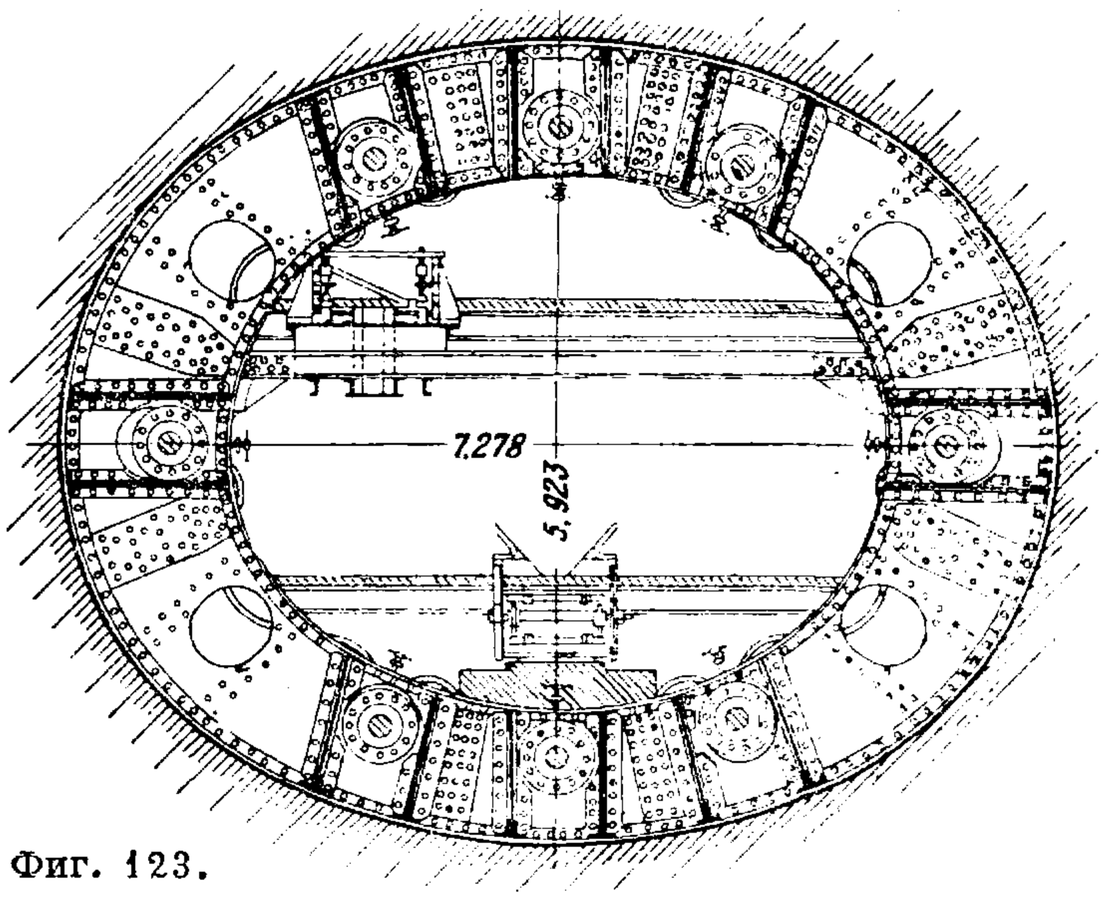


Фиг. 121.

земляными работами и велась в трех ярусах. В первых двух ярусах каменщики вели кладку внизу на 0,60 *м* впереди верхней, в последнем ярусе кладка заканчивалась вверху. Для обслуживания каменных работ были устроены подмости с наклонною плоскостью. Так как при продвижении щита за ним оставалось небольшое кольцевое пространство, соответствующее толщине листа брони щита, то для предупреждения осадок грунта оно немедленно вслед за продвижением щита заполнялось цементным раствором под давлением. Успешность была в среднем 3,5 *м* в день при стоимости 350 руб. за 1 *п. м*, считая все расходы по амортизации и прибыль контрагента. При сооружении метрополитена в Париже также применялся щит или вернее полущит (т. к. он служил для прокладки только верхней части Т.—свода, нижняя же часть—штросса и стенки—разрабатывалась под защитой уже возведенного свода, как при бельг. способе). Однако способ этот для Т. метрополитена дал неблагоприятные результаты,



Фиг. 122.

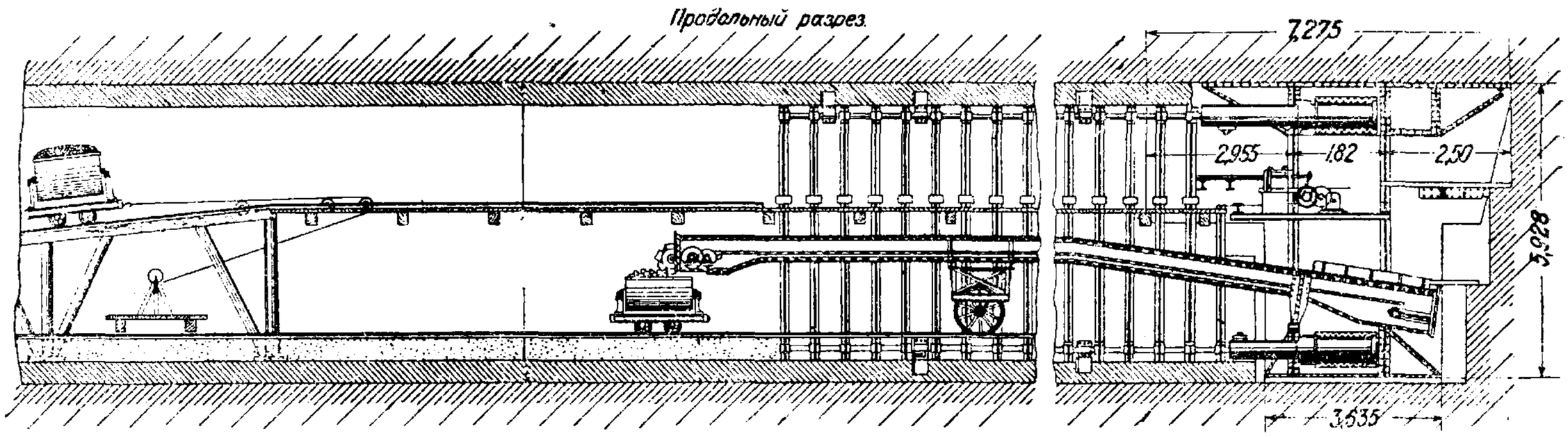


Фиг. 123.

гл. образом вследствие неглубокого заложения Т. При проходе щита в слабых грунтах грунт под давлением вышележащих слоев, проникая в широкое отверстие щита, увлекал за собой частицы земли из вышележащих слоев, что вызывало осадки мостовой. С другой стороны, при неоднородности состава верхних слоев почвы в городе щит, встречая при своем продвижении неодинаковое сопротивление по своему периметру, иногда сразу делал прыжок в сторону или вверх. Бывали даже случаи подъема мостовой на 80 *см*. Кроме того применение щита с постоянным сечением предполагает, что и сечение Т. тоже должно оставаться постоянным, тогда как в Т. метрополитена приходится часто менять тип Т. на станциях или специальных камерах. Вообще работа со щитом с успехом может производиться только на известной глубине, когда щит плотно зажат в окружающей его породе и не может делать при продвижении внезапных прыжков. В Москве при сооружении участка метрополитена щитовым способом применяется обделка из бетонных блоков. Эти блоки укладываются на место при помощи эректора, установленного на особой тележке, движущейся сзади щита. Верхнее полукольцо обделки временно поддерживается металлич. кружалами из двутавровых балок, установленных на той же тележке. Самый щит, как и тележка, сконструирован по типу, применявшемуся в Нью Йорке для Бруклинской линии метрополитена и в Детройте для фордовского водопровода.

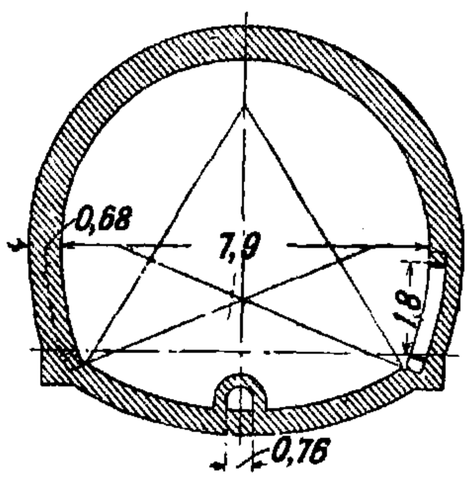
Т. в сильно водоносных грунтах и под водой. Способы разработки Т. в сильно водоносных грунтах и под водными потоками очень разнообразны. В технике подводного туннельного дела известны: 1) обычный туннельный способ на крепях; 2) способ щитовой разработки; 3) способ опускных кессонов; 4) способ открытых котлованов за перемычками; 5) способ погружения; 6) способ водонепроницаемого потолка.

Разработка Т. под водой обычным туннельным способом на крепях без принятия особых мер против прорыва воды в Т. представляет большую опасность и допустима лишь после тщательного обследования грунтов в отношении их прочности, водонепроницаемости и отсутствия трещин. Т. о. были проложены два Т. для чикагского водопровода под озером Мичиган на длину свыше 3 *км*. Оба туннеля прокладывались в синей компактной глине. Оба были овоидальной формы: один 1,60 *м* высоты и 1,52 *м* ширины с кирпичной обделкой в 20 *см*, другой—в 2,19 *м* высоты и 2,14 *м* ширины с кирпичной обделкой в 28 *см*. Т. были проложены на глубине от дна озера более 9 *м*, и благодаря однородности слоя глины, находившейся над ним, работы по пробивке Т. прошли совершенно спокойно, без фильтрации воды. Успешность работ была в среднем ок. 4,5 *м* в сутки. Работали в три смены: две смены (16 час.) на выломке грунта и креплениях и одна смена (8 час.) на кладке. Стоимость первого Т. выразилась цифрой ок. 120 р. за 1 *п. м*, а второго—180 р. за 1 *п. м*. В Англии был проложен обычным туннельным способом Т. для двухпутной ж. д. под заливом



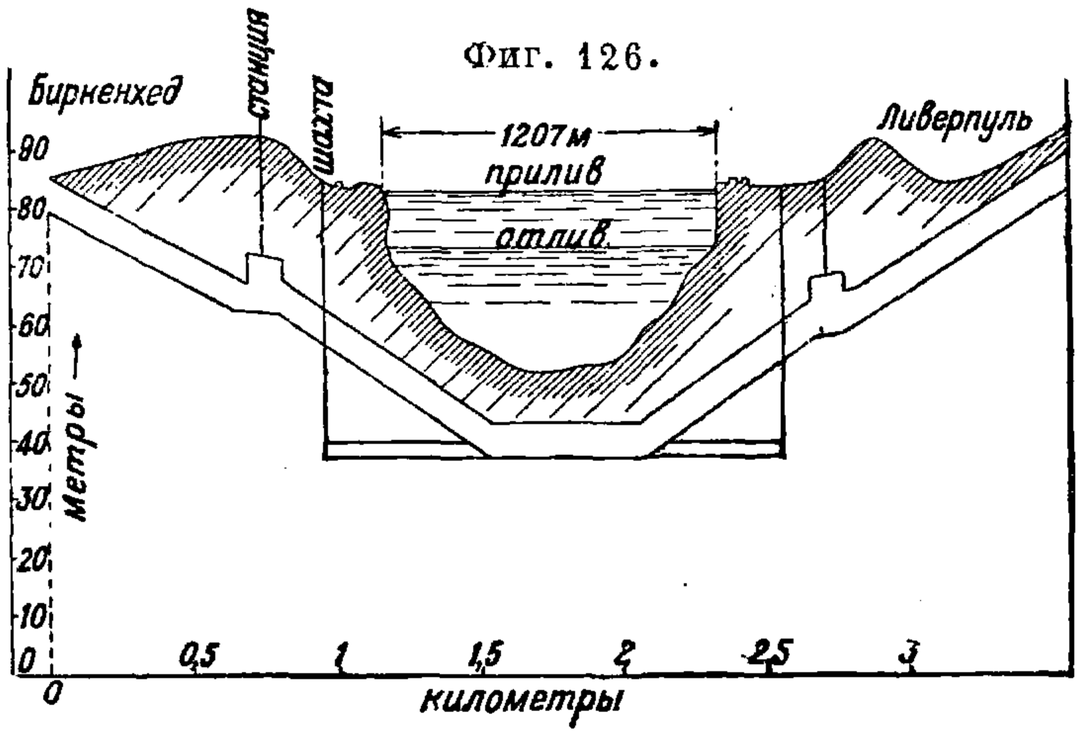
Фиг. 124.

Северн на длину свыше 7 *км*. Т. был пробит в скале, на глубине ок. 10 *м* от дна, при глубине воды во время прилива 25 *м*. Обделка Т. была из кирпичной кладки на цементном растворе 1 : 2. Толщина свода, стенок и лотка всюду была одинакова — 0,46 *м* или 0,68 *м* в зависимости от свойств грунта (фиг. 125). Работы велись по бельг. способу с прокладкой нижней дренирующей штольни. Были встречи с источниками, имеющими значительный дебит воды, несколько раз останавливавшими работы. Для предохранения свежей кладки от повреждения грунтовыми водами ее прикрывали или железными листами или гудронированными листами толя. Кладка велась кольцами по 5—7 *м*, а в более слабых местах по 3—4 *м*. Крепления велись с большою тщательностью, рамы штольни укладывались через 0,75 *м*. Другой Т. по тому же способу был сооружен под рекою Мерси между Ливерпулем и Биркенхедом, общей длиной свыше 3,5 *км* и протяжением под рекою 1,2 *км*. Т. построен под двухпутную ж. д. Грунт состоял из красного песчаника, прикрытого слоем глины, и хотя глина должна была служить хорошим водонепроницаемым слоем и заполнять собою все трещины в скале, все же являлись опасения сильных фильтраций воды. Поэтому Т. был проложен на значительной глубине под дном реки (не менее 9 *м*, считая от шелыги свода). Для удаления воды была пробита специальная штольня (фиг. 126) от нижней средней части Т. до шахт,



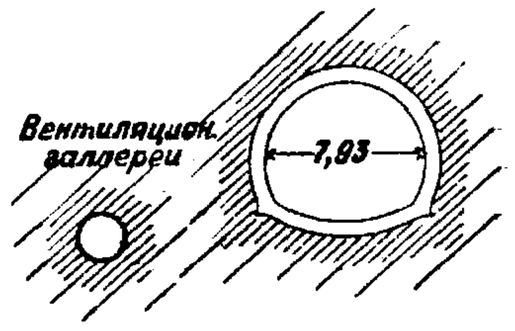
Фиг. 125.

Фиг. 126.



устроенных на обоих берегах реки. Кроме того в каждой шахте был устроен резервуар емкостью 360 *м*³, т. ч. в случае перерыва в действии насосов вода в течение многих часов могла скопляться в резервуарах и штольнях, не затопляя Т. Для вентиляции была пробита сбоку (фиг. 127) специальная круглая штольня. При таких предосторожностях работы были доведены до благополучного конца. Способ разработки был английский с устройством нижней штольни. Свод и стенки толщиной 0,68—0,90 *м* сделаны из кирпича, лоток—из бетона. Стоимость Т. ок. 1 600 руб. за 1 *п. м*. Для уменьшения фильтраций воды и для большей безопасности работ в подводных Т. или при проходе в сильно водоносных грунтах работы иногда ведут в сжатом воздухе. Для этого в законченной уже части Т. устраивают непроницаемые переборки с камерами для шлюзования рабочих, а также провозимых материалов и грунта. При работе в сжатом воздухе фильтрация значительно уменьшается, но опасность прорыва воды в Т. далеко не исключается. Поэтому в таких случаях принимают целый ряд мер для безопасности работающих в Т. Эти меры указаны ниже при изложении щитового способа.

Для укрепления сильно водоносных грунтов иногда применяют замораживание грунта посредством насыщенного раствора хлористого кальция, охлажденного до очень низкой *t*°. Раствор хлористого кальция замерзает только при —40° и практически может рассматриваться как незамерзающая жидкость. Для замораживания в грунт вводят посредством бурения железные трубы ⌀ ок. 20 *см*. Дно труб герметически закрывается. В опущенные трубы вводят другие диаметром около 10 *см*. Охлажденный раствор кальция нагнетается по малой трубке до дна большой трубы и возвращается обратно по кольцевому пространству между трубами, охлаждая грунт вокруг себя. Практика установила, что замораживание распространяется в среднем на 1,5 *м* от трубы, поэтому трубы располагают на расстоянии ок. 1,0 *м* друг от друга. Охлаждение раствора производят посредством холодильной установки, обычно с применением аммиака или еще лучше углекислоты. Холодильная установка требует большого количества воды. В Стокгольме при прокладке Т. под домами в сильно водоносном грунте был применен способ замораживания посредством вдувания морозного воздуха при *t*° до —55° к забою, отделенному от законченной части Т. нетеплопроводной переборкой. В образованной т. о. камере происходило замораживание, но далеко неравномерно. Если внизу *t*° спускалась до —40°, то вверху ее еле удалось понизить до 0°, и по прошествии 60 час. замораживание внизу проникало до 1,50 *м*, а вверху, где это было всего важнее, только на 0,30 *м*. Работа велась кольцами по 1,50 *м* длиной и очень медленно, т. к. во время работ приходилось останавливать дутье морозного воздуха, которое было невыносимо для рабочих. Успешность работ выражалась в 0,30 *м* в сутки. Обделка Т. была из бетона. Замораживание грунта посредством хлористого кальция много действительнее только что описанного, но тоже имеет свои недостатки. Прежде всего замораживание при этом способе требует много времени (несколько недель). Затем бурение в горизонтальном или близком к нему направлении на большую длину, необходимое для замораживания грунта в Т., затруднительно. При работах в туннеле Маро (Франция) замораживание обходилось в 73% от общей стоимости Т.



Фиг. 127.

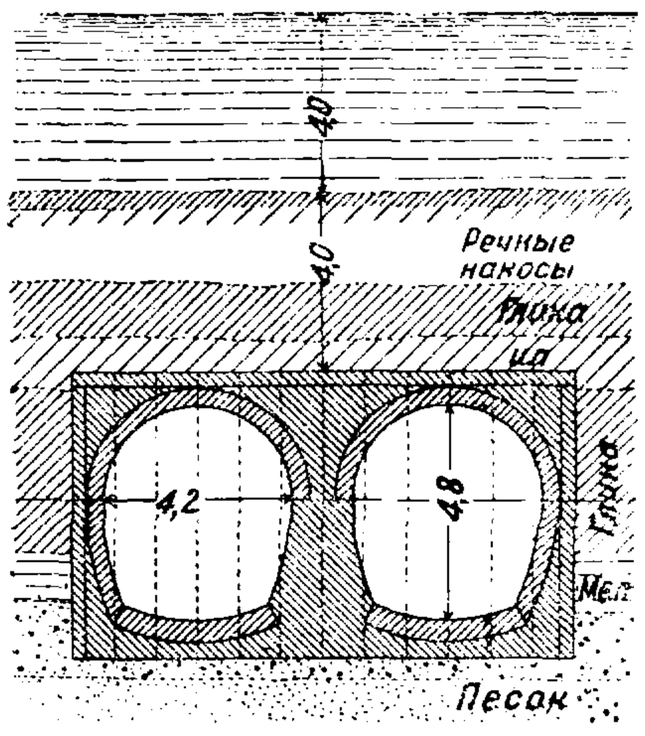
Из опыта по замораживанию песчаных грунтов вытекает, что сопротивление песка на сжатие тем сильнее, чем песок чище. Это сопротивление колеблется также от степени насыщенности песка водой. Прибавка глины к песку уменьшает сопротивление его при замораживании. В табл. 6 приведены данные о сопротивлении грунтов сжатию при замораживании. Сопротивление замороженных песков растяжению не превосходит 41 *кг/см*² и опускается до 22—25 *кг/см*² при содержании воды 0,100 *кг* на 1 *кг* песка и при температуре от —11 до —15°. При смеси с глиной сопротивление замороженного

Табл. 6.—Зависимость сопротивления грунта сжатию от замораживания.

Состав грунта	Темп-ра ниже 0°	Сопротивление, *кг/см²*
Смесь песка и воды (0,165 *кг* воды на 1 *кг* песка, что соответствует его насыщению)	0	17— 24
	0— 5	33— 43
	5—10	63— 96
	10—12	113—120
	14	131—144
	17	148—150
	25	175—200
То же—0,050 *кг* воды на 1 *кг* песка	14	43— 48
Половина глины—половина воды	14	78
На 1 *кг* песка:		
0,500 *кг* глины 0,500 *кг* воды	14	74
0,500 » » 0,500 » »	17	104
0,333 » » 0,333 » »	17	109—113
0,125 » » 0,125 » »	17	118—122
0,100 » » 0,108 » »	17	122—130
0,050 » » 0,050 » »	17	70— 80
Чистый лед	17	20

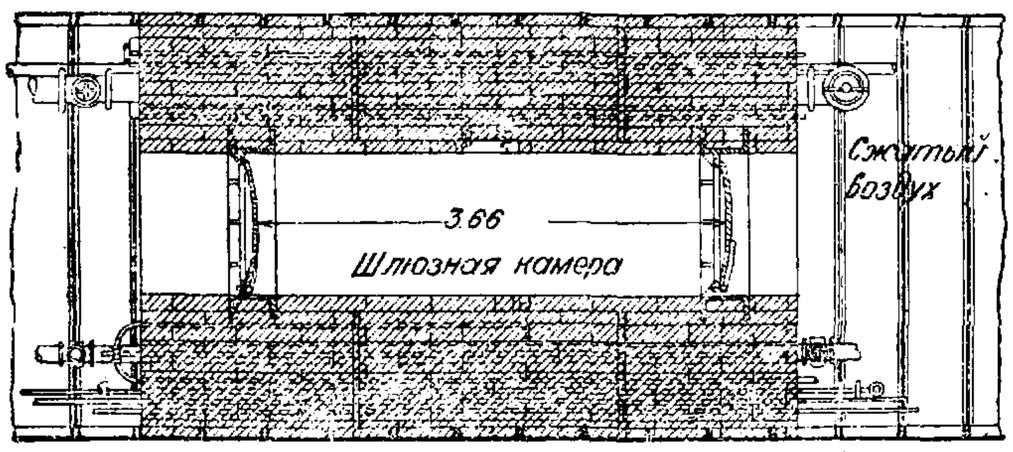
песка при темп-ре −11,5°—23,5 *кг/см²*. Чистый лед разрывается при напряжении в 10 *кг/см²*.

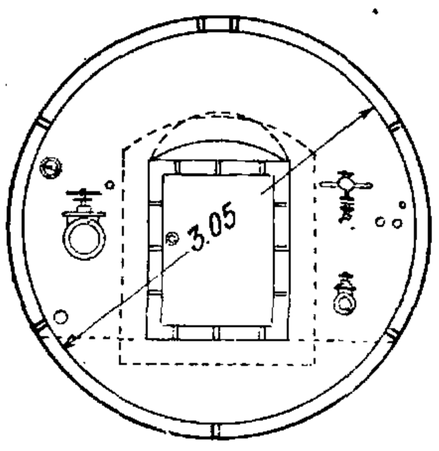
При проходе в песчаных грунтах, даже очень тонкозернистых, с успехом применяется нагнетание в грунт под давлением цементного раствора. Такое нагнетание консолидирует грунт, но оно, как и замораживание, может служить только вспомогательным средством, и для прокладки подводных Т. в песчаных водопроницаемых грунтах одной цементации их совершенно недостаточно; для этого должны применяться особые методы работ, описанные ниже. Способы и приборы для нагнетания цемента описаны выше. В песчаных грунтах закрепление их можно с успехом обеспечить силикатизацией. Способ этот в туннелях однако еще не получил большого распространения.



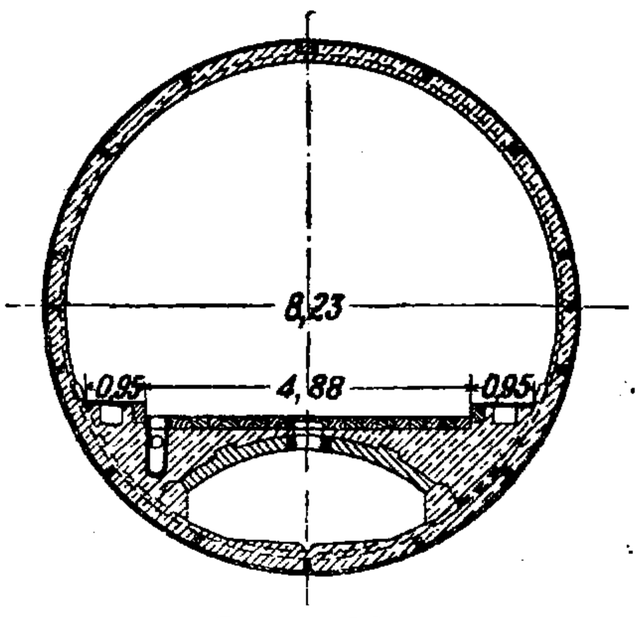
Фиг. 128.

Щитовой способ постройки Т. впервые был применен в Лондоне в начале 19 в. для Т. длиной 360 *м* под обыкновенную дорогу под Темзой. Т. состоял из двух проездов с общей стенкой (фиг. 128). Обделка туннеля—кирпичная. Грунт слабый, водоносный. Щит был совершенно особой конструкции, представляющей теперь только исторический интерес. Работы продолжались с 1825 по 1842 год с перерывами из-за катастроф. Только во второй половине прошлого века вновь приступили в том же Лондоне к сооружению под Темзой подводных Т. посредством щита нового типа, сохранившего интерес и теперь. Для обделки Т. вместо кирпичной кладки были применены чугунные косяки. Очертанию туннеля и щита была придана круглая цилиндрическая форма. Самый щит представлял собой целый цилиндр из котельного железа с диафрагмами и ножами впереди. Впервые были применены гидравлич. прессы вместо прежних ручных винтовых домкратов, но работы велись еще без сжатого воздуха, нашедшего себе применение несколько позднее. Т. под Темзой был проложен в мощном слое плотной компактной безвалунной глины при помощи щита Гретхеда, описанного уже в главе о городских Т., и несмотря на то, что работы велись без сжатого воздуха, они были доведены удачно до благополучного конца. В дальнейшем Гретхед предложил для уменьшения фильтрации воды и большей безопасности применить сжатый воздух. Для этого передняя часть Т., где производились работы, была отделена особой шлюзной камерой (фиг. 129), устроенной в законченной части Т. Шлюзная камера размерами 1,15×1,5 *м* и длиною 3,65 *м* была заделана в кирпичную кладку на цементном растворе, устроенную в Т. на протяжении 5 *м*. В кладку были заделаны воздухопроводы высокого и низкого давления, водопровод высокого давления и пр. Для большей непроницаемости кладки в нее нагнетался под высоким давлением цементный раствор. Щит этой системы хорош только при проходе в плотных глинистых грунтах. При работах в песчаных водопроницаемых грунтах, даже при наличии большого слоя грунта над верхом Т., такой щит, как показала практика, не удовлетворяет условиям безопасности (катастрофа в Мельбурне и др.). Щит с применением сжатого воздуха или, как его называют нек-рые, горизонтальный кессон, не дает равновесия по высоте своего отверстия между воздухом и водой. Давление воздуха одинаково по всей его высоте, гидростатич. давление воды возрастает книзу. В общем случае при равновесии между давлением воздуха и воды в середине забоя давление воздуха в верхней части щита будет сильнее давления воды, в нижней же части будет происходить обратное. Поэтому при продвижении щита в водопроницаемых грунтах с водой под сильным давлением неоднократно случались прорывы воздуха из верхней части щита наружу и, наоборот, прорывы воды и разжиженного грунта в нижнюю его часть. При желании добиться большего равновесия в верхней части уменьшением общего давления воздуха усиливался приток воды и грунта в нижней его части. Установкой особых шандор, препятствующих току грунта в нижней части, до некоторой степени сдерживали напор грунта, но не вполне. В дальнейших типах щитов



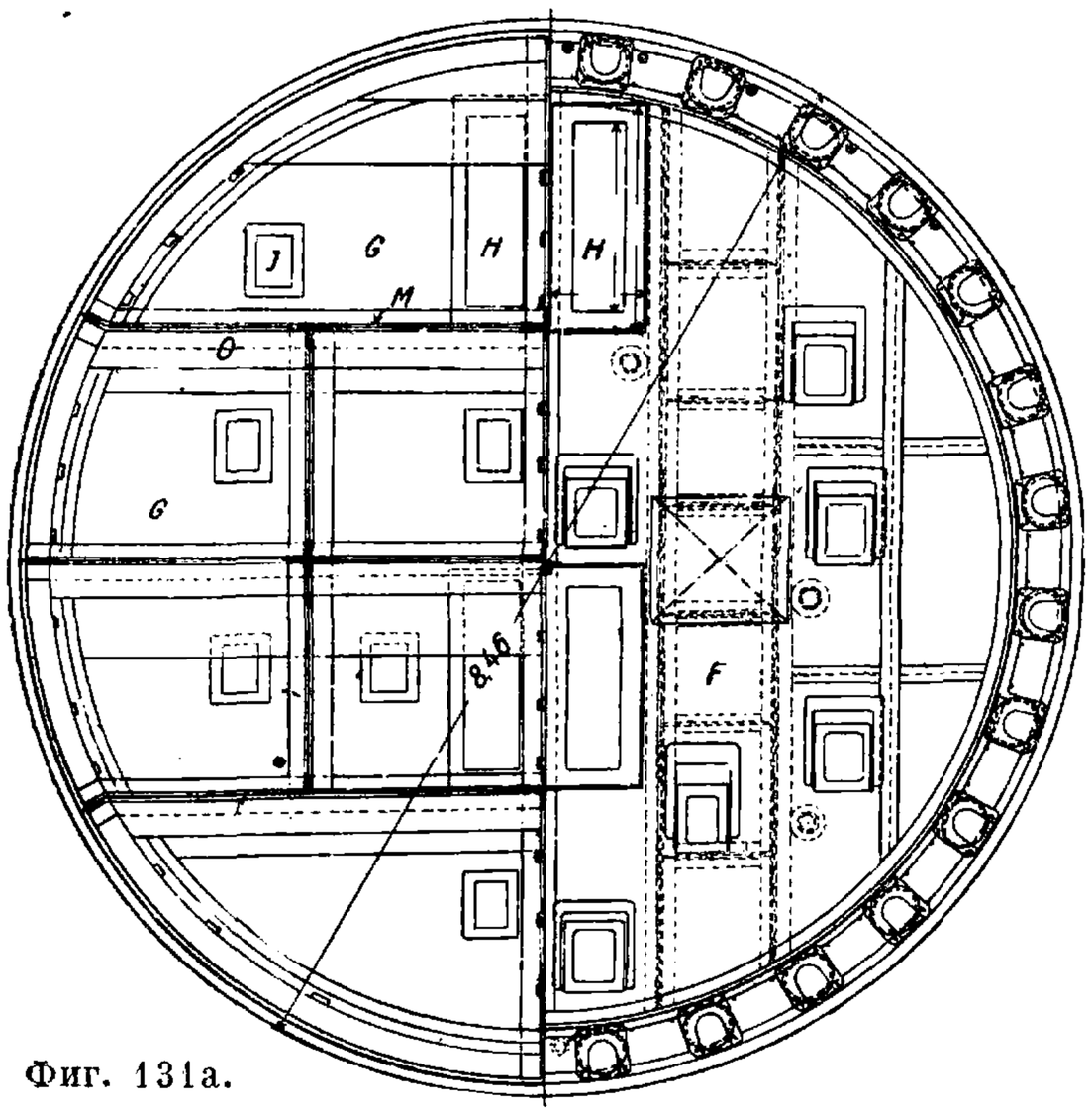


Фиг. 129.



Фиг. 130.

больших размеров конструкторы путем разбивки щита горизонтальными перегородками на несколько ярусов дают возможность при проходе в водопроницаемых грунтах расчле-

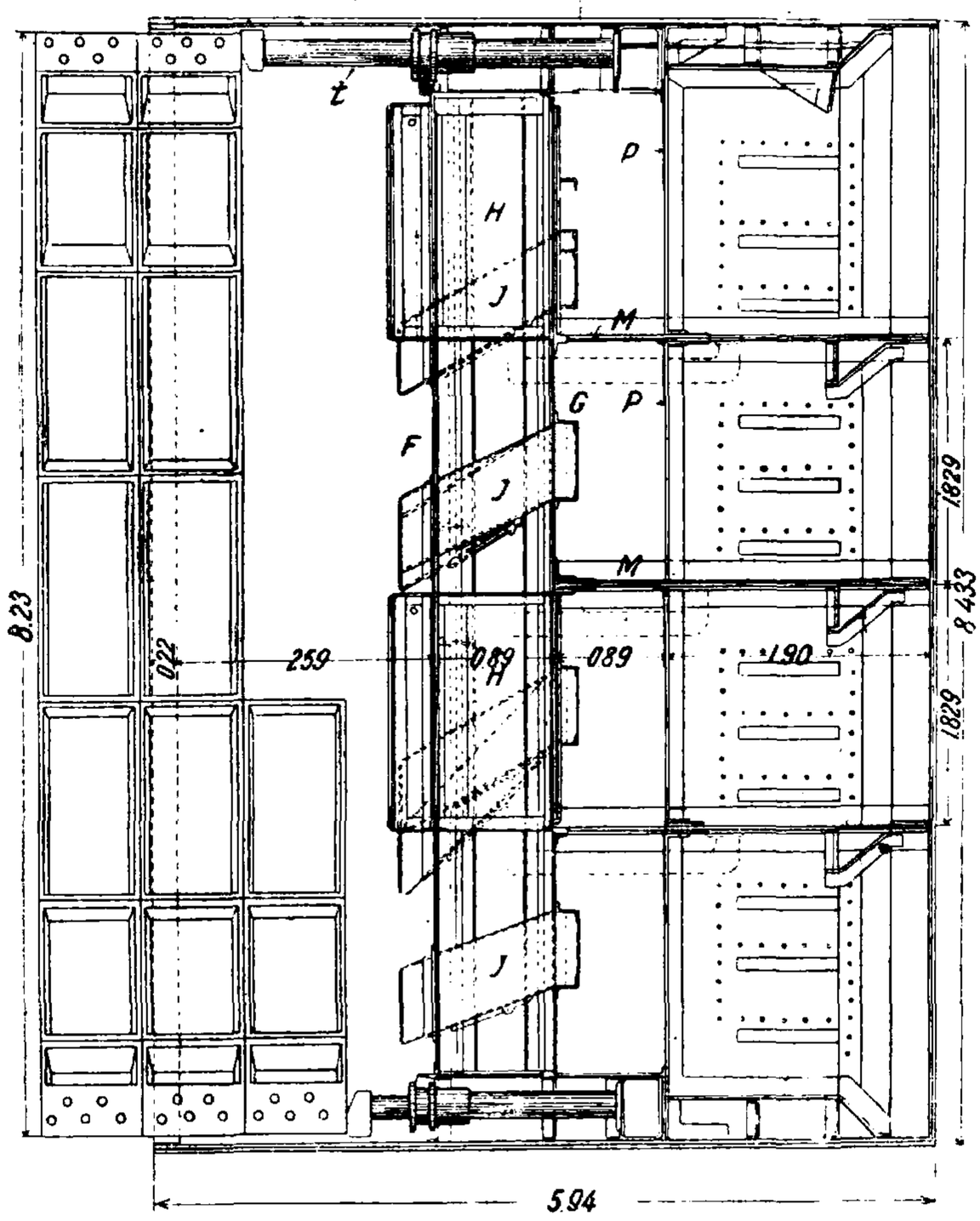


Фиг. 131а.

нять работу и производить ее по очереди то на одном то на другом уровне, закрывая другие ярусы прочно шандорами и регулируя соответственно давление.

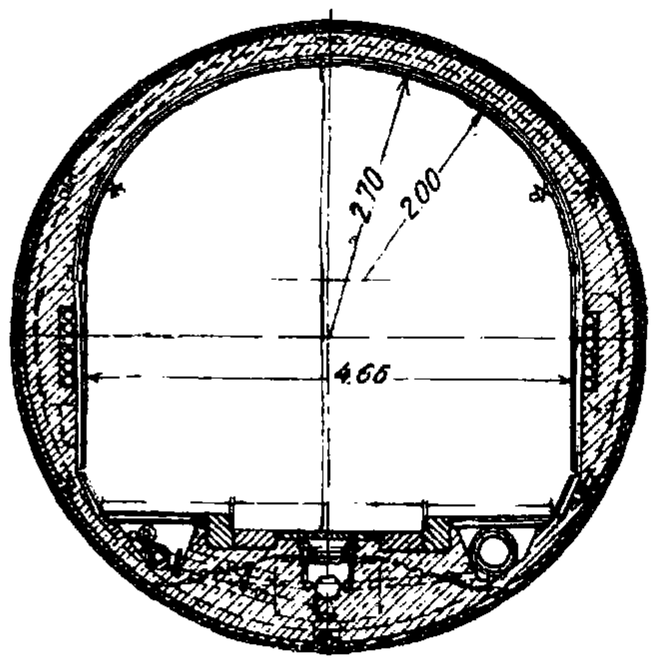
Примером и прототипом такого рода щитов служит щит, примененный для прокладки Блекуэльского Т. под обыкновенную дорогу (фиг. 130). Круглый щит (фиг. 131а, 131б) диам. 8,46 *м*

Продольный разрез



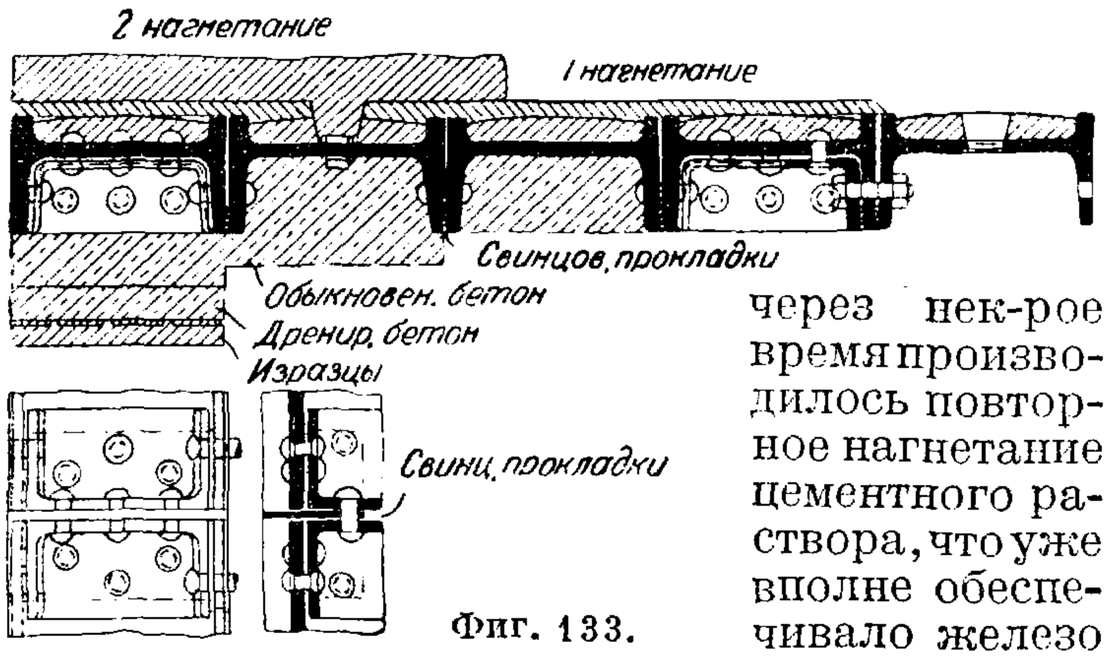
Фиг. 131б.

и длиною 5,94 *м* обнимал собою форму Т. Оболочка щита состояла из трех склепанных листов котельного железа. Тремя горизонтальными и тремя вертикальными (продольными) переборками щит был разделен на 12 ячеек, а в поперечном направлении был усилен тремя поперечными диафрагмами *F*, *G* и *P*. Между диафрагмами *G* и *F* помещались 4 камеры *H* (во 2-м и 4-м ярусах) для шлюзования рабочих и 12 камер *J* для шлюзования удаляемого разработанного грунта. Помещение шлюзов в самом щите составляет одну из особенностей этого щита. При таком расположении шлюзов действию сжатого воздуха были подвержены только рабочие, работающие в забое, все же остальные, занятые на обделке Т. и прочих работах сзади щита, находились в нормальной атмосфере. Однако помещение шлюзовых камер в самом щите не нашло себе применения в дальнейшем; сжатый воздух оказывается полезным и при дальнейших работах по обеспечению водонепроницаемости Т. сзади щита. Хвостом щит опирался на собранные чугунные кольца обделки Т., а ножом врезывался в грунт. Щит продвигался 28 гидравлическими домкратами *t*. Рабочие площадки *M* имели в каждом ярусе выдвижные платформы, к-рые могли продвигаться действием особых домкратов вперед. Третья диафрагма *P*, с большим отверстием в каждой ячейке, служила предохранительным экраном для рабочих на случай наводнения. За этим экраном при наполнении рабочей камеры водой образуется воздушная пробка, куда рабочий, укрывшись от наводнения за экран, может поместить свою голову, после чего он может открыть дверку шлюза *H* и спастись, закрыв за собой дверь. Вода при этом наполнит шлюз до уровня экрана, но голова рабочего останется в воздухе. Когда затем, сравнив давление в шлюзе с атмосферным, рабочий откроет дверку внутрь Т., то эта вода из шлюза выльется на дно Т. При проходе в водоносных гравелистых и песчаных грунтах в забое выдвигались вперед особые шандоры из швеллерного железа (по 3 на ярус). Эти шандоры выдвигались винтовыми домкратами. Благодаря всем этим приспособлениям щит мог пройти без катастроф в гравелистом грунте, имея над собою в одном месте покрышку до дна реки всего 1,67 *м*, что является рекордом. За чугунную обделку Т. нагнетался цементный раствор для заполнения кольцевого пространства, остающегося за хвостом щита при его продвижении. В Германии построен при помощи щита двойной Т. под Эльбой для обыкновенной безрельсовой дороги в Гамбурге. Главной особенностью этого Т. является его обделка (фиг. 132), для к-рой вместо чугуна, плохо сопротивляющегося растягивающим и скалывающим усилиям, было применено железо, к-рого обычно избегают в Т. как легко поддающегося ржавчине. Обделка состояла из выгнутых по дуге круга железных косяков особого профиля (фиг. 133), склепанных между собой. С наружной стороны косяки перед укладкой обмазывались между верхними приливчиками цементным раствором, предохраняющим основную шейку косяка от ржавчины, затем при продви-



Фиг. 132.

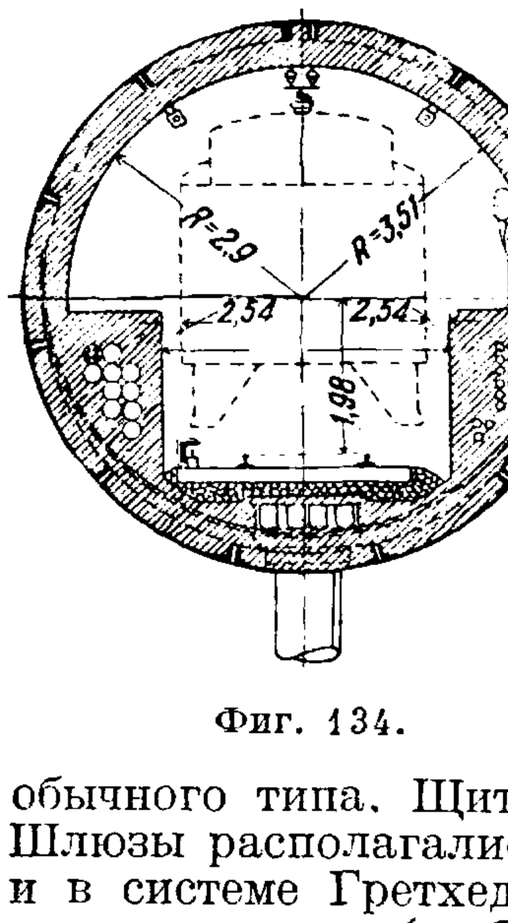
жении щита производилось нагнетание за обделку цементного раствора, прикрывающего не только шейки, но также наружные ребра, а



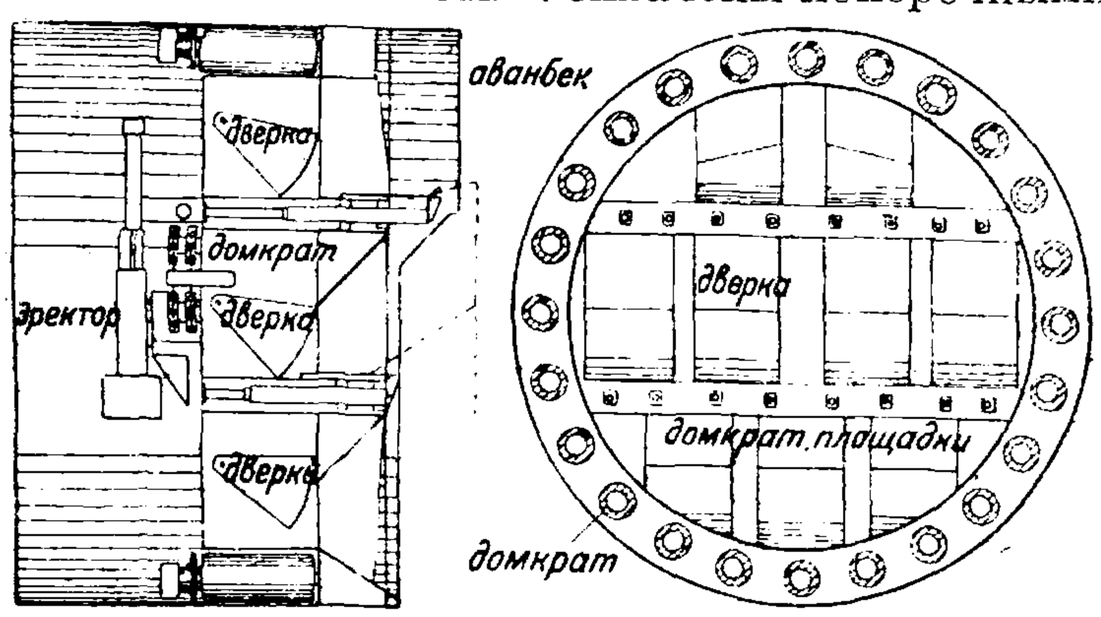
Фиг. 133.

через нек-рое время производилось повторное нагнетание цементного раствора, что уже вполне обеспечивало железо от ржавления.

Щитовой способ разработки получил особое развитие в Нью Йорке с начала настоящего века. После неудач с постройкой первого Т. под р. Гудзон (1879—96 гг.), сопровождавшейся многими тяжелыми катастрофами и перерывами работ, в Нью Йорке было проложено много подводных Т. щитовым способом для ж. д., для метрополитена и для безрельсовых дорог с большим протяжением под водой и на большой глубине. Следует отметить Т. для Пенсильванской ж. д. под р. Гудзон (1903—1905 гг.), Т. для метрополитенной линии Гудзон-Мангатан (1905—1910 гг.) и наконец недавно законченный Т. для автомобильной дороги также под р. Гудзон. Т. под р. Гудзон для Пенсильванской ж. д. был круглого сечения диам. 7,10 *м*. Обделка из чугунных косяков обычного типа. Щит—многоярусной системы. Шлюзы располагались не в щите, а в Т., как и в системе Гретхеда. Грунт разнообразный: скала, песок, ил (на большом протяжении). При проходе в илистом грунте для придания Т. большей устойчивости при проходе тяжелых ж.-д. поездов было решено усилить Т. чугунными сваями, завинчиваемыми из Т. до скалы и заливаемыми бетоном (фиг. 134). Эти сваи диам. 0,68 *м* располагались на 4,5 *м* друг от друга. Оголовки свай были схвачены поперечными

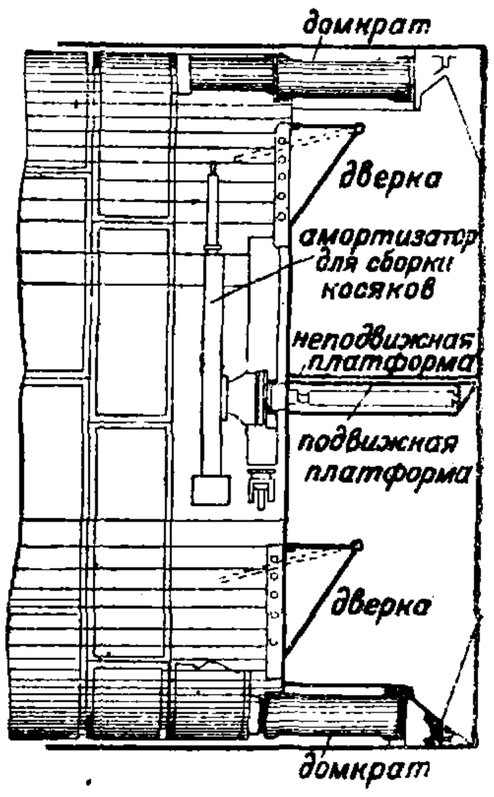


Фиг. 134.

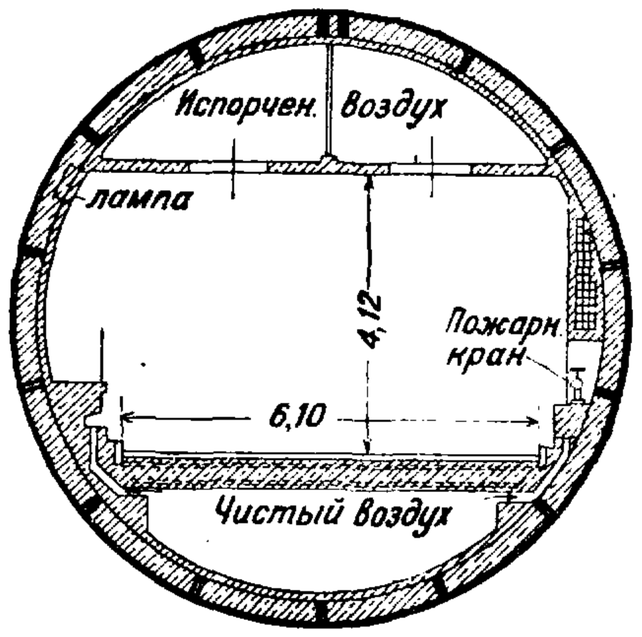


Фиг. 135.

и продольными железными балками, поддерживающими полотно. Но еще при сооружении Т. изучение работы трубы Т. в илистом грунте с учетом трения Т. о грунт и инерции масс тяжелой туннельной обделки показало ненужность этих мер, и опускание свай было отменено. Самый щит был трехъярусным (фиг. 135) с двумя горизонтальными перегородками. Спереди сверху щит был снабжен аванбеком, или козырьком. Щит имел две поперечные диафрагмы. В передней диафрагме были устроены проходные отверстия, которые закрывались особыми цилиндрическими дверками. При проходе в песках в забое ставились шандоры. Для уменьшения текучести грунта в него нагнетали под давлением цемент. При проходе в плывунах прибегали к способу выжимания грунта через отверстия в диафрагме (см. ниже). Интересна система щита (фиг. 136), примененного при сооружении Т. под той же р. Гудзон для Гудзон-Мангатанской линии метрополитена. Этот щит простой конструкции был гл. обр. приспособлен для проходки в илистых грунтах с большой скоростью путем выжимания грунта. Диаметр щита 5,20 *м* и длина 3 *м*. Щит имел только одну диафрагму и был разделен одной горизонтальной и двумя вертикальными переборками на шесть ячеек. В горизонтальной переборке щита устраивались выдвижные площадки. Дверки в поперечной диафрагме (по одной в каждой ячейке) были устроены на горизонтальных шарнирах и под напором грунта, заполняющего аванкамеру при продвижении щита, могли сами открываться и пропускать грунт, к-рый выжимался т. о. сплошной лентой. Скорость прохода при таких условиях достигала 22 *м* в сутки и 94 *м* в неделю, что является рекордом для щитовой разработки. Щит этот послужил прототипом для многих других. В 1927 году был проложен в Нью Йорке под той же р. Гудзон двойной туннель под автомобильную дорогу. Каждый Т. (фиг. 137) состоит из чугунных колец диам. 9,20 *м*, составленных из 14 отдельных косяков длиной 1,97 *м* и одного ключевого косяка длиной 0,305 *м* и шириной каждый 0,762 *м*. Косяки, как и в обыкновенных тюбах, снабжены ребрами для жесткости и соединения их друг с другом болтами диам. 41 *мм* из стали высокого сопротивления. Швы между косяками забивались свинцом при помощи пневматич. молота. С внутренней стороны стенки Т. покрыты слоем бетона толщиной 0,305 *м* состава 1 : 2 : 4. Двумя горизонтальными переборками Т. разделен на три части. Средняя (наибольшая) служит для проезда, через нижнюю подается в Т. свежий воздух, а через верхнюю вытягивается испорченный воздух. Нижняя переборка (пол) состоит из двутавровых балок, заделанных концами в бетон

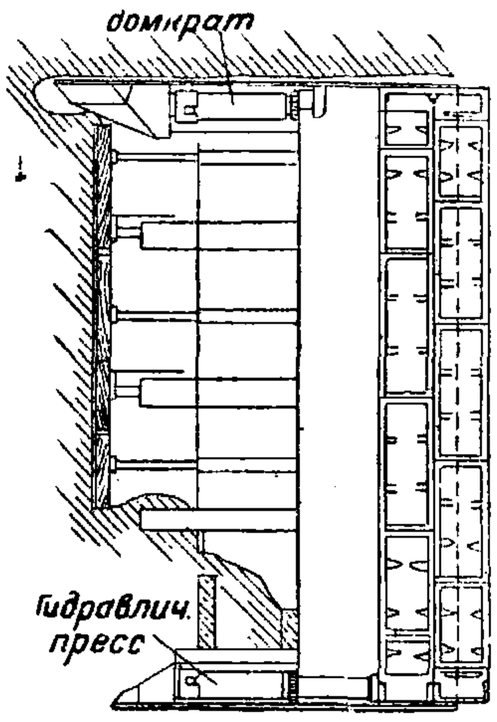


Фиг. 136.



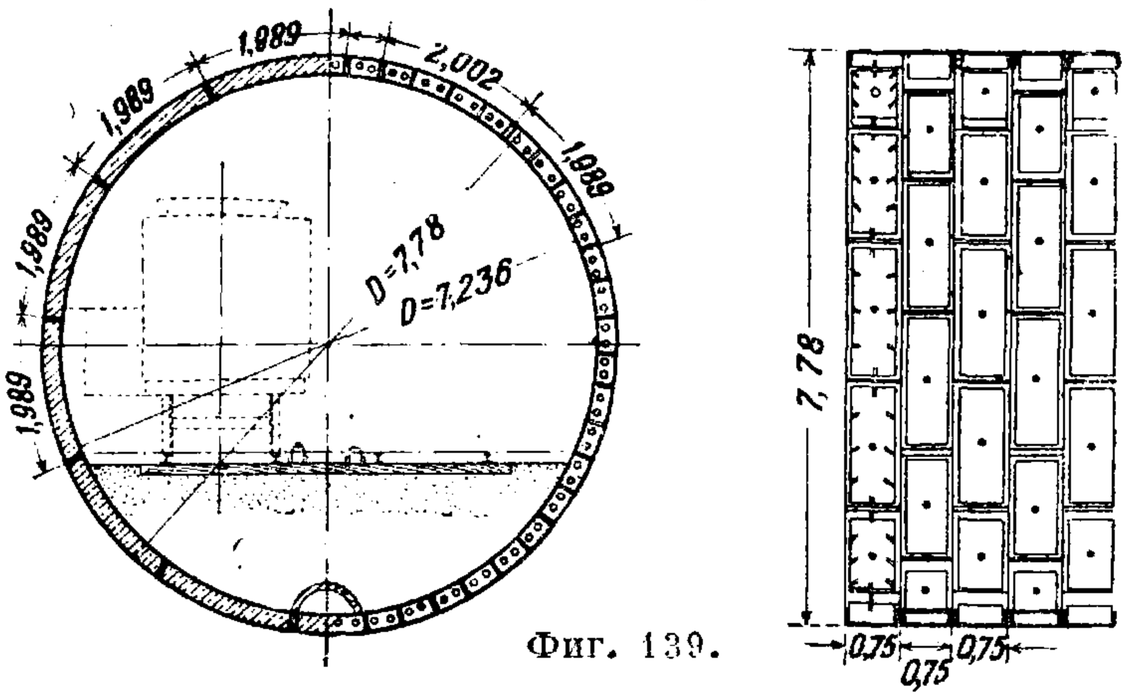
Фиг. 137.

и связанных арматурой с кольцами туннеля. Пол поддерживает гранитную мостовую из брусчатки. Верхняя переборка (потолок) сделана железобетонной и также связана с кольцами Т. Щитовая разработка начиналась из шахт, опущенных кессонным способом до скалы. В шахтах устраивались особые рамы для щита, к-рый собирался в шахте. Шлюзные камеры устраивались сначала в самой шахте, а затем, когда щит продвигался на несколько десятков *м* вперед, устраивались новые шлюзы в самом Т., по четыре для щита (2 вверху для людей и 2 внизу для материалов), а первоначальные в шахте разбирались. Щиты были многоярусной системы длиной 5,75 *м*, считая аванбек, при диам. 9,20 *м* и были укреплены двумя диафрагмами, между которыми размещались по периметру щита 30 гидравлич. прессов. На фиг. 138 показана установка щита при работе в туннеле. При проходе в слабых грунтах забой крепился деревянными шандорами, к-рые распирались домкратами. Грунт в зависимости от состояния разжижения извлекался через шандоры или просто выжимался внутрь щита через отверстие в шандорах. Впереди щита под аванбеком закладывалась плотная утрамбованная глина для уменьшения утечки воздуха. В нек-рых случаях для укрепления грунта впереди щита в грунт нагнетали цементный раствор под давлением.



Фиг. 138.

Техника щитового способа получила большое развитие также во Франции, преимущественно в Париже при проходе под Сеной линии метрополитена. Щиты устраивались многоярусными с довольно значительным аванбеком и выдвижными платформами. Шлюзование происходило в Т., причем для безопасности устраивалось не менее трех шлюзов. Примером может служить Т. под Сеной, законченный в 1929 г. для линии № 7 метрополитена. Т. круглого сечения диам. 7,78 *м* (фиг. 139) состоял из чугунных косяков, скрепленных болтами. Щит длиной 13,65 *м* был четырехъярусный с аванбеком и выдвижными платформами. При проходе в слабых грунтах впереди ставились шандоры. Работы прошли вполне удачно.



Фиг. 139.

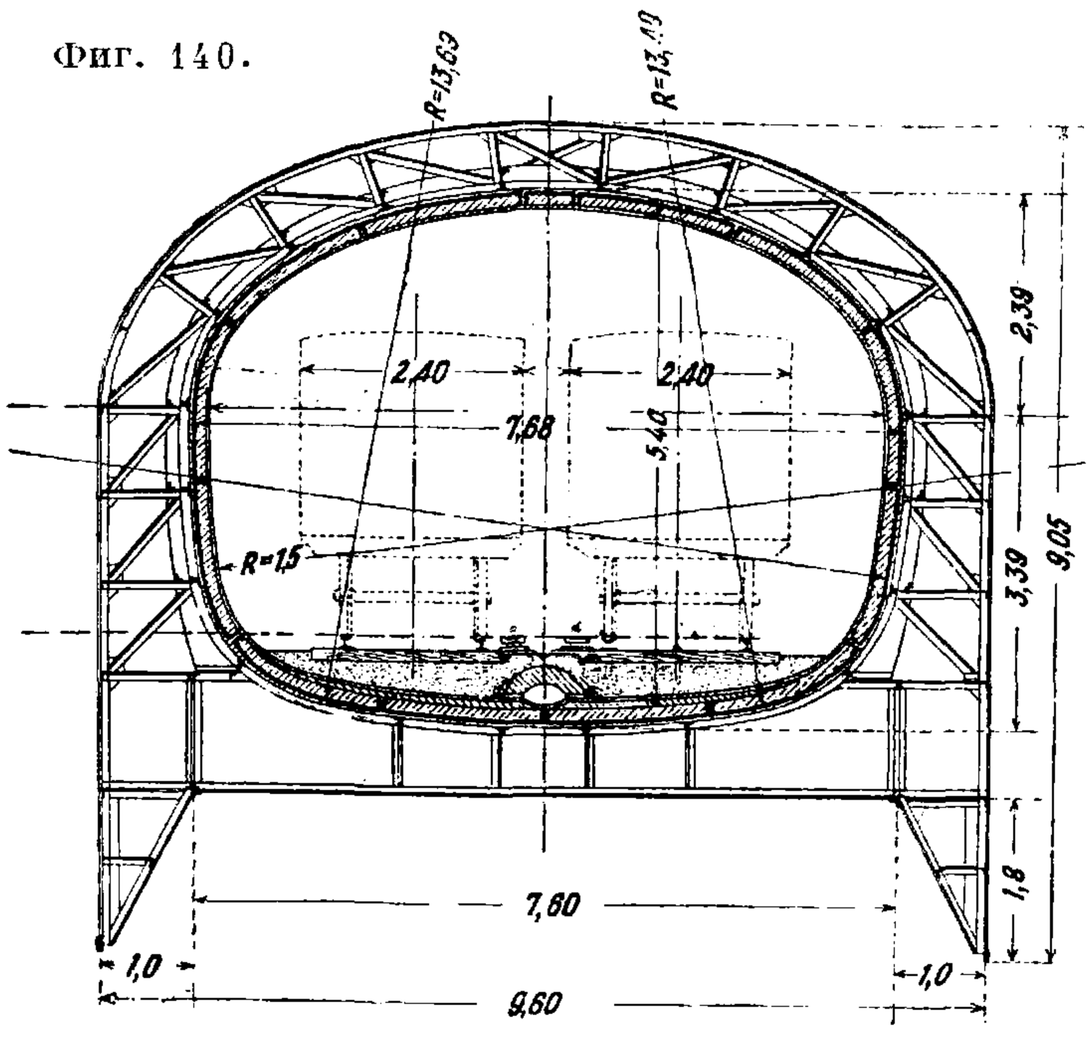
Разработка Т. щитовым способом сопровождалась наибольшим числом катастроф с человеческими жертвами, в особенности в начале его применения, однако с накоплением опыта строителям удалось выработать ряд мер, обеспечивающих прокладку туннеля от несчастий с людьми. К таким мерам относятся следующие: 1) обязательное применение сжатого воздуха, противодействующего в известной степени давлению воды; 2) оставление по возможности большого слоя земли над потолком щита, в среднем 3—4 *м* или в исключительных случаях при проходе в глине и со щитом типа Блекуэльского Т.—до 2 *м* и менее; 3) при устройстве шлюзования в законченной части Т. отнюдь не ограничиваться шлюзами для выдачи грунта и материалов и для нормального пропуска людей, а обязательно располагать в верхней части еще запасный спасательный шлюз; 4) обязательно устраивать подмости вверху от щита до спасательного шлюза; 5) устраивать как в самом щите, так и в законченной части Т. между щитом и шлюзом металлич. непроницаемые барьерные экраны, над которыми в случае наводнения остается слой воздуха, достаточный для спасения рабочих; 6) устраивать особые шлюзовые спасательные экраны в самом Т. сзади щита из особой металлич. камеры, открытой снизу и приклепанной к задней грани диафрагмы щита или закрепленной в кольце Т. между щитом и шлюзом. В шлюзовом экране имеются два отверстия с откатными дверками на кулисах; из них передняя (ближайшая к щиту) расположена ниже задней и остается обычно открытой, задняя же нормально д. б. закрыта. Проход рабочих и доставка материалов совершаются снизу экрана и затем через переднюю открытую дверку его камеры. При наводнении рабочие из щита перебегают в шлюз экрана и затворяют за собою переднюю дверку, после чего, открыв верхнюю дверку в задней стенке, они переходят в Т. Шлюзовые экраны сильно стесняют работы, тем не менее они применялись при сооружении нек-рых подводных Т. в Англии. Прорыв грунта и затопление Т. сопровождаются образованием больших воронок на дне под щитом. Для возможности возобновления работ обычно бывает достаточно завалить эти воронки мешками с глиной или просто глиной («накладывают глиняный пластырь»). Место аварии на дне предварительно исследуют посредством воздушного колокола или посредством кессона. Если в щите или в самом Т. при этом будут обнаружены повреждения, то их исправляют. Лучшим грунтом для прохода щитом является глина, не содержащая валунов. При достаточной мощности пласта такой глины в ней возможен проход щитом даже без применения сжатого воздуха, как показала практика. При проходе в слабых грунтах необходимо принимать особые меры. Рекомендуется устраивать верхнюю переднюю часть щита с некоторым припуском вперед в виде аванбека, или козырька, а для предупреждения быстрого наплыва грунта в щит забой в камере щита крепится шандорами из деревянных брусьев или из металлич. балок. Фронт работ в забое при этом ограничивается небольшим пространством, где ведется разработка, большая же часть забоя сдерживается шандорами. За шандоры, а также за аванбек и платформы для уменьшения утечки воздуха и произвольного просачивания грунта закладывается глина. Для укрепления слабых грунтов принимают особые меры. В Америке при проходе первого Т. под р. Гудзон применялся обжиг грунта из брандспойтов струей горящего керосина, но более этот способ нигде не встречался. Удовлетворительные результа-

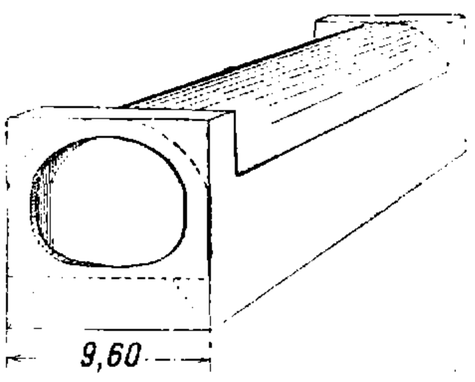
ты давало нагнетание в грунт цементного раствора под давлением в песчаных грунтах, б. или м. чистых от глины, хотя бы и очень тонкозернистых. Такое нагнетание особенно было необходимо при проходе под домами или вблизи их. Хорошие результаты должна была бы дать в таких случаях силикатизация грунтов посредством нагнетания в них химикалий, но в щитовой практике этот способ еще не применялся. Слабые илистые и глинистые грунты не только не являются препятствием для работы щитом, но благодаря своей пластичности особенно удобны для прохода щита, допуская выжимание породы через небольшие отверстия в шандорах или закрытой груди щита, причем в щит не только не попадает лишней породы, а, наоборот, грунты вокруг щита несколько уплотняются.

Стоимость щитов сильно колеблется в зависимости от системы. Франц. инж. Легуез установил для определения веса щитов следующие ф-лы: вес малых щитов типа Гретхед P от 1 до $2D^3$, вес больших многоярусных щитов—$P = \frac{D^3}{3}$, где P—вес щита в m, а D—диам. его в $м$. Стоимость щита за границей со сборкой 250—600 р. (довоенных) за m. Вес чугунной обделки по Легуезу определяется ф-лой $P = \frac{D^2}{3}$ и для крепких грунтов $P = \frac{D^2}{4}$. Стоимость чугунной обделки за границей 60—160 р. (довоенных) за m. Стоимость подводных Т., разрабатываемых при помощи щита, колеблется для малых Т. (диам. 3,5—4,5 $м$) от 300 до 600 р. 1 $п.\ м$ и для больших Т. (диам. 6—8 $м$) 2 000—4 000 р. 1 $п.\ м$.

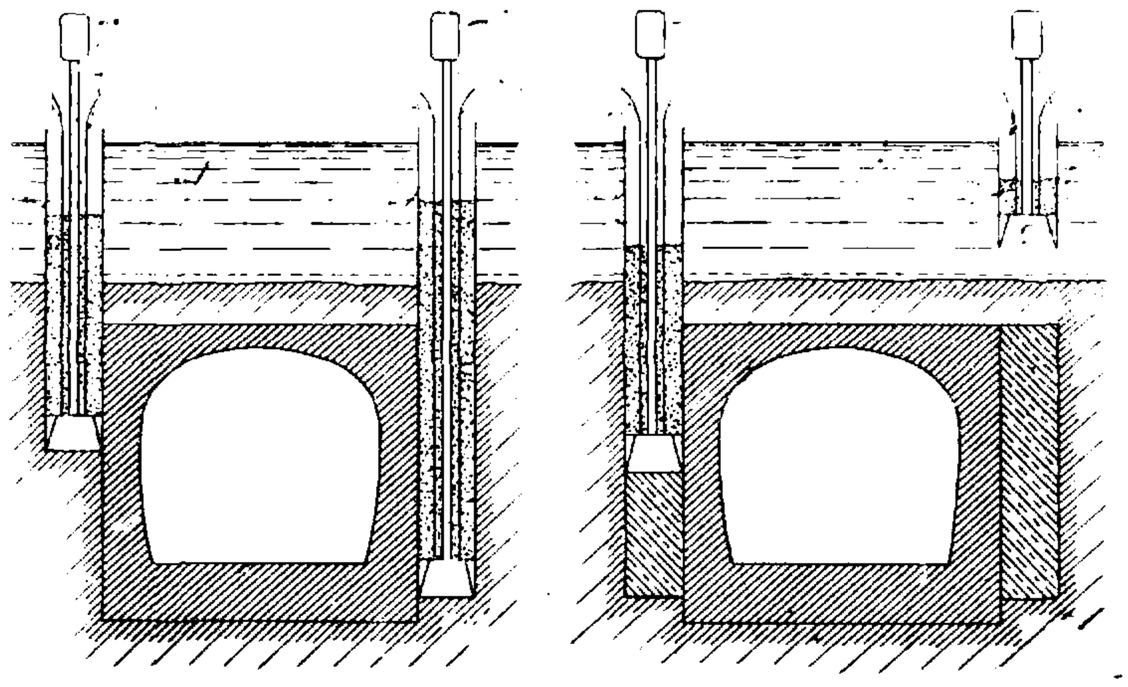
Кессонный способ прокладки подводных Т. применялся в Нью Йорке и Париже. В Париже этот способ был применен для переходов под Сеной на 4-й и 8-й линиях метрополитена. Сущность кессонного способа заключается в том, что Т. сооружается сверху опусканием ряда кессонов, из к-рых каждый включает в себя секцию Т. (фиг. 140), а внизу имеет рабочую камеру, как у обыкновенного кессона для мостовых быков, но только бóльших размеров, особенно по длине. В Париже кессоны опускали секциями длиной примерно по 40 $м$. Кессоны из железных решетчатых форм, одетых котельным железом, собирали на берегу, спускали на воду, как обыкновенное судно, буксировали к месту работ, где для них предварительно выравнивали землечерпанием дно, и заводили между подмостями из свай, забитых по обе стороны будущего Т.; железный каркас кессона бетонировали, и под действием тяжести бетона кессон постепенно опускался на дно. Для правильной установки кессонов бетонирование не доводилось до конца, а прекращалось, когда ножи кессонов еще не касались дна. Окончательное погружение кессона на дно достигалось заполнением его постепенно водой. В случае неправильности в установке кессон мог быть легко приподнят путем откачки воды из него (нагнетанием сжатого воздуха) и снова устанавливался на дно в исправленном положении. Установленный т. о. кессон выступал над водой на ~5 $м$, что давало возможность закончить его бетонирование. Рабочие камеры каждого кессона соединялись с верхом кессона четырьмя трубами диам. 1 $м$. На эти трубы были насажены цилиндрич. камеры со шлюзами. При опускании кессона верхние камеры поочередно снимали, трубы, соединяющие их с рабочей камерой, наращивали и верхние камеры вновь насаживали. Для придания кессону полной водонепроницаемости внутри кессона были уложены кольца из чугунных косяков, впоследствии забетонированные, и после окончательного опускания кессона за каждый косяк производили нагнетание цементного раствора через отверстия в косяке. Опускание кессона начиналось немедленно по окончании бетонирования. Работа шла, как в обыкновенном мостовом кессоне. По окончании опускания кессона рабочие камеры заполняли тощим бетоном. В торцах кессоны заканчивались прямоугольными оголовками (фиг. 141), служившими впоследствии для устройства стыков между соседними кессонными секциями. Стыки между кессонами сначала устраивали при помощи небольших съемных кессонов. Для этого по обе стороны соседних оголовков опускали особые съемные кессоны (фиг. 142), перекрывавшие с боков свободное пространство между оголовками, равное 1,50 $м$. Когда они были опущены до уровня ножей больших кессонов, их постепенно приподнимали и одновременно при этом бетонировали. Таким образом пространство между оголовками двух секций перекрывалось с боков двумя вертикальными стенками, срезанными вверху по верхней грани оголовков секции, так что оголовки и опущенные стенки образовывали в плане четырехугольник, окаймляющий собою стык между

Фиг. 140.



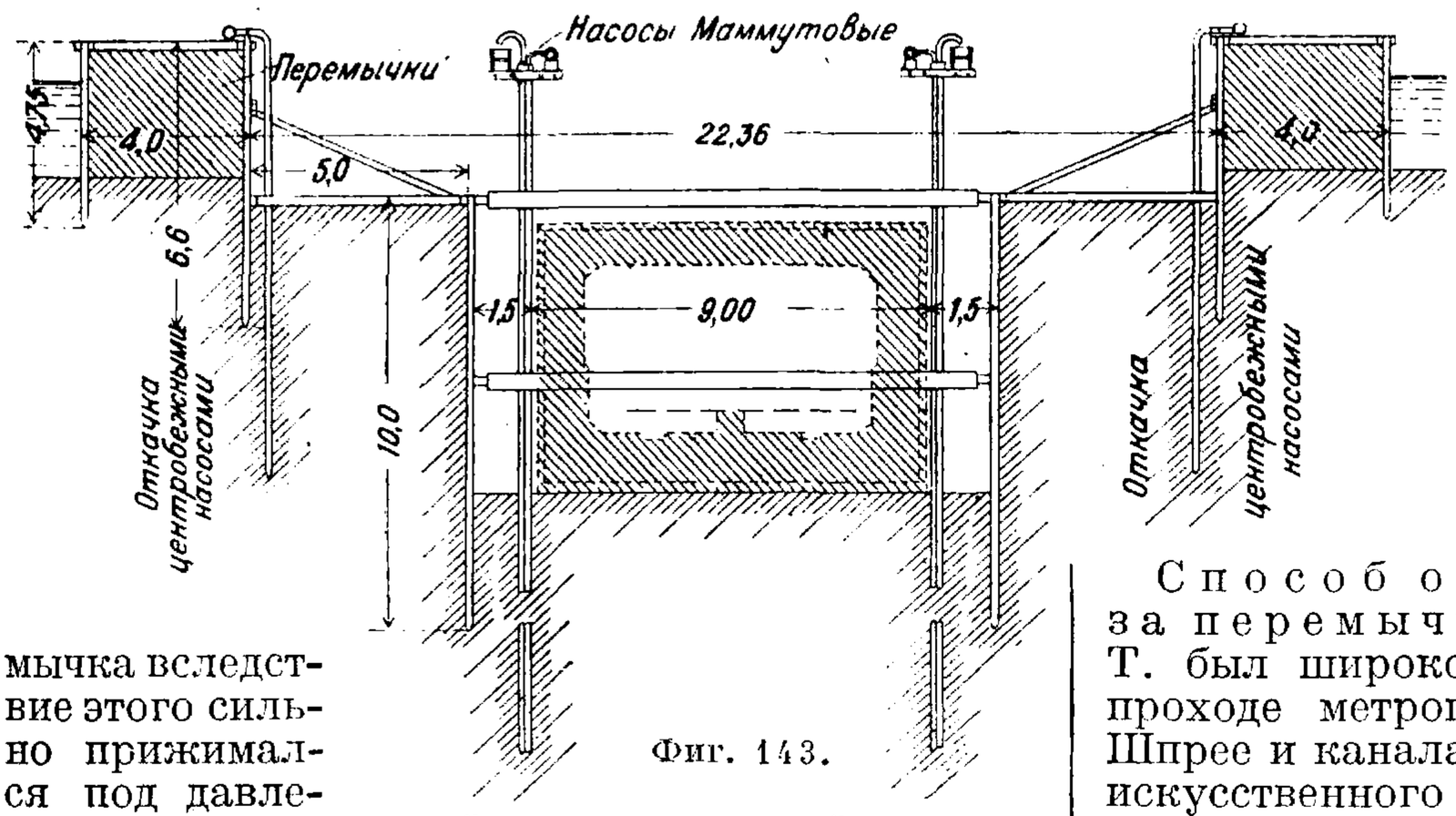


Фиг. 141.

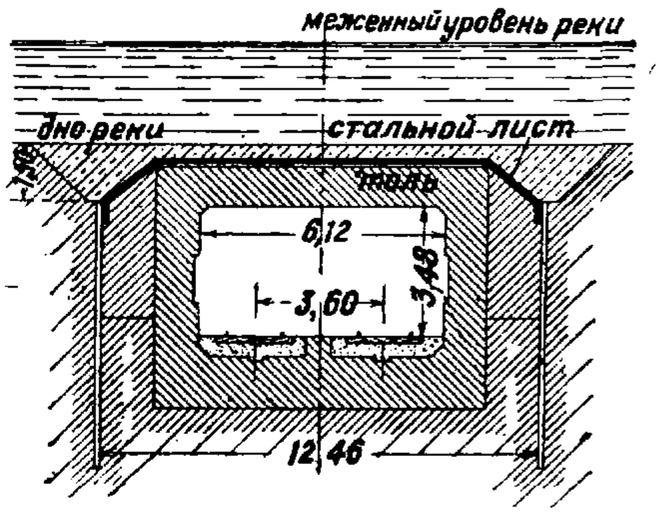


Фиг. 142.

секциями туннеля. На этот прямоугольник опускали новый съемный кессон, называемый кессоном-перемычкой. Для водонепроницаемости весь периметр основания кессона-перемычки обкладывали с внешней стороны бетоном, а под самый нож кессона-перемычки подкладывали несколько слоев асфальтированного полотна. Эта работа выполнялась водолазами. После этого из рабочей камеры кессона-перемычки выпускали сжатый воздух, и кессон-перемычка вследствие этого сильно прижимался под давлением воды к верхней горизонтальной поверхности оголовков и боковых стенок, что обеспечивало почти полную герметичность соединения ножей кессона-перемычки со стенками и оголовками. Под защитой этого кессона-перемычки выбирали грунт между оголовками по очертанию свода туннеля, и все выбранное пространство заполнялось бетоном. Получался сверху стыка бетонный свод, упертый своими пятами в боковые стенки, и все пространство между оголовками оказывалось перекрытым с боков и сверху сплошной бетонной кладкой. После этого в обеих секциях Т. пробивали торцовые стенки и устраивали окончательный шов между секциями из чугунных колец. Впоследствии этот способ был заменен другим, более простым. Расстояние между оголовками вместо 1,50 *м* делали всего 0,30 *м*. С обеих сторон у шва забивали по свае и затем весь грунт между оголовками и забитыми двумя сваями выбирали, а очищенное пространство заполняли жирным бетоном до самого верха оголовков. Бетону давали затвердеть в течение нескольких месяцев и после этого пробивали в торцах кессонов и в бетонном шве отверстия и устраивали постоянный шов между секциями посредством чугунных колец.



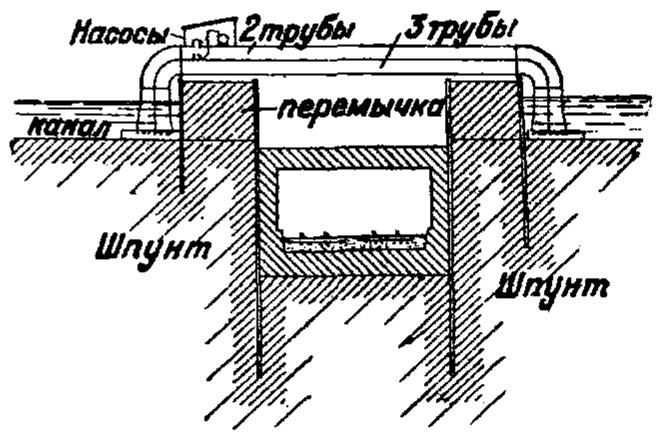
Фиг. 143.



Фиг. 144.

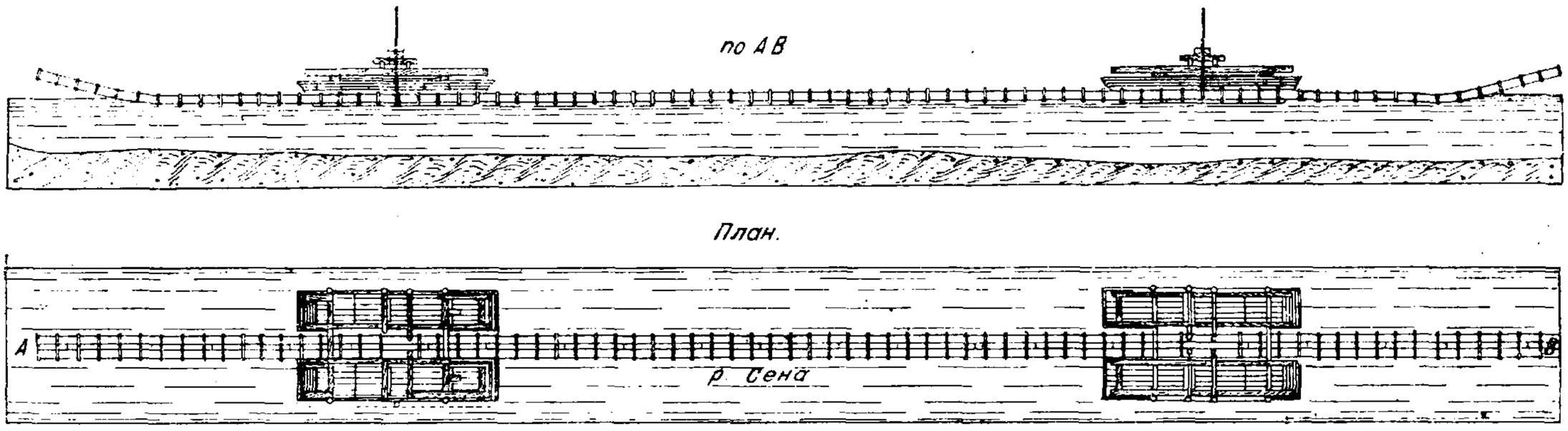
Кессонный способ прокладки подводных Т. имеет нек-рое преимущество перед щитовым. Прежде всего он дает бóльшую уверенность в производстве работ и бóльшую безопасность работ. Кроме того при этом способе нет необходимости, как при щитовой разработке, оставлять большой слой земли между верхом свода и дном реки, что дает возможность поднять подводную часть Т. значительно выше и т. о. улучшить его трассировку в профиле. Следует только указать на одну необходимую предосторожность при опускании таких кессонов. Торцовые стенки кессонов д. б. сильно укреплены поперечными и продольными диафрагмами и забетонированы на толщину не менее 1 *м*. Иначе вода может прорваться через нагруженные при опускании кессона торцовые стенки внутрь Т., что и случилось в одном из кессонов при переходе под Сеной 4-й линии парижского метрополитена. На московском метрополитене при проходе первоочередной линии под водоносной поймой реки Ольховки (скрытой в коллекторе), между Каланчевской улицей и полотном соединительной линии Курской и Октябрьской железных дорог, также приступлено к устройству туннеля кессонным способом. В отличие от парижских кессонов здесь проектируется железобетонный кессон.

Способ открытых котлованов за перемычками для больших подводных Т. был широко использован в Берлине при проходе метрополитенных линий под рекой Шпрее и каналами с применением вместе с тем искусственного понижения горизонта грунтовых вод. При переходе реки Шпрее работы велись в три приема из-за требования не стеснять судоходства. Понижение горизонта грунтовых вод в данном случае облегчалось особыми геологическими условиями. Песчаные грунты, благоприятные для понижения грунтовой воды, были прикрыты на дне реки водонепроницаемым слоем ила. Т. о. при откачке вода из реки не попадала в осушаемый грунт. Работы начались с устройства перемычек (фиг. 143) вокруг будущего котлована. Перемычки были сделаны из шпунтовых рядов на 4 *м* друг от друга с заполнением пространства между ними глиной. Для осушения котлована за перемычками устанавливали два ряда трубчатых колодцев, затем на осушенном дне реки забивали вдоль будущего Т. на расстоянии 1,50 *м* от него с каждой стороны шпунтовые стенки, устанавливали и пускали в действие еще два ряда трубчатых колодцев с маммутовыми насосами и между шпунтовыми стенками начиналась выемка котлована. Стенки по мере углубления котлована распирали распорками. Маммутовыми насосами при углублении труб на 24 *м* ниже уровня дна реки удавалось понизить горизонт грунтовых вод на 12 *м*. Самый Т. представлял собою прямоугольник (фиг. 144) железобетонной конструкции. Для придания туннелю водонепроницаемости он был окружен несколькими листами гудронированного толя, прикрытого снаружи бетонной рубашкой в 0,10 *м*. Сверху Т. еще был защищен от толчков в случае аварии судов сплошным стальным листом толщиной в 8 *мм*. По окончании работ над Т. была произведена небольшая каменная наброска в уровень со дном реки. При прокладке метрополитена под Ландверским каналом в Берлине перемычки были устроены сразу



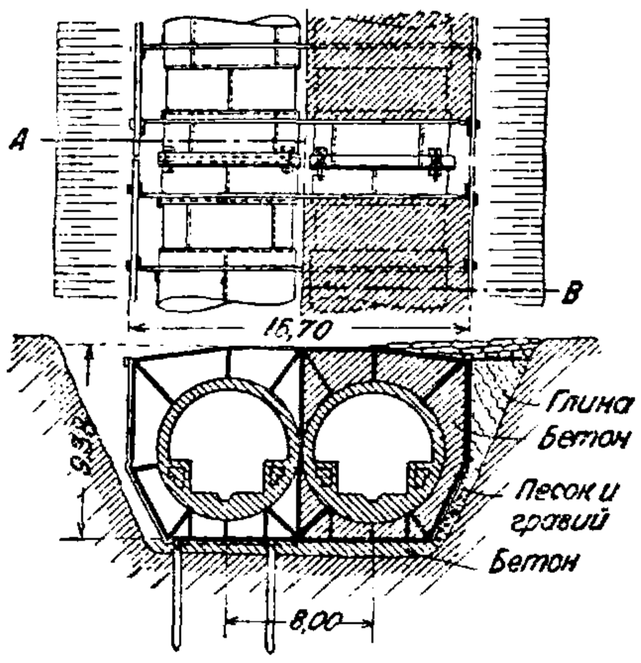
Фиг. 145.

через весь канал, а для пропуска воды поверх перемычек были перекинуты 2 больших сифона диам. 1,50 *м* из железных клепаных труб и шесть таких же сифонов диам. 0,80 *м* (фиг. 145). Производство работ за перемычками дает возможность, как и кессонный способ, приподнять Т. ко дну реки и улучшить т. о. трассировку линии в профиле. Способ этот возможен только при небольших сравнительно глубинах и при отсутствии паводков. Иначе сооружение перемычек представляет уже известную опасность, и даже в самом Берлине имел место прорыв перемычки, едва не кончившийся катастрофой и надолго остановивший работы и движение на эксплоатировавшемся участке метрополитена.



Фиг. 146.

Способ погружения изготовленных на стороне секций Т. получил сначала свое развитие для Т. небольшого сечения, прокладываемых под реками и каналами для дюкеров канализации и пр. Как на пример можно указать на прокладку дюкера канализации у о-ва Сен-Луи в Париже. Этот дюкер (фиг. 146) состоял из двух железных труб диам. 0,40 *м*, спаренных между собой. Для укладки их на дне реки была предварительно разработана землечерпанием соответствующая траншея. Трубы на плаву были доставлены и затем путем нагрузки их водой опущены на место. Такого рода работы послужили прототипом для укладки больших Т. в Америке, и впервые по этому способу был проложен под р. Детройт в США большой двухпутный ж.-д. Т. Глубина реки доходила до 14,5 *м*. Грунт—плотный глинистый песок. Т. опускался секциями по 78,75 *м*. Сечение Т. (фиг. 147) состояло из двух спаренных труб диам. 6,10 *м* с осями, расположенными на расстоянии 8 *м* друг от друга. Трубы были железобетонные толщиной 0,50 *м* и были обернуты оболочкой диаметра 7,10 *м* из котельного железа толщиной 9 *мм*. Трубы были усилены 20 железными наружными диафрагмами, расположенными через каждые 3,6 *м* друг от друга и втопленными в бетонный массив по всей его площади шириной поверху 16,70 и понизу 13,30 *м*. Для укладки Т. на дне реки устраивали землечерпанием соответственную выемку. Дно выемки выравнивали и укрепляли бетонным ростверком с уложенной в него сеткой из сортового железа. В подготовленный т. о. котлован опускали железный каркас туннельной секции без бетона. Каркас собирали отдельно на стапеле; собирали только железные оболочки труб с диафрагмами. С боков и снизу к уголкам диафрагм пришивали сплошную опалубку из брусьев толщиной 10,5 *см*, соединенных вшпунт и скрепленных железом. Приготовленный т. о. каркас туннельной секции с крайними торцовыми диафрагмами и сплошной деревянной опалубкой по дну и с боков представлял собою своего рода понтон. Этот понтон спускали на воду и буксировали к месту работ; там его опускали на дно, для чего трубы нагружали водой. Для возможности регулировки секции при установке на место к ней прикрепляли еще железные поплавки в виде больших полых цилиндров. Поплавки облегчали вес каркаса настолько, что его можно было свободно перемещать. Для контроля за установкой служили 2 мачты, прикрепленные к торцам секции по оси. На буксировку и погружение секции требовалось всего 12 ч. После окончательной установки пространство между железными оболочками труб Т. и деревянной опалубкой заполняли литым бетоном через воронки с высоких башен под давлением в 9—10 *atm*, благодаря чему бетон плотно заполнял все бетонируемое пространство. После бетонирования выкачивали воду из труб Т., устанавливали их сообщение с берегом и в них приступали к сборке арматуры и бетонированию внутренних колец. Стыки между секциями устраивали т. о., что конец опускаемой секции, поддерживаемой поплавками, вводился по указанию водолазов в раструб прежде опущенной секции и системой пружин и чек плотно прижимался к резиновому кольцу, помещенному в раструбе, чем достигалось водонепроницаемое соединение секций. Кроме того весь стык между секциями заливали бетоном.

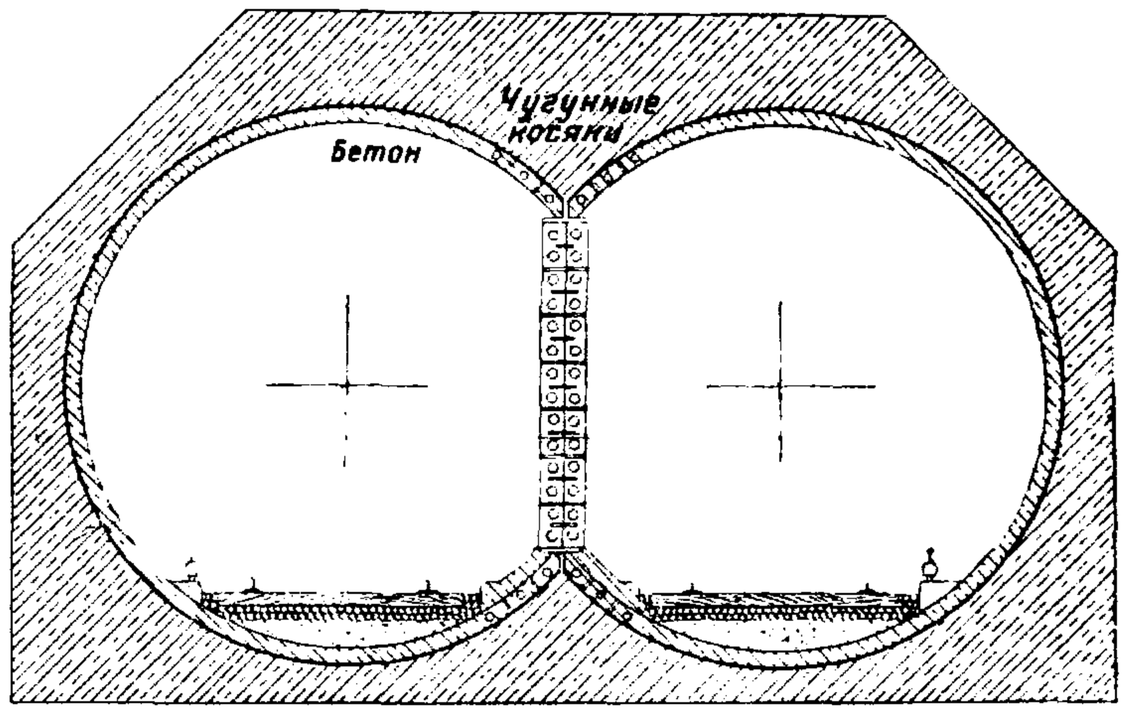


Фиг. 147.

Другой интересный пример прокладки Т. по этому способу представляет собою недавно законченный туннель для автомобильной дороги в Калифорнии между городами Оклендом и Аламедой под рекой Оклама в самом устьи ее при впадении в Тихий океан. Подводная часть туннеля состояла из 12 железобетонных секций длиной каждая в 62 *м* с наружным диам. 11,28 *м* при толщине стенок 0,75 *м* и весом 5 000 *т*. Состав бетона был 1 : 1½ : 3 с добавлением инфузорной земли в количестве 1% от веса цемента. Двумя горизонтальными переборками Т. делится на три части: средняя служит для проезда, а верхняя и нижняя—для вентиляции. Свежий воздух подается по нижнему сегменту, а испорченный вытягивается через верхний сегмент. Нижняя переборка толщиной 0,40 *м* служит основанием для

проезжей части, а верхняя, не неся никакой нагрузки, имеет толщину только 0,10 *м*. Секции заготовляли в сухом доке и бетонировали в два приема. Сначала бетонировали нижнюю часть до пола, затем пол и верхнюю часть. Потолок бетонировали уже после погружения секции и устройства стыков. При бетонировании секций на наружную поверхность опалубки укладывали особый изолирующий слой из трех рядов просмоленной бумажной ткани и четырех прослоек асфальта. Секции погружали вместе с этой изоляцией и опалубкой, к-рая охватывалась через известные промежутки железными обручами. Секции заканчивались прямоугольными железобетонными оголовками высотою 12,20 *м*, шириною 11,60 *м* и толщиною 1,50 *м*. В оголовках торцовые части секции закрывались деревянными переборками из брусьев 0,305 *м*, приболченных к полкам уголков, выпущенных из тела оголовка по периметру трубы секции, и сверх того прикрывались изоляцией из просмоленной ткани и асфальта. Оголовки служили для установки секции. Когда секция была готова, в док впускалась вода, и секция всплывала. Для устойчивости секцию слегка загружали мокрым песком. В таком виде секцию доставляли на буксире к месту работ и погружали, для чего в нее впускали воду. При погружении каждая секция устанавливалась своими оголовками на ящики с песком—по два под каждым оголовком,—установленные на особые круглые бетонные колодцы диаметром в 1,30 *м*. Подъем и опускание этих ящиков регулировали нагнетанием в них песка или высасыванием его через особые трубы с понтонов. Самую секцию Т. наполняли водой лишь настолько, чтобы она была только немного тяжелее веса воды, вытесняемой ею. При таком условии передвижка и перестановка секции совершались с большой легкостью, почти не вызывая напряжений в теле ее. Когда секция была окончательно установлена на ящики своими оголовками, под все цилиндрич. тело секции нагнетали крупнозернистый песок. После этого ящики с песком опускали, секция заполнялась водой полностью и плотно садилась на подготовленное песчаное основание. Для устройства стыков между секциями каждая секция у одного оголовка заканчивалась круглым пазом по всей окружности Т., а у другого оголовка—соответствующей выпуклостью. При установке эта выпуклость входила в круговой паз, и весь стык со всех сторон покрывался бетоном. Для этого между колодцами под оголовком укладывали железные балочки из вертикального листа и четырех уголков, причем вертикальный лист выпускался выше верхних уголков и мог пружинить. Оголовки садились на лист и прижимали его, ограждая т. о. стык внизу под оголовками. Окончательное ограждение достигалось забивкой с боков стыка по полукругу металлич. сцепленных друг с другом шпунтин, причем крайние шпунтины со стороны оголовков зацеплялись за особые шпунтины, заделанные в бетон оголовка. Образованное т. о. замкнутое пространство под низом и с боков стыка заполняли литым бетоном под давлением. Пространство сверху над стыком между двумя прямоугольными оголовками также бетонировали. После того как бетон вокруг стыка окреп, разбирали брусья в торцах труб и устраивали окончательное их соединение. Сооружение всего Т. с подходными частями общей длиной 1 371 *м* обошлось в 4 500 000 долл.

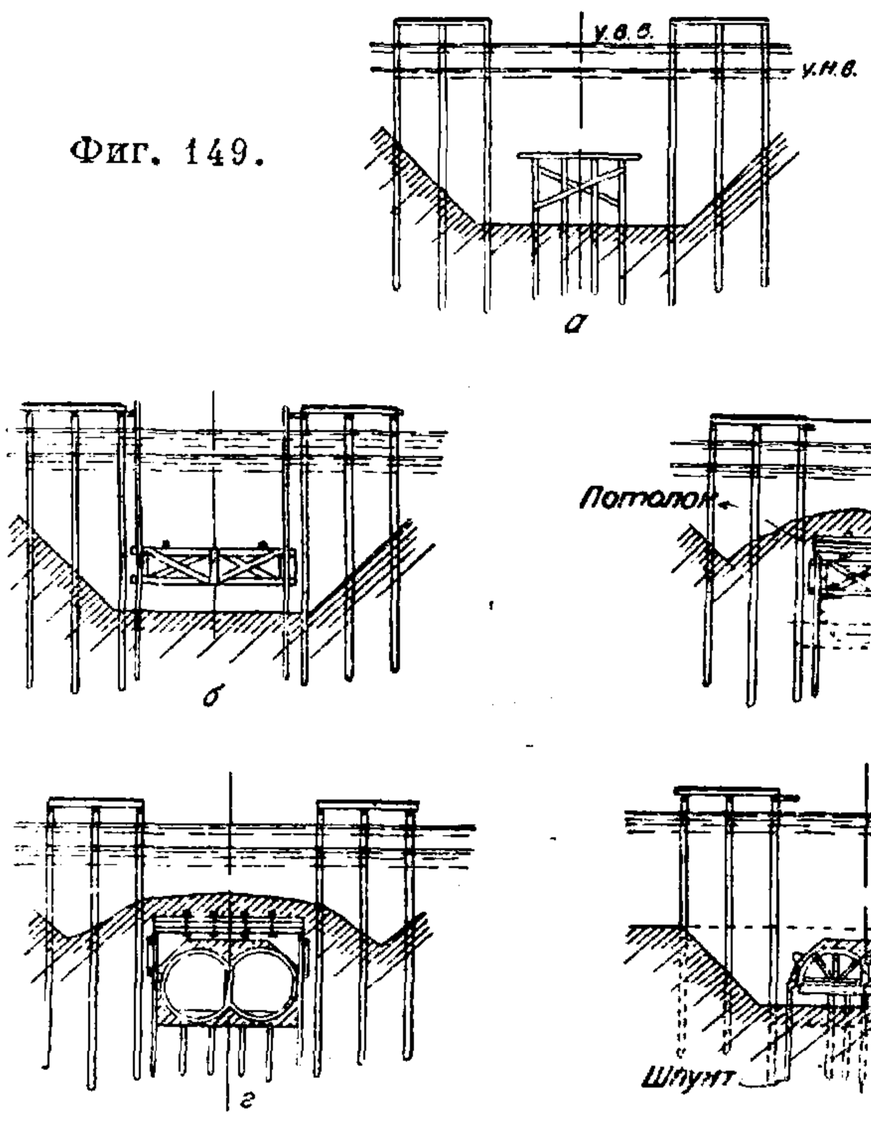
Способ водонепроницаемого потолка впервые нашел применение под р. Гарлем около Нью Йорка. Глубина реки была ок. 8 *м*, и Т. закладывали на глубине 14,5 *м*. Т. предназначался для двух путей электрич. ж. д. Сечение его состояло из двух спаренных чугунных труб диам. 4,80 *м*, затопленных в бетонный массив (фиг. 148). Ширина реки была 183 *м*, и работы были разбиты на три секции. Работы начинались с устройства землечерпа-



Фиг. 148.

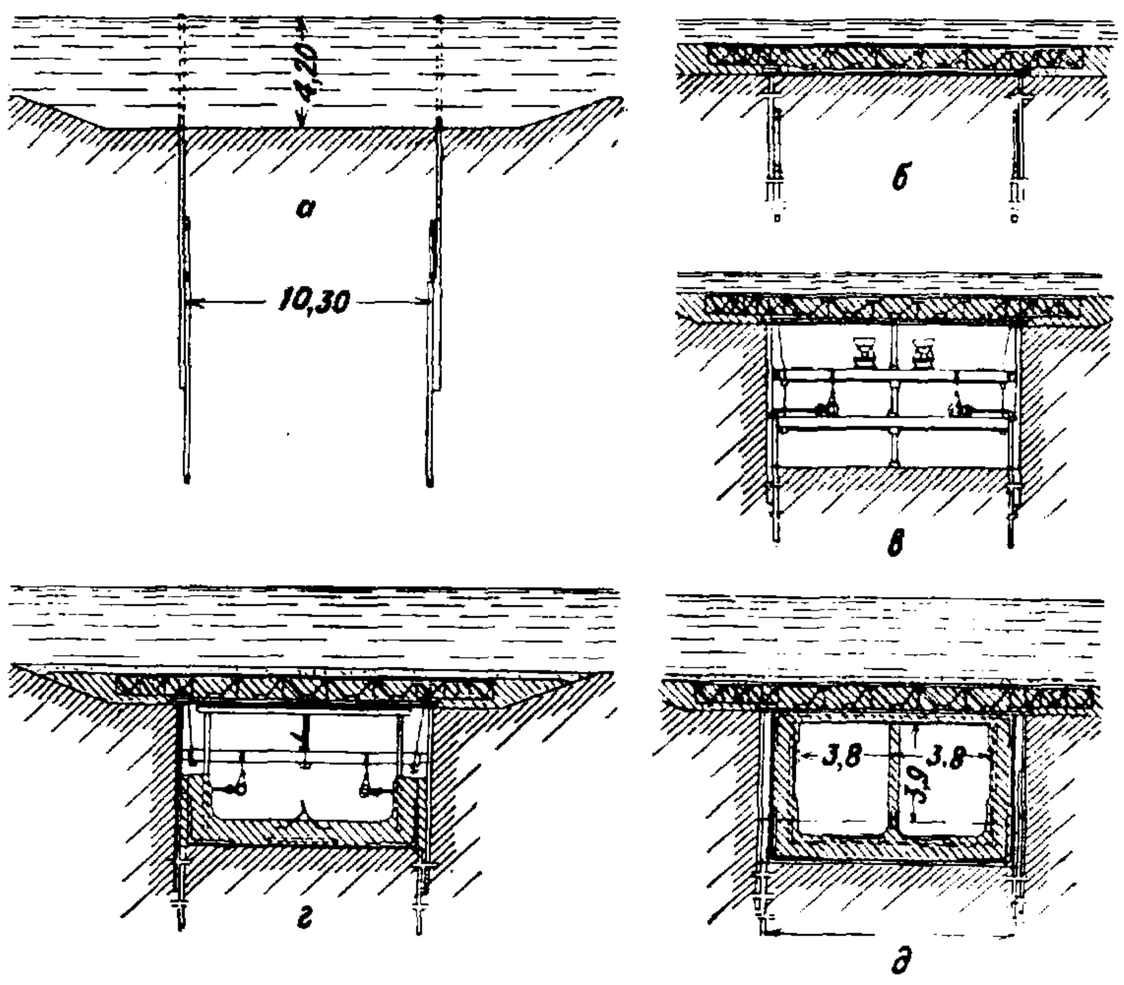
нием котлована для туннеля (фиг. 149, *а*—*г*). Вокруг котлована устраивали свайные подмости для подвоза материалов, установки копров и прочих вспомогательных работ. Затем с подмостей по всему периметру сооружаемой секции забивали шпунтовые стенки из брусьев 30 × 37 *см*. Шпунты укрепляли рядом распорок и срезывали в воде водолазами по уровню на определенной высоте. На шпунтовые стенки спускался деревянный потолок, составленный

Фиг. 149.



из нескольких рядов брусьев в поперечном и продольном направлениях общей толщиной 1 *м*. Полученную т. о. закрытую камеру засыпали сверху глиной, что обеспечивало ее водонепроницаемость. В камеру вставляли шахтные трубы со шлюзами, действием сжатого воздуха из камеры удалялась вода, затем производили выемку грунта для Т., собирали чугунные трубы и производили кладку. При сооружении последней секции производство работ было несколько упрощено. Вместо деревянного потолка на шпунтовые стенки (срезанные несколь-

ко ниже первых) опускали верхние части Т. из двух полутруб (фиг. 149, *д*), приготовленных заранее, и дальше работы вели под прикрытием из этих труб. Значительно проще велись работы по этому способу в Берлине для пропуска метрополитена под р. Шпрее у моста Яновиц. Там работы начинались с устройства на дне реки землечерпанием неглубокой выемки (0,50 *м*) шириной понизу ок. 17 *м* на всем протяжении Т. (фиг. 150, *а*). Затем вдоль наружных очертаний сооружаемого Т. забивали железные шпунтовые сваи. Оголовки этих свай выравнивали несколько выше произведенной выемки. Одновременно почти рядом со шпунтом забивали с внутренней стороны на нек-ром расстоянии друг от друга (ок. 7 *м*) обсадные трубы для всасывающих колодцев. На забитые шпунтовые стенки укладывали при помощи водолазов с пловучих подмостей решетчатые клепаные железные балки (фиг. 150, *б*), по несколько штук сразу. Эти балки по указанию водолазов точно устанавливали на шпунтовые стенки через железные швеллеры, приболченные к ним. Уложенный т. о. настил из железных



Фиг. 150.

балок заполнялся сверху бетоном. Бетон затем покрывали предохранительным слоем гравия и для полноты схватывания оставляли на нек-рое время в покое. После этого под окрепшим железобетонным потолком приступали с обоих берегов к разработке грунта б е з п р и м е н е н и я с ж а т о г о в о з д у х а. Забитые ранее в грунт трубчатые колодцы при этом обнажались, с них снимали надетые на них при установке предохранительные колпачки, и каждый ряд колодцев соединяли поверху общей водосборной трубой с насосной станцией. Под действием насосов уровень грунтовых вод понижался (в р. Шпрее, как уже говорилось выше, дно было прикрыто слоем непроницаемого ила и только ниже шел песок, т. ч. речная вода с трудом попадала в нижние водоносные слои, что облегчало откачку из них воды), и работы велись насухо (фиг. 150, *в*). Расход воды в колодцах при этом достигал 40 $м^3/мин$. По разработке выемки Т. на полный профиль приступали к кладке лотка, стен и потолка Т. (фиг. 150, *г*). Вся обделка Т. была из железобетона, причем для увеличения жесткости в продольном направлении Т. был разделен сплошной продольной стенкой на две половины (фиг. 150, *д*). Железобетонный потолок, служивший прикрытием при производстве работ, остался по окончании Т. составной частью его перекрытия. Он был только усилен снизу для лучшей водонепроницаемости дополнительной железобетонной плитой с прокладкой нескольких листов гудронированного войлока. Таким же войлоком с прослойками клебемассы были обернуты на бетонной подготовке стены и лоток Т. Водонепроницаемость была достигнута полная. Работы по сооружению этого Т. длиной 183 *м* длились всего один год.

Характеристика нек-рых Т. дана в табл. 7.

Расчеты Т. З а т р у д н и т е л ь н о с т ь о п р е д е л е н и я в н е ш н и х с и л, д е й с т в у ю щ и х н а Т. Туннельная обделка, выдерживающая на себе давление окружающих слоев земли и вызывающая в них соответствующие реакции, обычно представляет собою несложную инженерную конструкцию в виде свода или замкнутого кольца (однопролетного, редко двухпролетного), при плоских же перекрытиях—в виде балки на двух или нескольких опорах, а при жестком закреплении узлов—в виде рам. Для расчета такого рода конструкций теория инженерных сооружений дает вполне определенные решения, если бы были известны внешние силы, действующие на эти конструкции, и могли быть учтены все реакции земляной среды, окружающей Т. К сожалению только для очень мелко заложенных Т., преимущественно городских, эти внешние активные силы (вес вышележащей земли, нагрузка от близлежащих зданий и подвижная нагрузка) м. б. определены с достаточной точностью. Также довольно точно можно определить эти силы для подводных Т., проложенных в водопроницаемых грунтах на небольшой глубине от дна, где приходится считаться с определенным гидростатич. давлением воды и с давлением земли от дна до низа Т. Пренебрегая в таких случаях в запас прочности нек-рыми трудно определимыми реакциями, можно расчетом установить типы туннельной обделки в соответствии с действительной необходимостью. Но для Т., закладываемых б. или м. глубоко, не только горных, а также и городских, даже на глубине 4—5 *м* над сводом уже возникают затруднения в определении нагрузки на обделку Т. Предположение, что на свод давит вся масса земли, находящаяся над ним, приводит к явно абсурдным результатам, идущим вразрез с практикой туннелестроительства. Поэтому обычно при назначении типов туннельных обделок действуют путем приближения по примерам, давшим хорошие результаты в грунтах и при прочих условиях, подходящих к рассматриваемому случаю. Этот метод широко применяется в горных Т. при глубоком их заложении. Этому же методу следовали иногда и при проектировании городских Т., напр. в Париже и Лондоне. Первые попытки определения внешних сил, действующих на свод Т., возникшие со стороны нек-рых геологов (Гейм из Швейцарии и др.), сводились к предположению, что на туннельную обделку должен давить вес всех вышележащих над нею пластов земли, даже при наличии твердой скалы. Доказывалось, что даже самая твердая порода, подверженная большому давлению, становится как бы гидростатичной, т. е. может, хотя и очень медленно, изменять свои формы и оказывать давление со всех сторон, т. ч. всякий Т., проложенный на очень большой глубине, с течением времени, хотя бы через 100 лет и более, должен неиз-

Табл. 7. — Характеристика некоторых туннелей.

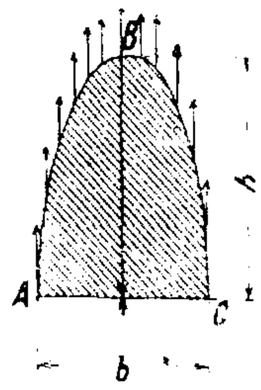
Название	Год сооружения	Длина в м	Ширина в м	Порода грунтов	Способ разработки	Стоимость 1 п. м в руб.
			Железнодорожные однопутные			
Швейцария						
Риккен	1910	8 600	5,20	Песч. мергель, слои известн., газы	Потолочного разреза	520
Альбула	1903	5 865	4,50	Известн., сланец, вакка, морена, гранит	То же	460
Симплон	1906	19 732	5,0	Гнейс, сланцы	Австр., частич. итал.	1 435
Австрия						
Босрук	1906	4 766	5,50	Доломиты, сланец	Бельг. и австр.	550
Буково	1903	928	5,50	Известн., глинист. сланцы	Австр., итал.	1 480
Рехберг	1899	317	5,50	Доломиты, известняк	Австрийский	330
Германия						
Мариенталь	1887	1 041	5,50	Серая вакка, сланец	Бельгийский	270
СССР						
Северо-Донецкий	1916	2 060	5,20	Глин. сланцы, известн., песч., песок, плывун	Австр., частью бельгийский	1 025
			Железнодорожные двухпутные			
Франция						
Медон	1900	3 341	9,00	Известняк, гипс, мергель, глина	Бельг., частичные примен. сжат. возд.	1 125
Коль-де-Кабр	1895	6 800	9,00	Сланцы	Бельгийский	670
Италия						
Коль-ди-Тенде	1899	8 098	8,00	Сбросовые сланцы	Бельг. с нижней штольней	680
Туркино	1894	6 447	8,00	Известн., сланцы, тальковые сланцы, серпентин	Бельг. с нижней штольней	1 140
Швейцария						
Сен-Готард	1881	14 981	8,00	Гнейс, слюдяные сланцы	Бельгийский	1 210
Лечберг	1912	14 538	8,20	Сланцы, известн., гранит, кристаллич. породы	Потолочного разреза	550
Гауенштейн	1915	8 134	8,40	Изв., доломит., известковый мергель	Потолочного разреза	1 130
Австрия						
Арльберг	1889	10 250	8,20	Гнейс, гранит	Австрийский	1 710
Караванкен	1903	7 926	8,20	Изв., известк. сланцы, конгломер., ангидрид	»	1 800
Вохейн	1905	6 239	8,20	Мергель, изв., известк. сланец	»	1 210
Тауерн	1909	8 553	8,20	Гнейс	»	1 310
Германия						
Фрида	1879	1 065	8,20	Песчаники, сланцы	»	595
Кюльштадт	1879	1 529	8,20	Изв., мергель	»	700
СССР						
Больш. Новороссийский	1889	1 389	8,75	Глинист. сланцы и известн.	»	1 000
Малый Новороссийский	1889	384	8,75	То же	Бельгийский	750
Джарджурский	1898	1 705	8,75	Туфовая лава	Австрийский	1 045
Кругобайкальский						
а) Половинный	1905	779	8,75	Гнейс		1 560
б) Хабатуй	1905	548	8,75	То же		1 330
Сурамский	1891	3 998	8,95	Мергель, сланц. глины, изв., песч.	Австр., частью бельгийский	1 560

бежно подвергнуться разрушению. В доказательство гидростатичности твердых пород, подвергнутых высоким давлениям, приводили опыты с мрамором, деформировавшимся без трещин под большим давлением. Эти взгляды встретили протесты со стороны строителей Т. Указывали на полное их несоответствие с практикой. Брандзу, известный строитель Т., указывал на пример Сен-Готардского Т., где толщина свода была допущена в 0,60 *м*, тогда как при расчете на давление всей земли над сводом эту толщину пришлось бы увеличить до 6 *м* и т. д.

Непосредственное измерение давления по деформациям крепей. Затруднительность заранее определить для Т. давление земляных масс, находящихся над ним, привела еще давно строителей к мысли установить величину этого давления путем наблюдений за деформациями крепей при прокладке Т. В этом смысле были даны указания еще Риттером. Наблюдения в таких случаях д. б. сосредоточены на штендерах штольни и калотты, к-рые непосредственно выдерживают давление от потолка туннельной разработки. По степени вдавливания этих штендеров в поддерживаемые ими верхняки или лонгарины, а также в поддерживающие их лежни или швеллеры, можно судить о действующих в них усилиях, а следовательно и о полном давлении на весь потолок разработки. Несмотря на всю кажущуюся бесспорность такого определения давления земли на Т. в известных условиях оно может дать преувеличенные значения. Дело в том, что при разработке Т. земля оказывает вначале значительно большее давление, чем впоследствии, когда после замыкания свода встревоженные земляные массы вновь придут в равновесие и успокоятся. Особенно это заметно в сыпучих грунтах, когда давление на временные крепи усиливается вследствие протекания грунта через крепления при разработке и когда каменная кладка, прекращая утечку грунта внутрь Т., тем самым ослабляет давление его на Т. Это явление совершенно аналогично тому, к-рое наблюдается в силосах, когда при выпускании зерна из отверстия давление на дно камеры силоса сразу возрастает и возвращается к прежнему состоянию, как только движение зерна прекращается. В нек-рых случаях этот прием дает и преуменьшенные значения. Если разработка Т. ведется исключительно малыми частями (что необходимо в слабых Т. и при больших давлениях), то грунт над такого рода разработками (порядка штолен) образует сам собою свод и часто вовсе не оказывает давления на крепи или оказывает сравнительно слабое давление. По окончании же каменной обделки Т. с относительно большим пролетом разгружающее значение земляного свода над туннелем уменьшается (о зависимости между пролетами туннельных разработок и действительным давлением на потолок разработки, установленной новейшими исследованиями, см. ниже) и весь Т. может получить на единицу площади бо́льшую нагрузку, чем потолок штольни или калотты при небольшой ее длине. Но помимо этих общих соображений сами деформации в крепях не всегда соответствуют действительным сжимающим усилиям от напора земли. Сопротивление дерева сжатию в туннельных креплениях сильно меняется от срока их службы в Т. После нескольких оборотов оно уменьшается иногда в несколько раз. Кроме того вдавливание штендеров в лонгарины часто происходит не от давления земли, а от чрезмерного зажатия их при подклинивании.

Теория Ржихи. Ржиха считает, что при разработке Т. над ним образуется своего рода земляной клин, к-рый под влиянием собственного веса стремится скользить внутрь Т., но встречает реакции со стороны окружающих его земляных масс и благодаря этому из этого земляного клина образуется земляной свод, себя разгружающий, причем часть клина, находящаяся ниже образовавшегося земляного свода, как бы отрывается от него и производит давление на потолок туннельной разработки. Границу между образовавшимся земляным сводом и отрывающейся от него нижней частью земляного клина Ржиха определяет в виде параболы; этот параболический цилиндр земли и давит на туннельную разработку. Сам Ржиха не дал дальнейшего развития своих взглядов, но представление его о земляном теле параболич. формы, давящем на туннельную разработку, легло в основу теорий других специалистов—Риттера, Коммереля и Протодьяконова.

Метод Риттера. В попытках непосредственного определения давления земли на туннельный свод Риттер исходит из сопротивления разрыву горной массы, находящейся над Т., и считает, что давление на свод Т. равно весу P тела параболич. формы (фиг. 151), уменьшенному на силу U, необходимую для отрывания горной массы по линии ABC. Давление на свод туннеля (в *кг*) в таком случае по Риттеру выражается формулой



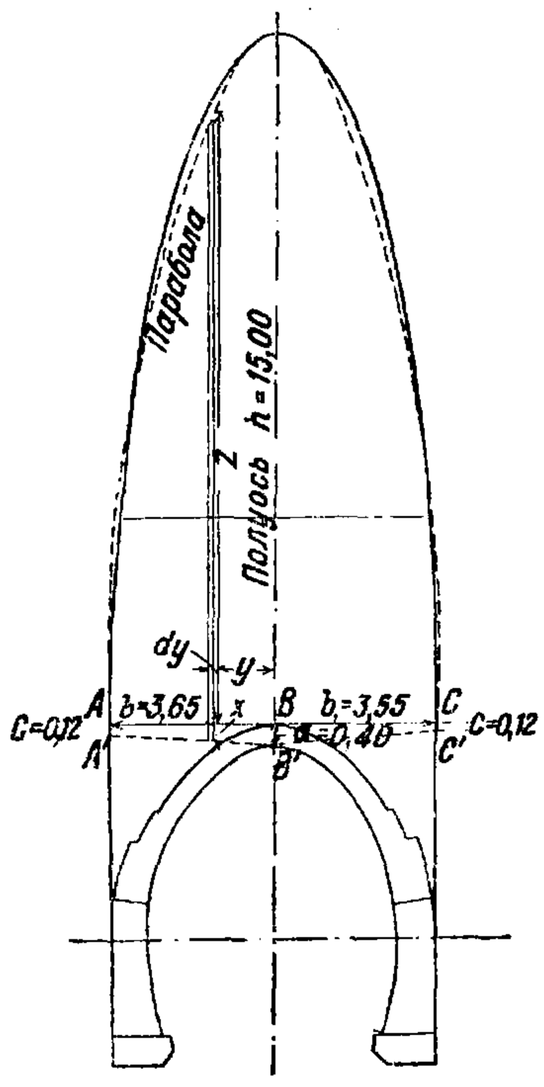
Фиг. 151.

$$R = P - U = \gamma b \left(\frac{b^2}{48u} - u\right), \qquad (1)$$

где γ—вес 1 $м^3$ земли в *кг*, b—отверстие Т. в *м*, γu—сопротивление разрыву горной массы в $кг/см^2$. Высоту параболы h (в *м*) Риттер определяет равной

$$h = \frac{b^2}{16u}. \qquad (2)$$

Так как Риттер не установил данных для определения u, то он предложил принимать γu равным силе сцепления грунтов $k\gamma$, причем для твердой глины Риттер дает $k = 0{,}3 \div 0{,}5$. Способ расчета, указанный Риттером, однако не был использован практиками-строителями, и ф-лы его остались непроверенными опытом. Для грунтов, не обладающих сцеплением, как песок и гравий, он дает неправильные результаты, т. к. в таком случае при $u = k = 0$ $h = \infty$, т. е. кривая ABC (фиг. 151) переходит в две вертикальные прямые, и на свод должна была бы давить при любой высоте вся масса земли, находящаяся над ним, что совершенно не соответствует имеющимся в наст. время данным туннельной практики.



Фиг. 152.

Метод Коммерелля. В методе расчета, предлагаемом Коммерелем, в основу для опре-

деления давления берутся осадки, наблюдаемые в потолке туннельной разработки. Коммерель исходит из предположения, что вследствие осадки крепей при прокладке Т. часть грунта отрывается от остальной земляной массы и эта-то оторвавшаяся часть грунта только и давит на Т., остальная же масса образует над Т. свод. Если при разработке туннеля точка B (фиг. 152) осела на величину a, точки же A и C на величину c и если допустить, что линия $A'B'C'$ образует параболу, то ур-ие этой параболы, отнесенной к началу координат в B, будет

$$y^2 = 2p\,(a - x) \qquad (3)$$

или

$$y^2 = \frac{b^2}{a-c}(a - x), \qquad (4)$$

т. к. при $y = b$ и $x = c$

$$2p = \frac{b^2}{a-c}.$$

Отсюда

$$x = a - \frac{(a-c)}{b^2}\,y^2. \qquad (5)$$

Объем оторвавшейся массы высотою z, шириною dy и длиною 1 будет

$$dQ_z = 1 \cdot z \cdot dy. \qquad (6)$$

Если разрыхление грунта при осадке равно p %, то разрыхление тела Q_z выразится из (6):

$$\frac{p}{100}\,Q_z = \frac{p}{100}\,z\,dy. \qquad (7)$$

С другой стороны, на фиг. 152 видно, что разрыхление тела Q_z равно $x\,dy$. Отсюда

$$x\,dy = \frac{p}{100}\,z\,dy \qquad (8)$$

или

$$x = \frac{p}{100}\,z. \qquad (9)$$

Подставляя в ур-ие (9) x из ур-ия (5), получим

$$z = \frac{100}{p}\left[a - \frac{(a-c)}{b^2}\,y^2\right], \qquad (10)$$

что выражает собою параболу с вершиной, находящейся над точкой B на расстоянии $100\,\frac{a}{p}$. В дальнейшем Коммерель предлагает заменить ур-ие параболы (10) ур-ием эллипса, относя его к центру координат B (фиг. 152), что дает ему возможность считаться только с одной осадкой a в точке B:

$$\frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{h^2} = 1, \qquad (11)$$

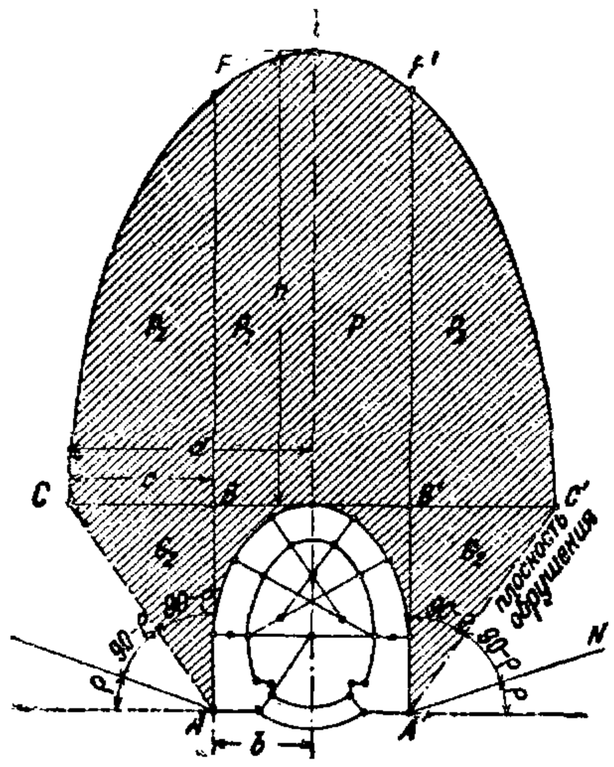
где b—полуширина выработки Т., а h—высота оторвавшейся массы земли—«эллипса давления», равная

$$h = \frac{100a}{p}, \qquad (12)$$

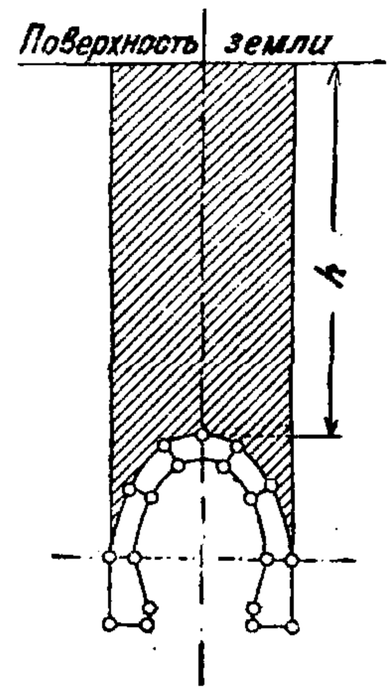
причем p—коэф. остаточного разрыхления—различен для разных грунтов. Значение его в %:

Грунт	p
Песок и гравий	1— 1,5
Глинистый грунт	2— 4
Мергель и прочее	4— 5
Твердая глина	6— 7
Скала	8—15

Разобранный пример относится к случаю, когда грунт не оказывает активного давления на Т. Расчет с учетом активного давления ведется несколько иначе. Прежде всего устанавливается угол естественного откоса грунта ϱ (фиг. 153) и определяется плоскость обрушения в точках A и A' по линиям AC и $A'C'$, как равноделящим угол $90° - \varrho$. После этого проводится горизонтальная касательная к шелыге свода до встречи ее с плоскостями обрушения в точках C и C'. Прямая CC' и представляет собою горизонтальную ось эллипса давления, вертикальная полуось которого $h = \frac{100a}{p}$, как и в предыдущем случае. Горизонтально действующее давление земли на поверхность AB определяется как давление земляной массы G_2

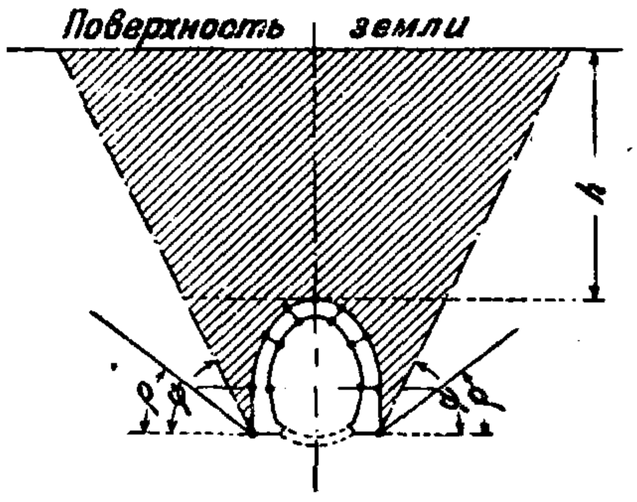


Фиг. 153.

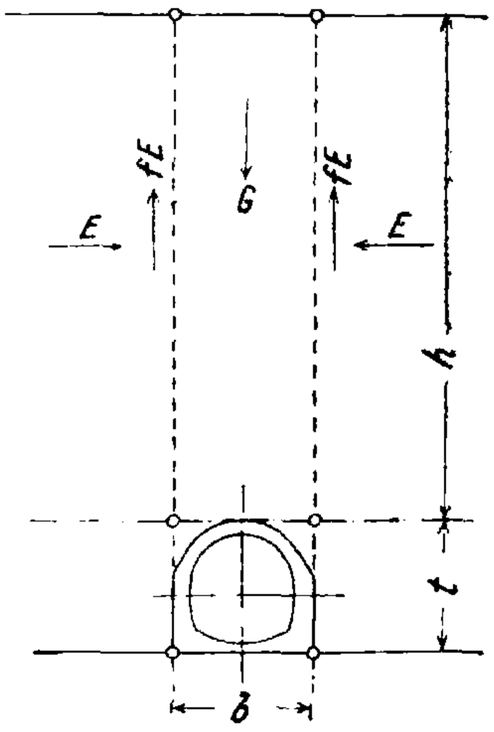


Фиг. 154.

(призмы ABC), нагруженной массой P_2 (тела BCF). Точка приложения давления от нагрузки P_2 с достаточной точностью м. б. принята в середине AB. В тех случаях, когда величина h получается больше высоты земли над сводом Т., нагрузка вместо эллипса давления принимает вид, показанный на фиг. 154 и 155. Для горных Т., прокладываемых в твердых породах с сравнительно большим коэф-том остаточного разрыхления, приемы расчетов, предлагаемые Коммерелем, приводят к результатам, довольно близким к тем, к-рые выработаны туннельной практикой. Но для грунтов с малым коэф-том остаточного разрыхления, как песок или неслежавшийся гравий, расчеты по Коммерелю дают чрезмерную высоту эллипса давления, явно противоречащую данным туннельной практики. В таких грунтах в случае осадок быстро восстанавливается первоначальное равновесие и наступает успокоение. Кроме того в самом эллипсе давления об-



Фиг. 155.



Фиг. 156.

разуется ряд сводиков, разгружающих Т., и должна также проявиться сила трения о стенки неразрыхленного тела (по бокам эллипса давления), не говоря о сопротивлении отрыву оседающейся массы от остального массива горы.

Метод Бирбаумера. Бирбаумер в своем определении давления на туннельный свод исходит из силы трения, противодействующей оседанию грунта над Т. На Т. должна давить сверху сила G (фиг. 156), равная $b\gamma h$, где b—ширина Т. в $м$, h—высота земли над Т. в $м$, γ—вес 1 $м^3$ земли. Этой силе должна противодействовать сила трения fE между части-

цами грунта под влиянием бокового давления. Поэтому порода сверху Т. будет оказывать на него давление, несколько меньше $b\gamma h$, равное $\theta b\gamma h$, где θ зависит от угла трения грунта ϱ и от высоты нагрузки h. В предположении горизонтального направления боковых сил Бирбаумер дает следующие выражения для θ:

$$\theta = \left(1 - \frac{\lambda h}{b + 2t\xi}\right)\xi^2 \qquad (13)$$

и

$$\theta = \left[1 - \frac{\lambda h}{\frac{\lambda h + b}{2} + \sqrt{\left(\frac{\lambda h + b}{2}\right)^2 + ht\xi^4}}\right], \qquad (14)$$

где t—высота Т., $\xi = \operatorname{tg}\left(45° - \frac{\varrho}{2}\right)$ и

$$\lambda = \operatorname{tg}\varrho \operatorname{tg}^2\left(45° - \frac{\varrho}{2}\right) = \xi^2 \operatorname{tg}\varrho.$$

При этом нижний предел коэф-та θ по Бирбаумеру будет

$$\theta_{min} = \xi^4. \qquad (15)$$

В табл. 8 даны значения приведенной высоты θh для разных углов ϱ и разных высот h (в *м*) для однопутного Т. ($t = 8$ *м* и $b = 8$ *м*) и для двухпутного Т. ($t = 8$ *м* и $b = 12$ *м*).

свода (имеется в виду бельгийский способ работ). Линии AA' и BB' наклонены к вертикали под углом α, к-рый Сюке называет «углом осадки». Величина этого угла зависит от природы грунта: будучи незначительной в плотных грунтах, она растет в слабых грунтах. Для некоторых грунтов Сюке дает ее значения. Угол α можно было бы легко определить, если принять плоскости AA' и BB' за плоскости обрушения грунта. Действительно, углы α, даваемые Сюке для нек-рых грунтов, довольно точно совпадают по величине с углами, образуемыми вертикалью с плоскостью обрушения, определенными по ф-ле $\frac{90° - \varphi}{2}$, где φ—угол естественного откоса. При таком предположении неопределенность в определении угла α отпадает.

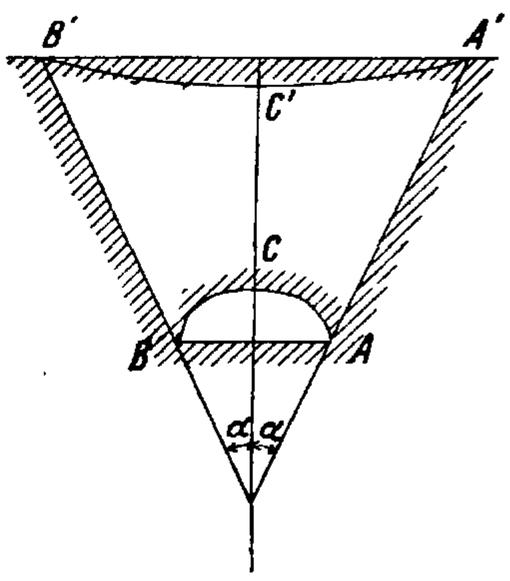
Пусть D—плотность грунта, r—его сопротивляемость. При этой сопротивляемости r земляной свод мог бы держаться сам собой, если бы его плотность вместо D равнялась нек-рой меньшей величине D'. Разность $D - D' = D''$ представляет собою излишек плотности грунта, который и оказывает давление на свод Т. Расчет свода Сюке ведет по методу пре-

Табл. 8. — Значение приведенной высоты θh.

h	Однопутный Т.							Двухпутный Т.						
	$\varrho=15°$	$\varrho=20°$	$\varrho=25°$	$\varrho=30°$	$\varrho=35°$	$\varrho=40°$	$\varrho=45°$	$\varrho=15°$	$\varrho=20°$	$\varrho=25°$	$\varrho=30°$	$\varrho=35°$	$\varrho=40°$	$\varrho=45°$
20	16	16	16	15	15	15	14	17	17	17	17	17	17	17
30	21	21	20	20	19	19	17	24	23	23	22	22	22	22
40	24	23	22	22	20	19	18	29	27	26	26	25	25	25
50	25	24	22	21	19	17	15	33	30	29	27	27	27	27
75	32	29	24	20	15	13	9	36	32	28	25	23	22	22
100	36	32	26	20	15	12	9	39	35	29	24	18	15	11
150	53	36	29	21	15	12	9	53	42	30	24	17	14	9
200	70	48	34	22	14	10	8	70	48	36	24	16	12	8
250	88	80	43	27	18	13	8	88	60	41	27	18	13	8
300	105	72	51	33	21	15	9	105	72	51	33	21	15	9
400	140	96	68	44	28	20	12	140	96	68	44	28	20	12
500	175	120	85	55	35	25	15	175	120	85	55	35	25	15
600	210	144	102	66	42	30	18	210	144	102	66	42	30	18
700	245	168	119	77	49	35	21	245	168	119	77	49	35	21
800	280	192	136	88	56	40	21	280	192	136	88	56	40	24
900	315	216	153	99	63	45	27	315	216	153	99	63	45	27
1 000	350	240	170	110	70	50	30	350	240	170	110	70	50	30

Выведенные результаты довольно хорошо согласуются с данными туннельной практики, давая для нормальных грунтов при $\varrho \geqslant 30°$ и глубине до 500 *м* значения θh, почти независящие от глубины заложения Т.

Метод Сюке. Сюке из наблюдений за работами в Т. парижского метрополитена предлагает другие методы. Он считает, что над сводом Т. образуется земляной свод, б. или м. разгружающий туннельный свод, но в отличие от Ржихи, Риттера и Коммереля полагает, что этот свод начинается непосредственно у наружной поверхности Т. и действует по всей высоте над Т. (фиг. 157). Сюке рассматривает случаи сравнительно неглубокого заложения Т., когда осадки грунта при разработке Т. могут распространяться до дневной поверхности, и ограничивает работу земляного свода линиями AA' и BB' (фиг. 157), которые на поверхности земли определяются зоной осадки грунта между точками A' и B' и внизу пятами туннельного



Фиг. 157.

дельного равновесия, причем для упрощения допускает, что реакции в пятах направлены перпендикулярно к пятам (линиям AA' и BB'). В таком случае наибольшее напряжение земляного свода в ключе будет

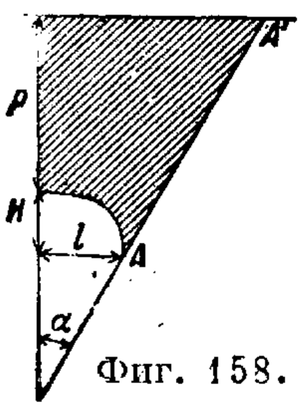
$$p = \frac{2Q}{H \operatorname{tg}\alpha}, \qquad (16)$$

где Q—вес половины земляного свода (фиг. 158), H—высота земли над сводом, α—угол осадки. Подставляя вместо Q его значение в зависимости от геометрич. элементов его составляющих и плотности D и считая для простоты, что объем пустоты, ограничиваемый туннельной обделкой, равен $\frac{2}{3}hl$, Сюке выводит, что

$$p = \frac{2D}{H}\left[\frac{l\left(H + \frac{h}{3}\right)}{\operatorname{tg}\alpha} + \frac{(H+h)^2}{2}\right]. \qquad (17)$$

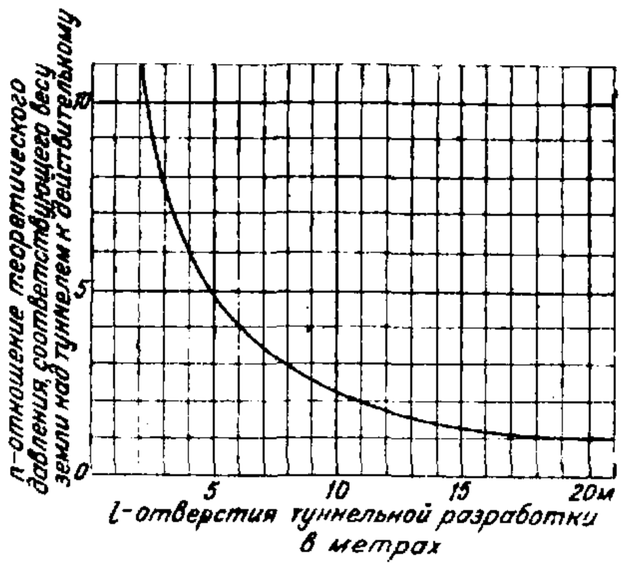
Для очень глубоко лежащих Т., когда h настолько мало по отношению к H, что его величиной можно пренебречь, ф-ла Сюке приводит к заключению, что напряжение в земляном своде почти равно HD. Для небольших глубин заложения (порядка не более нескольких десятков метров) выводы Сюке дают результаты, близко совпадающие с наблюдениями в тех случаях, когда это удавалось проверить, как

это особенно обнаружилось при разрушении нек-рых сводов в Т. парижского метрополитена. Зная l, h, H, α и D, определяют напряжение земляного свода p. Если p превышает r, то на свод Т. должна быть передана часть нагрузки земли, к-рая соответствовала бы некоторой фиктивной плотности ее D'' и к-рую легко определить из основного ур-ия (17), подставляя вместо p значение r и определяя D', соответствующее этому r. Разность $D - D' = D''$ и представляет собою ту фиктивную плотность земли, к-рую должен выдержать туннельный свод.



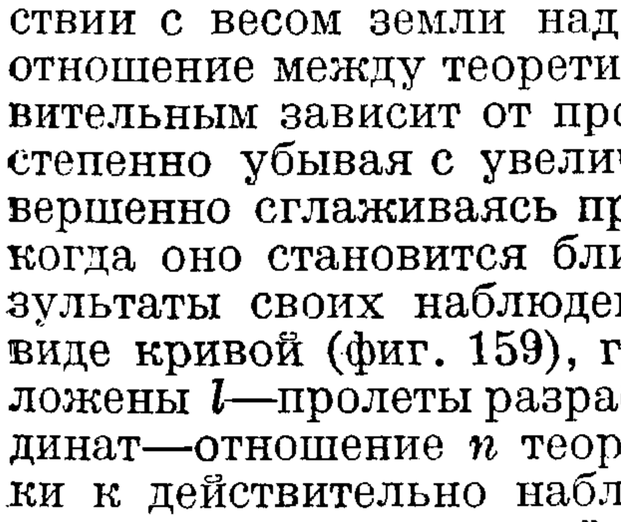
Фиг. 158.

В последнее время Сюке производил непосредственные наблюдения над давлением земли в туннельных разработках на строящихся линиях парижского метрополитена при заложении их на глубине 4—5 *м*, считая от свода. Для своих измерений Сюке брал целые пролеты креплений калотты между лонгаринами и, поддерживая их на гидравлических домкратах, отмечал непосредственно давления, оказываемые землей на них. Грунты над разработкой состояли в нижней части из аллювиальных песков, а в верхней—из растительной земли и насыпи. Опыты производились для разработок разной ширины. Исследованиятвердо установили, что при прокладке Т. малых и средних пролетов действительное давление на крепи, несмотря на наличие слабых грунтов и небольшую высоту напластований над исследуемыми туннелями, все же значительно ниже давления, теоретически определенного в соответствии с весом земли над Т., и что при этом отношение между теоретич. давлением и действительным зависит от пролета разработки, постепенно убывая с увеличением пролета и совершенно сглаживаясь при пролетах ок. 18 *м*, когда оно становится близким к единице. Результаты своих наблюдений Сюке выразил в виде кривой (фиг. 159), где по оси абсцисс отложены l—пролеты разработки Т., а по оси ординат—отношение n теоретич. полной нагрузки к действительно наблюденной, причем соотношения n на кривой всюду взяты им с некоторым запасом по сравнению с непосредственными наблюдениями.



Фиг. 159.

Интересная теория с заманчивой по своей простоте окончательной ф-лой выведена проф. М. М. Протодьяконовым. Он доказывает, как и многие другие, что при проходке Т. над ним образуется параболич. разгружающий земляной свод и на Т. давит земляная масса, находящаяся внутри этого свода. Для определения высоты параболы b (фиг. 160) проф. Протодьяконов применяет следующее рассуждение. На опоре A земляного свода вертикальная составляющая P давления R прикрепляет частицу к опоре, а горизонтальная составляющая T сдвигает ее. Сдвигу сопротивляется трение с углом φ и коэф-том трения $f = \operatorname{tg}\varphi$. Чтобы земляной свод не рушился, необходимо, чтобы $T < fP$. Но $P = pa$, следовательно



Фиг. 160.

$$T \leqslant fpa;$$

чтобы свод был устойчив, T д. б. меньше fpa, т. е. должен быть нек-рый запас. Этот запас можно представить себе как ряд горизонтальных сдвигающих усилий τ на единицу вертикальной проекции. Это выразится ур-ием:

$$T + \tau b = fpa.$$

Делая соответствующие подстановки, получаем

$$\frac{pa^2}{2} = (fpa - \tau b)\, b$$

или

$$\tau = pa\,\frac{2fb - a}{2b^2}.$$

Чтобы обеспечить наибольшую устойчивость, берем запас τ максимальный, для чего первую производную по b приравниваем нулю:

$$\frac{d\tau}{db} = pa\,\frac{a - bf}{b^3} = 0,$$

откуда

$$b = \frac{a}{f},$$

где a—величина полупролета выработки, а f—коэф. трения или, как дальше выражается проф. Протодьяконов, коэф. крепости породы. Проф. Протодьяконов в своем труде дает среднее значение f для разных пород: плывучие—0,3, сыпучие—0,5, землистые (растительная земля, торф, суглинок, сырой песок)—0,6, мягкие—0,8 и 1,0 (глина, песок, гравий), довольно мягкие—1,5 и 2,0 (сланец, мергель, щебенистый грунт), средние породы—4,0 (крепкий сланец, известняк) и крепкие породы 5—20. Ф-ла проф. Протодьяконова дает давно замеченную связь между давлением и шириной туннельной разработки. Но эта зависимость на самом деле не прямолинейная, как указывает ф-ла, а идет по какой-то кривой, причем для очень малых пролетов давление на потолок разработки быстро падает, приближаясь к нулю. При спокойных однородных напластованиях и когда нет особых геологич. условий ф-ла Протодьяконова дает довольно близкие значения для скалистых грунтов, преувеличенные для плотных мягких и преуменьшенные для слабых мягких. При наклонных и вертикальных напластованиях и при перемежающихся слоях разных пород эта ф-ла дает результаты, далекие от действительности.

Лабораторные опыты Левинсона-Лессинга. Акад. Левинсон-Лессинг производил в Ленинграде лабораторные опыты для изучения давления породы вокруг Т. Исследования производились оптическим методом посредством изолированного света. Материалом для опытов вначале служил целлюлоид, затем стекло. Из опытов выведено заключение, что наиболее выгодной формой Т. является эллипс с вертикальной осью почти вдвое больше горизонтальной. Затем при исследовании слоистого строения породы оказалось, что горизонтальные напластования дают бóльшие и дальше распространяющиеся напряжения, чем вертикальные. Установлено было также, что антиклинальные складки (т. е. в виде свода) дают меньшие нагрузки на Т., чем синклинальные (т. е. складки в виде опрокинутого свода).

Реактивные силы, действующие на туннельную обделку. Определение внешних активных сил еще недостаточно для расчета туннельной обделки. Необходимо помимо реакции в подошве основания учесть также действие пассивных сил отпора земли и трения ее о каменную обделку Т. Игнорирование этих сил и пренебрежение ими в пользу прочности в тех случаях, когда условиями производства работ (плотное прибучивание кладки к земляной разработке и особенно нагнетание цементного раствора за кладку) обеспечено полное взаимодействие работы туннельной обделки и окружающей ее земляной среды, приводит к неправильно преувеличенным решениям. Коммерель в своих попытках расчетов Т. указывает на необходимость во многих случаях считаться с пассивным отпором грунта, а также с силой трения грунта о заднюю грань стенки. Для возможности определения этих сил Коммерель отказывается от приема расчетов всей туннельной обделки как одного целого, а разделяет свод от стенки. Такое разделение вполне логично, т. к. очень часто стенки по своему виду и размерам резко отличаются от свода. Он рассчитывает отдельно свод под действием активных сил, определяет давление свода на стенку и затем рассчитывает стенку, подверженную действию активных известных сил (равнодействующей давления от свода в пяте его, веса земли над стенкой и собственного веса ее) и пассивных реакций грунта, к-рые он пытается определить. Из пассивных реакций грунта Коммерель принимает в расчет: а) пассивный горизонтальный отпор H земли на заднюю стенку, равный по Коммерелю горизонтальной равнодействующей от давления свода и направленной в противоположную сторону, причем распределение этого отпора по задней грани стенки требует определения, б) силу трения земли о заднюю грань стенки $S=\mu H$ (где μ—коэф. трения, принимаемый Коммерелем из осторожности равным 0,3), направленную снизу вверх, и в) вертикальную реакцию земли Q в подошве фундамента стенки, равную разности вертикальной составляющей активных сил Q_0 и определенной выше силы трения S, т. е. $Q = Q_0 - S$, причем распределение этой реакции по подошве фундамента также требует определения. Распределение активных и пассивных сил по Коммерелю показано на фиг. 161, где пассивный горизонтальный отпор грунта на заднюю грань стенки показан в виде тр-ка, не доведенного до низа стенки, а вертикальная реакция на фундамент стенки—в виде трапеции, распределенной по всей ширине фундамента. Если принять стенку Т. в отношении окружающей ее земляной массы как неизменяемое тело, то при повороте в этой земляной массе под действием внешних активных сил подошва ее и задняя грань повернутся на один и тот же угол, уплотняя соответственно грунт. При однородности породы грунта уплотнения д. б. пропорциональны напряжениям в грунте, следовательно углы α и β (фиг. 161) д. б. равны, откуда из подобия тр-ков вытекает равенство

$$\frac{\sigma_x}{3x} = \frac{\sigma_y - \sigma'_y}{b}, \qquad (18)$$

где x—расстояние ц. т. тр-ка напряжений грунта у задней грани стенки в *см*, σ_x, σ_y, σ'_y—соответствующие напряжения в *кг/см²*, b—ширина подошвы стенки. Ведя расчет для стенки длиной в 100 *см*, найдем из условия равенства нулю суммы проекций всех сил на горизонтальную плоскость:

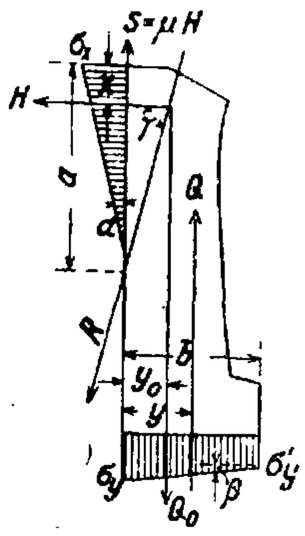
$$\tfrac{1}{2}\sigma_x \cdot 3x \cdot 100 = H, \quad \text{или} \quad \sigma_x = \frac{H}{150x}. \qquad (19)$$

Из ур-ий (18) и (19) имеем

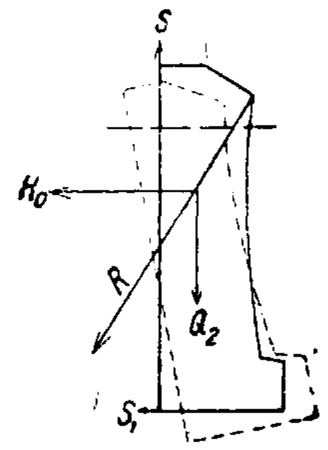
$$x = \sqrt{\frac{Hb}{450(\sigma_y - \sigma'_y)}} = \frac{1}{30}\sqrt{\frac{2bH}{\sigma_y - \sigma'_y}}. \qquad (20)$$

При окончательном определении σ_x, σ_y и σ'_y не должны превышать допускаемых напряжений для данных грунтов. Т. о. в результате предпосылок Коммереля о распределении пассивного давления на стенку Т. выводится положение, что расстояние x зависит от разности $\sigma_y - \sigma'_y$, т. е. от распределения давления по площади основания. На примерах расчетов Коммерель при распределении давления исходит из совершенно произвольной и неправильной гипотезы, что точка приложения опорного давления в подошве совпадает с точкой пересечения подошвы с кривой давления, построенной без учета пассивных реакций, приложенных к стенке. На произвольность этих положений указывал еще Лукас.

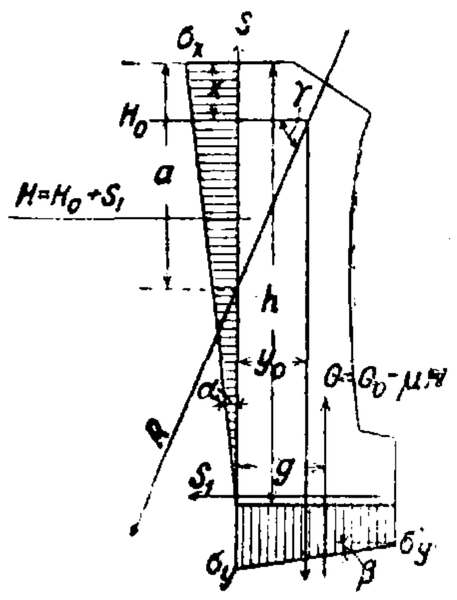
С. Н. Розанов в своих работах дает точное определение реакций на стенку при условии ясности очертания ее задней грани, как указано ниже. Кроме реактивных сил H, Q и S в расчет принимается еще сила трения S_1 в подошве основания. Эта сила имеет большое значение в установлении общего равновесия стенки, а следовательно и в распределении реакций. Игнорирование ее Коммерелем дает при расчетах преувеличенные результаты в определении высоты стенок по сравнению с данными практики (преимущественно парижского метрополитена). Под действием активных сил, соответствующих случаю, изображенному на фиг. 161, стенка, находящаяся в однородной



Фиг. 161.



Фиг. 162.



Фиг. 163.

земляной среде, стремится занять новое положение, обозначенное пунктиром на фиг. 162. Это положение соответствует случаю, показанному на фиг. 161, наиболее часто встречающемуся, но возможны и другие комбинации. Это стремление стенки к перемещению вызовет в окружающей ее земляной среде соответствующие реакции: а) силу трения в задней грани стенки $S=\mu H_0$, направленную вертикально снизу вверх, б) силу трения S_1 в подошве основания, действующую горизонтально, пока неизвестную по величине (величина ее во всяком случае не м. б. более $\mu_1 Q$, где μ_1—коэф. трения, а Q—вертикальное давление на грунт в подошве основания, равное $Q_0 - S$), в) действующий горизонтально пассивный отпор земли на заднюю грань стенки $H = H_0 \pm S_1$ (знак меняется в зависимости от направления силы трения S_1), точка приложения к-рого неизвест-

на, г) реакцию грунта Q на подошву фундамента стенки, направленную вертикально, но точка приложения к-рой неизвестна. В случае, показанном на фиг. 162, S_1 препятствует стенке сдвинуться своим фундаментом внутрь Т., т. е. сила S_1 направлена от Т. в сторону и направление ее одинаково с направлением горизонтальной составляющей распора свода силы H_0 (следовательно $H = H_0 + S_1$). Пока сила S_1 не достигла значения $\mu_1 Q$ или в случае наличия распорок между стенками в виде обратного свода или бревен, не м. б. сдвига фундамента стенки вправо, т. е. в сторону Т., а стенка может только вдавливаться вниз, сжимая грунт в основании, и поворачиваться вокруг крайнего нижнего ребра, нажимая сильнее на грунт с левой стороны основания и сжимая грунт у задней грани стенки по всей ее высоте, как это изображено на фиг. 163 в отличие от фиг. 161 (где тр-к напряжений грунта у задней стенки не доведен до конца, что соответствует случаю нек-рого сдвига стенки у основания вправо). Исходя из соображений статики, можно для случая фиг. 163 составить следующие ур-ия, основные элементы к-рых ясно видны из фиг. 163 и выражены в *см* и *кг*:

$$\frac{\sigma_x}{h} = \frac{\sigma_y - \sigma'_y}{b}, \tag{21}$$

$$\tfrac{1}{2}\sigma_x h \cdot 100 = H_0 + S_1 = H, \tag{22}$$

$$\tfrac{1}{2}(\sigma_y + \sigma'_y) b \cdot 100 = Q_0 - S = Q, \tag{23}$$

$$y_0 = (a - x)\operatorname{ctg}\gamma = (a - x)\frac{H_0}{Q_0}, \tag{24}$$

$$y_0 = \frac{b}{3} \cdot \frac{Q}{Q_0}\left(1 + \frac{\sigma'_y}{\sigma_y + \sigma'_y}\right), \tag{25}$$

и из условия равенства нулю суммы моментов всех сил относительно точки пересечения силы H с задней гранью стенки

$$S_1 \cdot \frac{2h}{3} = H_0\left(\frac{h}{3} - x\right). \tag{26}$$

Делая алгебраич. преобразования, получаем шесть ур-ий с шестью неизвестными σ_x, σ_y, σ'_y, x, y_0, S_1:

$$\sigma_x = \frac{H_0 + S_1}{50h}, \tag{27}$$

$$\sigma_y + \sigma'_y = \frac{Q}{50b}, \tag{28}$$

$$\sigma_y - \sigma'_y = \frac{b}{h}\sigma_x, \tag{29}$$

$$y_0 = (a - x)\frac{H_0}{Q_0}, \tag{30}$$

$$y_0 = \frac{b}{3}\cdot\frac{Q}{Q_0}\left(1 + \frac{\sigma'_y}{\sigma_y + \sigma'_y}\right), \tag{31}$$

$$S_1 = H_0 \cdot \frac{(h - 3x)}{2h}. \tag{32}$$

Решая эти ур-ия относительно x, имеем

$$x = \frac{h[2h^2(2H_0 a - Qb) + b^3 H_0]}{H_0(4h^3 + b^3)} \tag{33}$$

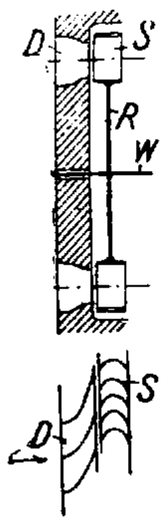
и, зная x, определяем остальные неизвестные. При решении σ_x, σ_y и σ'_y не должны превышать допускаемых напряжений.

Лит.: Кандауров П., Постройка туннеля на 521—522-й верстах Донецкой ж. д., П., 1917; Евдокимов-Рокотовский М., Туннели, Томск, 1926; его же, Давление горных пород, Расчет туннельных обделок, Томск, 1927; Протодьяконов М., Давление горных пород и рудничное крепление, М., 1930; Пассек А., Туннели горного типа, Л., 1930; НКПС, Временный справочник по туннельным работам, М., 1931; Rziha F., Lehrbuch d. gesamten Tunnelbaukunst, B., 1867—1872; Ritter W., Die Statik d. Tunnelgewölbe, B., 1879; Kommerell O., Statische Berechnung von Tunnelmauerwerk, B., 1912; Dolezalek, Der Eisenbahntunnel, B., 1919; Schmid H., Statische Probleme des Tunnel- u. Druckstollensbaues, B., 1926; Lucas G., Der Tunnel, T. 1—2, B., 1920—26; Andreae C., Der Bau langer tiefliegender Gebirgstunnel, B., 1926; Walch O., Die Auskleidung von Druckstollen u. Druckschächten, Berlin, 1926; Randzio E., Stollenbau, B., 1927; Simms F., Practical Tunneling, L., 1896; Stauffer D., Modern Tunnel Practice, N. Y., 1906; Gilbert G., Wightman L. a. Saunders W., The Subways a. Tunnels of New York, N. Y., 1912; Copperthwaite W., Tunneling Shields a. the Use of Compressed Air in Subacqueous Works, 2 ed., L., 1912; Hewett B., Shield a. Compressed Air Tunneling, N. Y., 1922; Brunton D. a. Davis I., Modern Tunneling, N. Y., 1922; Pontzen E., Travaux de terrassement et tunnels, P., 1891; Legouez R., De l'emploi du bouclier dans la construction des souterrains, P., 1897; Hervieu J., Le chemin de fer Metropolitain Municipal de Paris, t. 1—2, Paris, 1903—08; Biette L., Les chemins de fer urbains parisiens, P., 1928; Biadego G., I grandi trafori alpini, Milano, 1903.

С. Розанов.

ТУРБИНЫ паровые, ротационные двигатели с непрерывным рабочим процессом. По способу своего действия Т. паровая принадлежит к классу ротационных двигателей и в отличие от двигателей поршневых (паровых машин и двигателей внутреннего сгорания) характеризуется основным признаком—непрерывностью рабочего процесса. При установившемся рабочем режиме по скорости и нагрузке в каждой определенной точке рабочих органов и полостей Т. все параметры процесса — скорости, статич. и динамич. усилия, давление, темп-ра и теплосодержание—остаются постоянными по времени: весь процесс является процессом непрерывным. Наоборот, в поршневой машине любого типа и назначения рабочий процесс представляет собою процесс периодический с непрестанно меняющимися элементами в каждой определенной, так сказать, координате рабочих органов; процесс является пульсирующим, большей или меньшей частоты в зависимости от числа оборотов. Всякий периодический процесс сопровождается появлением периодических, иногда меняющихся в весьма широких пределах, сопровождающих его динамич. эффектов. Этот неизбежный спутник всякого процесса поршневого двигателя в значительной мере усложняет конструктивные формы и в конечном итоге является отрицательным процессовым фактором, с которым особенно приходится считаться в современных быстроходных поршневых двигателях. В отличие от этого принцип непрерывности, характеризующий работу лопаточных двигателей, обладает ценным свойством—постоянством и устойчивостью рабочего процесса и отсутствием периодических «возмущающих» усилий. Непрерывность процесса позволяет применять высокие скорости как рабочего тела, так и рабочих органов, превышающие во много раз соответственные скорости в поршневых двигателях и позволяющие осуществлять наивыгоднейшие кинематич. соотношения для получения возможно максимальной тепловой экономичности. В тепловом термодинамич. отношении непрерывность процесса представляет выгоду в том отношении, что в большей мере обеспечивает постоянство тепловых явлений, теплоотдачи, перехода одного вида энергии в другой, а вместе с этим, почти сводя колебания вышеуказанных явлений на-нет, улучшает условия работы машины в целом и позволяет надежнее учитывать влияние отдельных, постоянных для данной машины факторов. В Т. тепловая энергия преобразуется вначале в промежуточную форму—в энергию кинетическую (истечения), а послед-

няя трансформируется на вращающихся частях машины—рабочих лопаточных колесах — в механич. работу, создавая крутящий момент на валу Т. В реакционной Т. за счет ускорительного движения струи, вытекающей из суживающихся лопаточных каналов, возникают силы реакции, дающие рабочий момент на реакционном лопаточном венце (диске, барабане реакционной турбины), причем часть падения теплосодержания переходит в механич. работу. В простейшей своей форме (фиг. 1 и 2) Т. состоит в основном из неподвижного направляющего аппарата (направляющий венец) D и из укрепленного на валу W вращающегося рабочего колеса R с лопатками S. Направляющий аппарат состоит из нек-рого числа сопел (направляющих лопаток), в к-рых тепло (пар) преобразуется в энергию истечения (кинетическую). Последняя в рабочем колесе превращается в механич. работу. Направляющий аппарат и рабочее колесо вместе составляют «ступени». Большинство Т. строится с несколькими ступенями.



Фиг. 1 и 2.

Поток пара без потерь. При адиабатич. расширении зависимость между уд. объемом v в $м^3/кг$ и давлением p в $кг/м^2$ выражается следующим соотношением:

$$pv^k = \text{Const.} \tag{1}$$

Если пар при начале расширения имеет давление p_0 $кг/м^2$ и скорость w_0 $м/сек$, то его начальная кинетич. энергия $\frac{w_0^2}{2g}$ при отсутствии потерь в окружающую среду повышается на величину L_ε соответственно процессу расширения от давления p_0 до p. По первому закону термодинамики, если v выражено в $м^3/кг$,

$$dL_\varepsilon = d\frac{w^2}{2g} = -v\,dp; \tag{2}$$

$$L_\varepsilon = \frac{w^2 - w_0^2}{2g} = \int_p^{p_0} v\,dp \ \ кгм/кг. \tag{2a}$$

Из ур-ий (1) и (2) имеем

$$\frac{w^2 - w_0^2}{2g} = \frac{k}{k-1} \cdot p_0 \cdot v_0 \left[1 - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right] = L_\varepsilon$$

или

$$L_\varepsilon = \frac{k}{k-1}(p_0 v_0 - pv). \tag{3}$$

Возникновение скорости w_0 можно представить себе т. о., что пар в состоянии покоя с фиктивными начальными параметрами p_0' и v_0' (фиг. 3) адиабатически расширяется до давления p_0. В этом случае

$$\frac{w_0^2}{2g} = \frac{k}{k-1}(p_0' v_0' - p_0 v_0),$$

отсюда

$$p_0' v_0' = p_0 v_0 + \frac{k-1}{k} \cdot \frac{w_0^2}{2g}. \tag{4}$$

На основании ур-ий (3) и (4)

$$\frac{w^2}{2g} = \frac{k}{k-1}(p_0' v_0' - pv) = \frac{k}{k-1} p_0' v_0' \left[1 - \left(\frac{p}{p_0'}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]$$

и, если обозначить отношение $\frac{p}{p_0'}$ через ε', то

$$\frac{w^2}{2g} = \frac{k}{k-1} p_0' v_0' \left(1 - \varepsilon'^{\frac{k-1}{k}}\right). \tag{5}$$

Согласно ур-ию (1) отношение объемов, соответствующее ε', будет

$$\frac{v}{v_0'} = \frac{1}{\sqrt[k]{\varepsilon'}}. \tag{6}$$

При определенном значении ε' скорость w будет равна скорости звука w_s, для к-рой

$$w_s = \sqrt{k \cdot g \cdot p \cdot v}. \tag{7}$$

Если это значение подставить в ур-ие (5), получим критич. отношение давлений

$$\frac{p_s}{p_0'} = \varepsilon_s = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}. \tag{8}$$

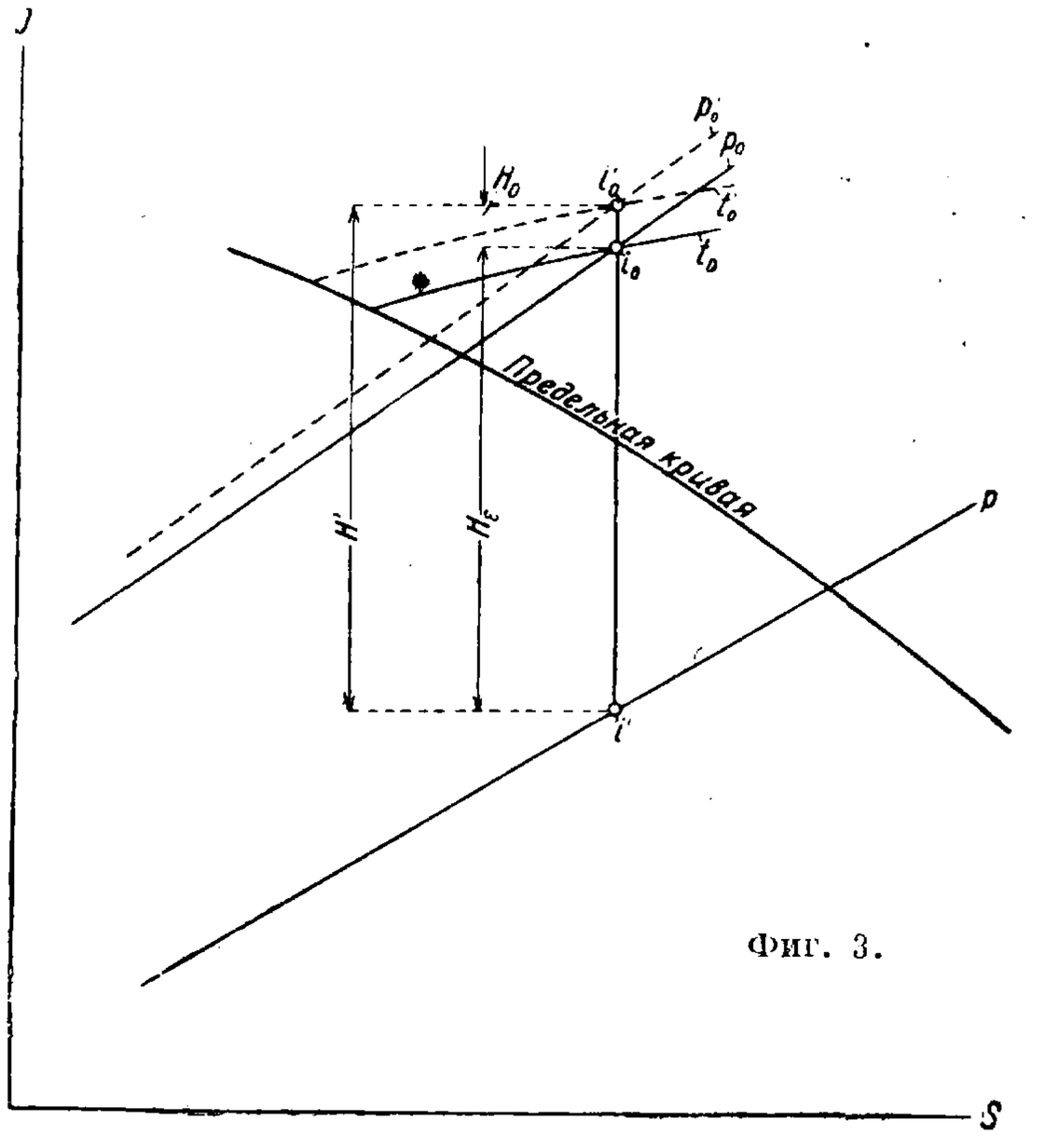
Предельная максимальная скорость м. б. определена подстановкою в ур-ие (5) критич. отношения давлений

$$w_s = \sqrt{2g \cdot \frac{k}{k+1} \cdot p_0' \cdot v_0'}, \tag{9}$$

а для критич. отношения объемов можно написать

$$\frac{v_s}{v_0'} = \left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{1}{k-1}}; \tag{10}$$

w_0 насколько мало, что им можно пренебречь, поэтому можно принять $p_0' \cong p_0$, $v_0' \cong v_0$ и $\varepsilon' \cong \varepsilon$.



Фиг. 3.

Для перегретого водяного пара при $k = 1{,}3$ будем иметь:

$$\frac{v}{v_0'} = \frac{1}{\varepsilon'^{\frac{10}{13}}}, \tag{6a}$$

$$\varepsilon_s = 0{,}546, \tag{8a}$$

$$\frac{v_s}{v_0'} = 1{,}593, \tag{10a}$$

$$p_0' v_0' = p_0 v_0 + \frac{w_0^2}{85} \ (кгм/кг), \tag{4a}$$

$$w = 9{,}22 \sqrt{p_0' v_0' \left(1 - \varepsilon'^{\frac{3}{13}}\right)} \ (м/сек), \tag{5a}$$

$$w_s = 3{,}33 \sqrt{p_0' v_0'} \ (м/сек). \tag{9a}$$

В области влажного пара k значительно меньше, чем 1,3, и меняется в зависимости от давления и степени влажности пара. При паровых Т. по крайней мере часть расширения протекает в области влажного пара: поэтому, а также вследствие того, что k не является точно постоянной величиной в области перегретого

пара, предпочтительно для определения скорости пара пользоваться энтропийной диаграммой. В диаграмме $i - s$ (фиг. 3) адиабатич. перепад тепла, или тепловой напор,

$$H_\varepsilon = i_0 - i' = AL_\varepsilon . \qquad (11)$$

Вместе с кинетич. энергией поступающего пара

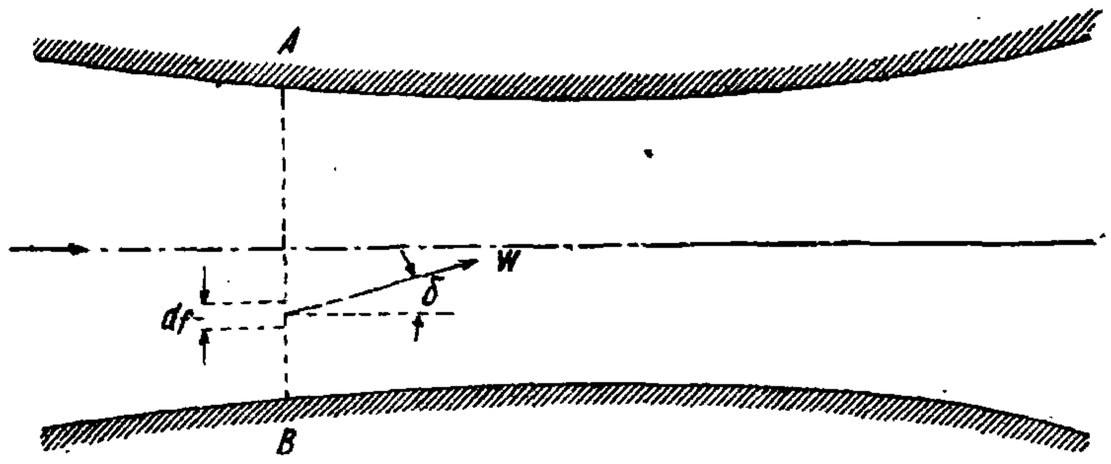
$$H_0 = A\frac{w_0^2}{2g} = \frac{w_0^2}{8\,380}$$

кинетич. энергия составляет $H' = H_0 + H_\varepsilon$, а скорость истечения пара

$$w = \sqrt{w_0^2 + 8\,380\,H_\varepsilon} = 91{,}53\sqrt{H'}, \qquad (12)$$

w представляет собой относительную скорость по отношению к каналу; при неподвижных каналах (соплах) она является идентичной т. н. абсолютной скорости, которая обычно обозначается буквой c.

Уравнение неразрывности струи. Предположим, что через элемент df в $м^2$ поперечного сечения $A—B$ канала (фиг. 4)



Фиг. 4.

протекает пар в количестве dG $кг/сек$ с уд. объемом v $м^3/кг$ и со скоростью w $м/сек$, направление к-рой составляет с осью канала угол δ. Тогда

$$dG = \frac{w\cdot\cos\delta}{v}\cdot df. \qquad (13)$$

Если пар заполняет все сечение $A—B$, то интегрирование по всему сечению дает

$$G = \int\frac{w\cdot\cos\delta}{v}\cdot df. \qquad (13а)$$

В пределе, когда во всех точках сечения w и v имеют одинаковое значение и $\delta = 0$, будем иметь

$$G = \frac{w}{v}\cdot f. \qquad (14)$$

Это ур-ие называется ур-ием неразрывности струи. В общем случае движение пара носит вихревой характер, т. е. w, v и δ во всех точках сечения различны; поэтому в ур-ии (14) w обозначает среднюю осевую слагающую скорость, а v—средний уд. объем. Из ур-ий (1), (5) и (14) имеем

$$\frac{G}{f} = \varepsilon'^{\frac{1}{k}}\sqrt{2g\frac{k}{k-1}\cdot\frac{p_0'}{v_0'}\left(1-\varepsilon'^{\frac{k-1}{k}}\right)}; \qquad (15)$$

ур-ие (15) представим в следующей форме:

$$\frac{G}{f} = \sqrt{2g\cdot\frac{k}{k-1}\cdot\frac{p_0'}{v_0'}\left(\varepsilon'^{\frac{2}{k}} - \varepsilon'^{\frac{k+1}{k}}\right)}. \qquad (15а)$$

Из последнего выражения следует, что расход достигает максимального значения при нек-ром отношении давлений ε', к-рое получится при нахождении максимума выражения

$$\varepsilon'^{\frac{2}{k}} - \varepsilon'^{\frac{k+1}{k}},$$

для чего берем первую производную и приравниваем ее нулю

$$\frac{2}{k}\varepsilon'^{\frac{2}{k}-1} - \frac{k+1}{k}\varepsilon'^{\frac{1}{k}} = 0$$

или

$$\frac{2}{k}\varepsilon'^{\frac{2}{k}-1} = \frac{k+1}{k}\varepsilon'^{\frac{1}{k}}.$$

Разделив обе части равенства на

$$\frac{k+1}{k}\cdot\varepsilon'^{\frac{2-k}{k}},$$

находим

$$\varepsilon' = \frac{p}{p_0'} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} = \varepsilon_{max}.$$

Предельному расходу соответствует и предельно-максимальная скорость $w_{max} = w_s$, а следовательно $\varepsilon_{max} = \varepsilon_s$. Пользуясь ур-иями (8) и (15), для максимального расхода имеем

$$\left(\frac{G}{f}\right)_{max} = \sqrt{kg\frac{p_0'}{v_0'}\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}. \qquad (16)$$

Если поток данного количества пара G при расширении заполняет все сечение канала, то поперечное сечение f последнего должно постепенно суживаться до момента, когда будет $w = w_s$. Потом сечение f должно постепенно увеличиваться. Таким образом канал должен иметь суженное поперечное сечение f_m с последующим расширением. Для отношений f, v и w соответственно к f_m, v_s и w_s будем иметь:

$$q = \frac{f}{f_m} = \frac{\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}}}{\varepsilon'^{\frac{1}{k}}}\sqrt{\frac{k-1}{k+1}\cdot\frac{1}{1-\varepsilon'^{\frac{k-1}{k}}}}, \qquad (17)$$

$$\frac{w}{w_s} = \sqrt{\frac{k+1}{k-1}\cdot\left(1-\varepsilon'^{\frac{k-1}{k}}\right)}, \qquad (18)$$

$$\frac{v}{v_s} = \frac{\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}}}{\varepsilon'^{\frac{1}{k}}}. \qquad (19)$$

При перегретом паре при $k = 1{,}3$ имеем:

$$\frac{G}{f} = 9{,}22\varepsilon'^{\frac{10}{13}}\sqrt{\frac{p_0'}{v_0'}\left(1-\varepsilon'^{\frac{3}{13}}\right)}, \qquad (15а)$$

$$\left(\frac{G}{f}\right)_m = 2{,}09\sqrt{\frac{p_0'}{v_0'}}, \qquad (16а)$$

$$q = \frac{0{,}2235}{\varepsilon'^{\frac{10}{13}}\sqrt{1-\varepsilon'^{\frac{3}{13}}}}, \qquad (17а)$$

$$\frac{w}{w_s} = 2{,}77\sqrt{1-\varepsilon'^{\frac{3}{13}}}, \qquad (18а)$$

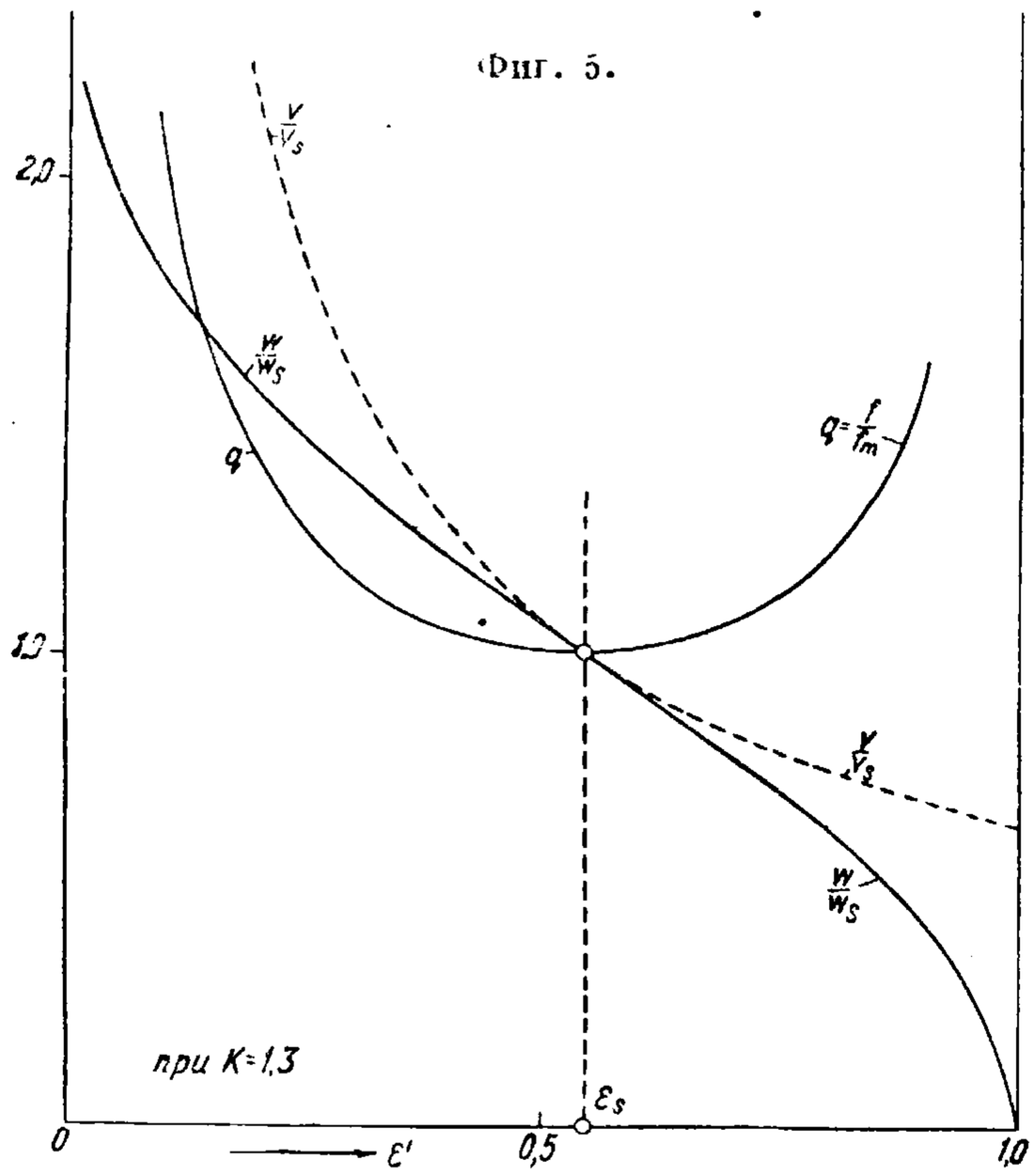
$$\frac{v}{v_s} = \frac{0{,}6273}{\varepsilon'^{\frac{10}{13}}}. \qquad (19а)$$

Ур-ия (17а—19а) положены в основу вычисления кривых фиг. 5. Эти кривые имеют целью показать только характер процесса.

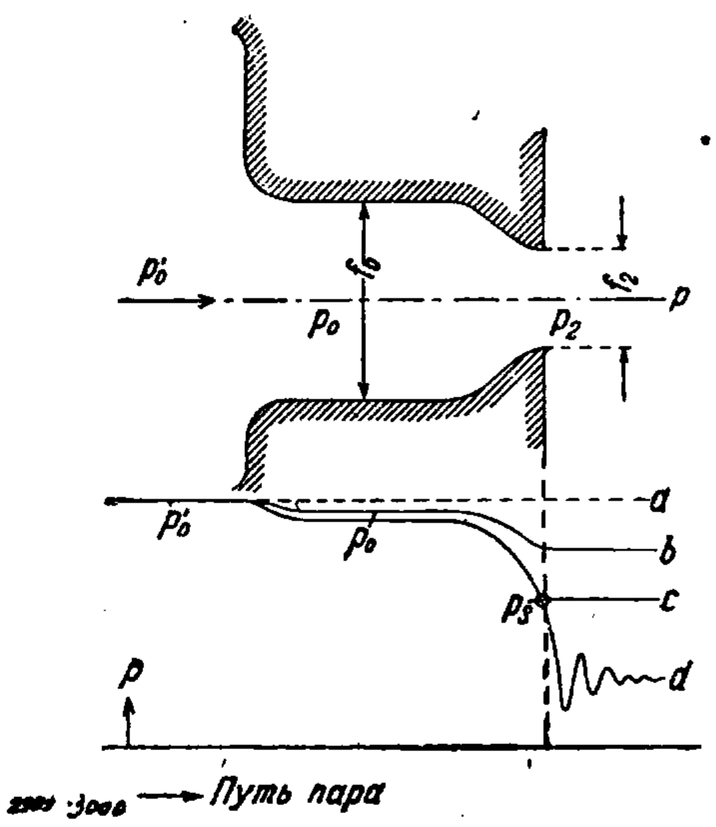
Истечение из сопел при плоскости среза, перпендикулярной к оси. Предположим, что к сосуду, в котором состояние пара характеризуется постоянными параметрами p_0 и v_0, присоединено простое сопло без уширения с нормальным срезом (фиг. 6). Объем сосуда настолько велик, что скоростью проходящего через него пара можно пренебречь. Входное отверстие сопла имеет поперечное сечение f_0; выходное отверстие сопла, являющееся одновременно наиболее узким сечением,

равно f_2. В поперечном сечении f_0 имеем давление p_0, в сечении f_2 давление p_2, а во внешней среде давление p. Соответствующие удельные объемы v_0, v_2 и v м. б. получены из урав-

Фиг. 5.



нения (1). При $p = p_0$ явление истечения не будет иметь места и $p = p_2 = p_0 = p_0'$ (фиг. 7—линия a). Если $p_s < p < p_0'$, то $p_2 = p$ и через сопло протекает пар в количестве G согласно ур-ию (15). Давление p_0 в f_0 м. б. получено из ур-ия (15), если вместо $\varepsilon_0 = \frac{p_0}{p_0'}$ и f_0 подставить ε' и f; w_0 м. б. при этом получено из ур-ия 14 (кривая b). По мере уменьшения p возрастает G и w_0 и уменьшается p_0. При $p = p_s$ (кривая c) мы имеем также $p_2 = p_s$; при этом G получает максимальное значение G_m по уравнению (16) и p_0 достигает максимума. При этом скорость истечения $w = w_s$. Если $p < p_s$, то $G = \text{Const} = G_m$, $p_2 = \text{Const} = p_s$ и в сечении f_2 скорость $= \text{Const} = w_s$. Точно так же остаются постоянными p_0 и w_0 и дальнейшее расширение при давлении ниже p_s происходит в свободном пространстве вне сопла, причем в струе возникают звуковые колебания (кривая d). Если $\varepsilon' = \varepsilon$, то отношение протекающего количества пара G к максимальному G_m определится по ур-иям (15) и (16)



Фиг. 6 и 7.

$$\xi = \frac{G}{G_m} = \left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{1}{k-1}} \cdot \varepsilon'^{\frac{1}{k}} \sqrt{\frac{k+1}{k-1}\left(1 - \varepsilon'^{\frac{k-1}{k}}\right)}, \quad (20)$$

при $k = 1{,}3$

$$\xi = 4{,}412\, \varepsilon'^{\frac{10}{13}} \sqrt{1 - \varepsilon'^{\frac{3}{13}}}. \quad (20a)$$

На фиг. 8 нанесено ξ в зависимости от ε' по ур-ию (20а). Ф-ия ξ м. б. выражена приближенно:

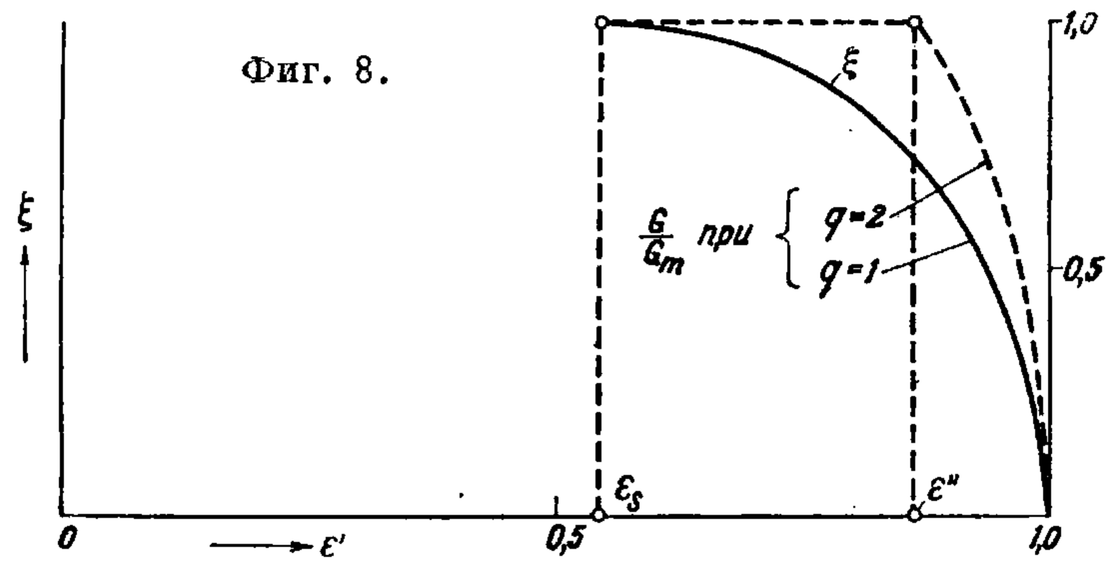
$$\xi \cong \sqrt{1 - \left(\frac{\varepsilon' - \varepsilon_s}{1 - \varepsilon_s}\right)^2}, \quad (21)$$

а при $\varepsilon_s = 0{,}545$ получим

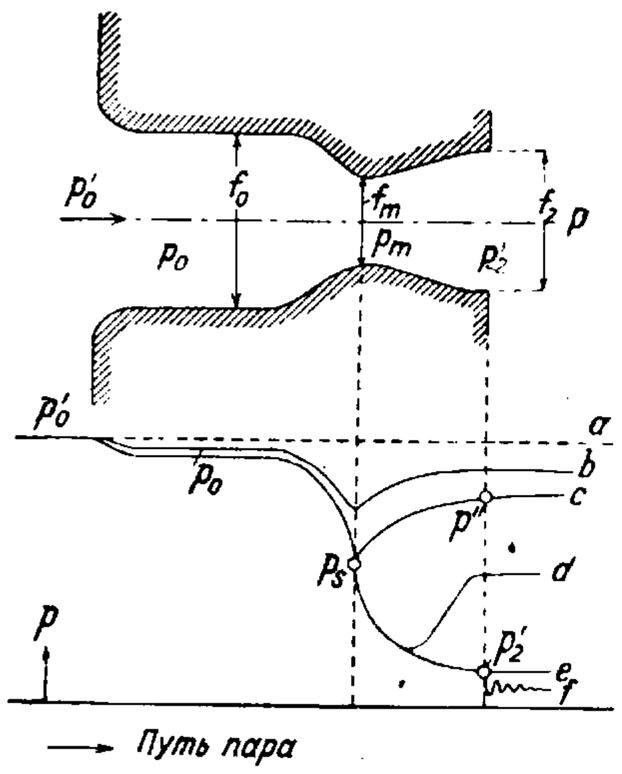
$$\xi \cong 2{,}2 \sqrt{\varepsilon'(1{,}09 - \varepsilon')}. \quad (21a)$$

Соответствующая кривая совпадает практически с кривой ξ на фиг. 8. На фиг. 9 дано расширяющееся сопло с коэф-том расширения q. В сечении f_2 устанавливается то давление p_2, к-рое соответствует коэф-ту расширения q по ур-ию (17) при условии, что $p \leqslant p_2'$ (фиг. 10, кривые e и f). Если внешнее давление $p < p_2'$

Фиг. 8.



(кривая f), то конец расширения происходит вне сопла, в пространстве при этом возникают звуковые колебания. Если $p > p_2'$ (кривые b, c и d), то пар расширяется в пределах сопла до давления ниже p, а затем вновь возрастает до p; т. о. расширение действует частично как диффузор. Следует заметить, что вторичное повышение давления в диффузоре всегда связано со значительными потерями и что пар в нем при нек-рых условиях отделяется от стенок и не заполняет уже выходного сечения f_2. Минимальное давление имеет место в сечении, лежащем между f_m и f_2. Чем выше p при данном начальном состоянии (следовательно, чем больше ε'), тем более место минимального давления приближается к самому узкому поперечному сечению f_m. При известном противодавлении p'' место минимального давления совпадает с f_m, причем $p_m = p_s$. Во всех этих случаях через сопло протекает максимальное количество пара G_m. При течении пара без потерь давление p'' могло бы быть определено по ур-иям (15) и (16); но благодаря значительным в действительности потерям подсчитанные величины сильно отклонялись бы от фактических. Поэтому предпочтительнее определять p'' по приближенной ф-ле



Фиг. 9 и 10.

$$\frac{p''}{p_0'} = \varepsilon'' \cong \varepsilon_s + (1 + \varepsilon_s)\sqrt{\frac{q-1}{q}}. \quad (22)$$

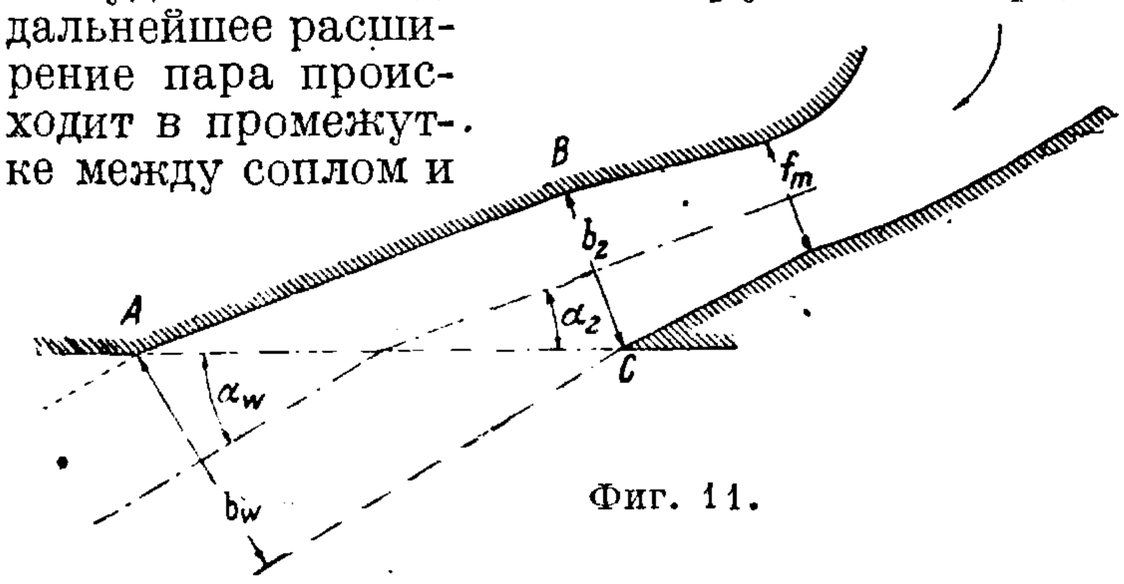
Это ур-ие учитывает потери в потоке пара на основании опыта. Если $p > p''$, то $p_m > p_s$ (кривая b) и $G < G_m$. В пределах $\varepsilon' = \varepsilon''$ и $\varepsilon' = 0$ величина G м. б. определена приближенно

$$\frac{G}{G_m} \cong \xi \cdot \sqrt{q} \cong \sqrt{q\left[1 - \left(\frac{\varepsilon' - \varepsilon_s}{1 - \varepsilon_s}\right)^2\right]}, \quad (23)$$

$$\frac{G}{G_m} \cong 2{,}2 \sqrt{q \cdot \varepsilon'(1{,}09 - \varepsilon')}. \quad (23a)$$

Если $p = p_0'$, то при этом $p_2 = p_m = p_0 = p_0'$ и явление истечения не будет иметь места (кривая a). На фиг. 8 нанесено пунктиром отношение $\frac{G}{G_m}$ для расширяющегося сопла при $q \cong 2$ по ур-ию (23а).

Истечение из сопла с косым срезом. Косой срез в соплах (фиг. 11) создает тр-к ABC дополнительного расширения, как бы увеличивающий сечение сопла, благодаря чему достигается скорость выше критической, даже в случае суживающегося сопла. При давлении в сечении BC, равном давлению окружающей среды, сопло работает так же, как и без косого среза, т. е. без отклонения струи. Если противодавление меньше, чем давление в сечении BC, то происходит расширение как в косом срезе, так и в окружающей среде за соплом. Если же давление в сечении косого среза будет больше давления окружающей среды, дальнейшее расширение пара происходит в промежутке между соплом и



Фиг. 11.

лопатками. Для практич. целей может иметь значение угол истечения пара α, к-рый с достаточной точностью м. б. определен (фиг. 11) по ур-ию (14)

$$\frac{\sin \alpha_w}{\sin \alpha_2} = \frac{b_w}{b^2}; \quad b_w \cdot f_2 = b_2 \cdot f_w;$$

$$\frac{\sin \alpha_w}{\sin \alpha_2} = \frac{f_w}{f_2} = \frac{f_w/f_m}{f_2/f_m} = \frac{q'}{q}. \qquad (24)$$

Здесь q' представляет собою степень расширения струи согласно ур-ию (17). Т. к. незначительное отклонение струи связано с меньшими потерями, чем чрезмерное отклонение с последующим сжатием внутри сопла, то несколько преуменьшенная степень расширения оказывается более выгодной, чем повышенная. При нерасширяющихся соплах $q = 1$; отклонение струи имеет место лишь тогда, когда $w > w_s$.

Поток пара при наличии потерь. Потери, неизбежные при протекании пара через сопла, возникают при входе, по пути и при выходе. Криволинейные канал и рабочие лопатки вызывают бо́льшие потери, чем каналы с прямой осью. В каналах, в к-рых имеет место расширение пара, скорость при выходе больше, чем при входе. Приращение скорости происходит только в конце канала, за изгибом. В нерасширяющихся каналах разница между скоростями входа и выхода незначительна и пар проходит через место изгиба с относительно большой скоростью. Вследствие этого при прочих одинаковых условиях дополнительные потери, возникающие вследствие изгиба, оказываются, вообще говоря, меньше в расширяющихся каналах, чем в неимеющих уширения. При течении пара со скоростью, превышающей скорость звука, присоединяются еще потери, обусловленные сжатием при колебаниях. Точное вычисление потерь невозможно; они м. б. определены введением скоростных коэф-тов. При абсолютных скоростях эти коэф-ты обозначаются обычно буквой φ, а при относительных—буквой ψ.

Преобразование энергии в рабочем колесе. Предположим, что во вращающемся канале (фиг. 12) окружная скорость при входном сечении u_1 возрастает до значения u_2 при выходе и что относительная скорость входа пара равна w_1, а относительная скорость выхода равна w_2. Для соблюдения условия безударного входа струи скорость w_1 должна иметь направление касательной к входной, кроме канала. Абсолютная скорость входа пара c_1 равна геометрич. сумме w_1 и u_1, а абсолютная скорость выхода пара c_2 равна геометрич. сумме w_2 и u_2.

Фиг. 12.

В канале за счет расширения возникает дополнительная кинетическая энергия $\frac{\Delta \cdot w^2}{2g}$. В этом случае для канала располагаем энергией $(c_1^2 + \Delta w^2) : 2g$.

Из этого количества только часть передается каналу в виде механич. энергии; энергия выходящего пара $\frac{c_2^2}{2g}$ и энергия на покрытие потери при движении в канале z_w пропадают; кроме того д. б. затрачена энергия $\frac{u_2^2 - u_1^2}{2g}$ для повышения скорости пара от u_1 до u_2. Поэтому мощность, переданная лопаткам, составляет

$$L_u = \frac{c_1^2 + \Delta w^2 - (c_2^2 + u_1^2 - u_2^2)}{2g} - z_w.$$

Потеря на движение внутри канала равна

$$z_w = \frac{w_1^2 + \Delta w - w_2^2}{2g}.$$

Поэтому энергия, переданная лопаткам, составит

$$L_u = \frac{c_1^2 + u_1^2 - w_1^2 - c_2^2 - u_2^2 + w_2^2}{2g}.$$

Если обозначить проекции c_1 и c_2 на касательные к окружностям через c_{1u} и c_{2u}, то получим (фиг. 12):

$$L_u = \frac{u_1 c_{1u} \pm u_2 c_{2u}}{g} \text{ кгм/кг}. \qquad (25)$$

Знак (+) д. б. применен в том случае, если c_{2u} и u_2 направлены в противоположные стороны, знак (−), напротив, если c_{2u} и u_2 имеют одно направление. Если вместо c_{1u} и c_{2u} ввести w_{1u} и w_{2u}—проекции относительных скоростей на касательные к окружности, то

$$L_u = \frac{u_1 w_{1u} + u_2 w_{2u} - (u_2^2 - u_1^2)}{g} =$$

$$= \frac{\Sigma \cdot (u \cdot w_u) - (u_2^2 - u_1^2)}{g}.$$

Здесь произведение $u_2 \cdot w_{2u}$ всегда положительно, т. к. w_{2u} всегда направлено в сторону, противоположную u_2. Мощность на окружности колеса равна

$$N_u = G \cdot L_u \text{ (кгм/сек)},$$

а вращающий момент

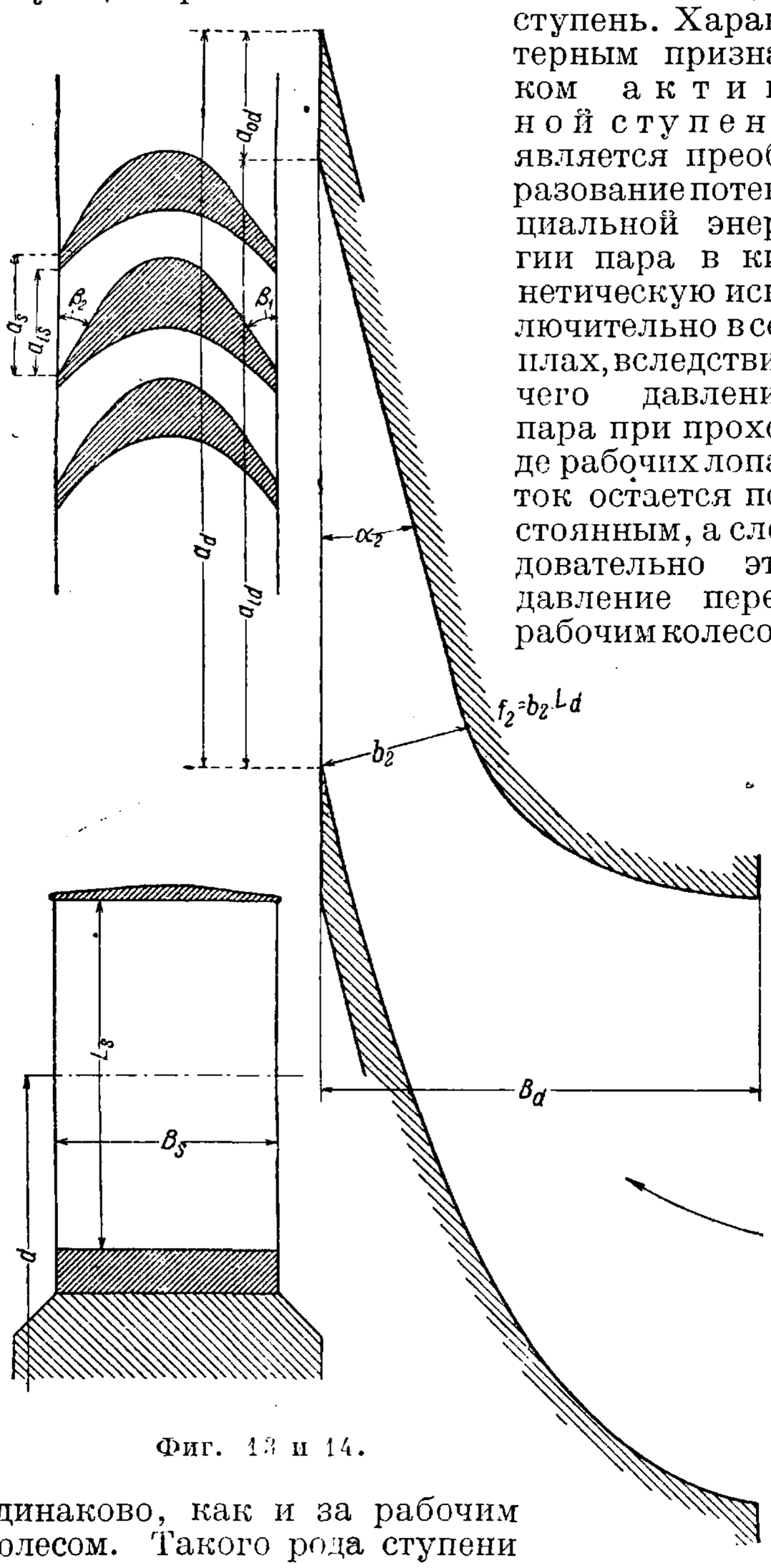
$$M = \frac{N_u}{\omega} \text{ (кгм)},$$

где ω представляет собою угловую скорость. Если $u_2 = u_1$, то

$$L_u = \frac{u}{g} \cdot (c_{1u} \pm c_{2u}) = \frac{u}{g} \cdot \sum w_u. \qquad (26)$$

Уравнения для L_u м. б. составлены без затруднений также на основании закона импульсов.

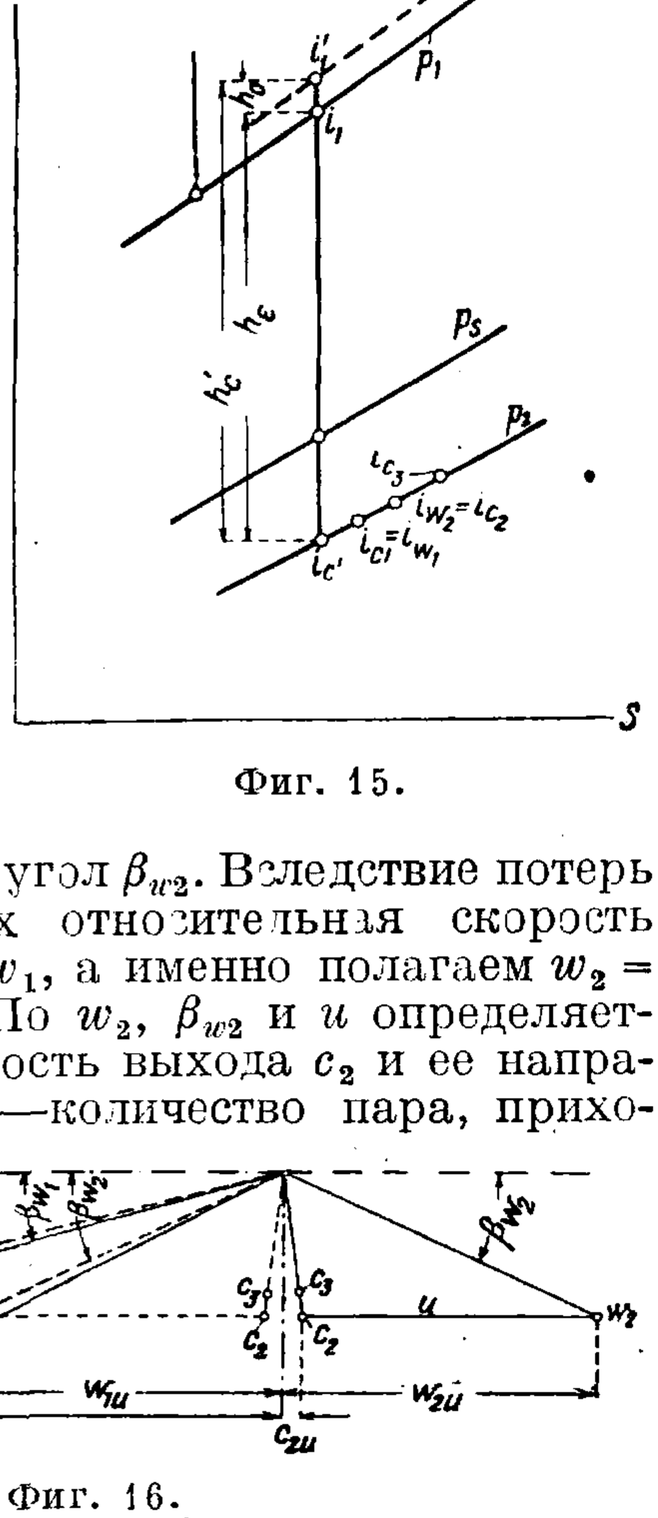
Ступени. Направляющий аппарат и соответствующее рабочее колесо составляют одну ступень. Характерным признаком активной ступени является преобразование потенциальной энергии пара в кинетическую исключительно в соплах, вследствие чего давление пара при проходе рабочих лопаток остается постоянным, а следовательно это давление перед рабочим колесом



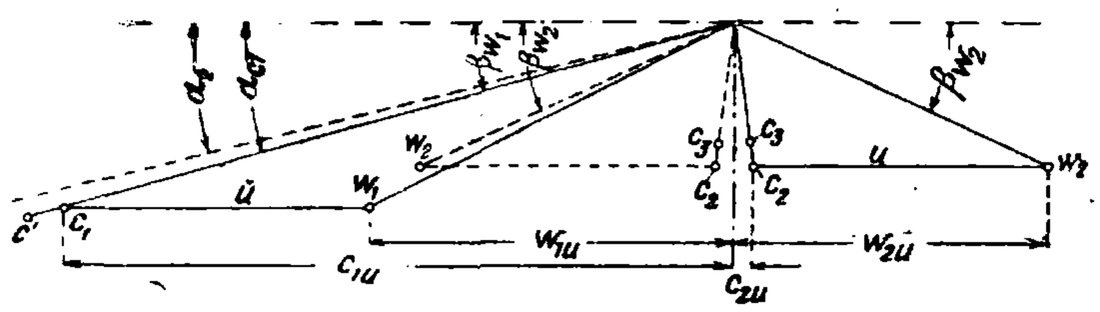
Фиг. 13 и 14.

одинаково, как и за рабочим колесом. Такого рода ступени правильнее называть ступенями равного давления. В ступенях реактивных или ступенях избыточного давления потенциальная энергия пара преобразуется в кинетическую не только в направляющем аппарате, но и в междулопаточных каналах рабочего колеса. Давление пара перед рабочим колесом больше, чем за ним. В зависимости от движения пара по направлению, параллельному оси вала, или по радиусу различают ступени аксиальные и радиальные. Подвод пара называется полным, если сопла непрерывно расположены по всей длине окружности диска, и парциальным, если отверстия сопел покрывают часть длины окружности рабочего колеса.

Характер работы и кпд ступеней. Активные ступени. На фиг. 13 и 14 дан разрез активной ступени, на фиг. 15—соответствующая диаграмма i—s и на фиг. 16—«план скоростей». Треугольник, соответствующий выходу пара, изображен на фиг. 16 дважды: один раз сплошными линиями в его естественном положении и вторично пунктиром при повороте на 180°, на стороне, соответствующей впуску пара. Последнее изображение более наглядно для оценки работы ступени. Пар поступает в сопла при давлении p_1, темп-ре t_1 (или при паросодержании x_1), теплосодержании i_1 и со скоростью c_0 и расширяется в каналах соответствующих ступеней до противодавления p_2. При потоке без потерь теплосодержание пара после расширения равно i_c' и соответствующий перепад тепла $h_\varepsilon = i_1 - i_c'$. Так как кинетическая энергия притекающего пара $h_0 = \frac{c_0^2}{8\,380}$, то «тепловой напор» составляет $h_c' = h_0 + h_\varepsilon$ и соответствующая скорость пара $c' = 91{,}53\sqrt{h_c'}$. Вследствие потерь, возникающих в соплах, а также в пространстве между соплами и лопатками, c' уменьшается до значения $c_1 = \varphi_1 \cdot c'$, при чем $\varphi_1 < 1$. Допустим, что угол, образованный направлением c_1 с направлением окружной скорости u, равен α_{c1}. Если отклонение струи не имеет места, то α_{c1} равно углу выхода из сопла α_2. По c_1, α_{c1} и u определяется величина w_1 и угол β_{w1} направления относительной скорости входа пара. Вход пара принят безударным. Пар поступает в рабочие каналы со скоростью w_1, направление которой изменяется на угол β_{w2}. Вследствие потерь в рабочих каналах относительная скорость выхода w_2 меньше w_1, а именно полагаем $w_2 = \psi \cdot w_1$, где $\psi < 1$. По w_2, β_{w2} и u определяется абсолютная скорость выхода c_2 и ее направление α_{c2}. Если G—количество пара, прихо-



Фиг. 15.



Фиг. 16.

дящееся на ступень в *кг/сек*, то теоретич. мощность одной ступени без учета потерь составляет

$$N' = G \cdot \frac{c'^2}{2g}. \qquad (27)$$

Из ур-ий (26) и (27) определяем кпд, отнесенный к располагаемой энергии:

$$\eta' = \frac{N_u}{N'} = \frac{2u(w_{1u} + w_{2u})}{c'^2} = \frac{2u\Sigma w_u}{c'^2}. \qquad (28)$$

Если

$$\beta_{w1} = \beta_{w2}, \text{ то } w_{2u} = \psi(\varphi_1 \cdot c' \cos\alpha_{c1} - u), \text{ а}$$

$$\eta' = \frac{2u(1+\psi)(\varphi_1 \cdot c' \cos\alpha_{c1} - u)}{c'^2}.$$

Подставляя $\frac{u}{c'} = \nu'$, получим

$$\eta' = 2\nu'(1+\psi)(\varphi_1 \cos\alpha_{c1} - \nu'). \qquad (29)$$

В этом специальном случае при постоянных значениях φ_1, ψ и α_{c1} кпд зависит только от ν'. При $\nu' = 0$ и при $\nu' = \varphi_1 \cos\alpha_{c1}$ получим $\eta' = 0$. Между этими обоими крайними значениями η' меняется по параболе (фиг. 17) с

максимальным значением η'_m при $\nu' = \nu'_m$, которое м. б. найдено путем диференцирования ур-ия (29):

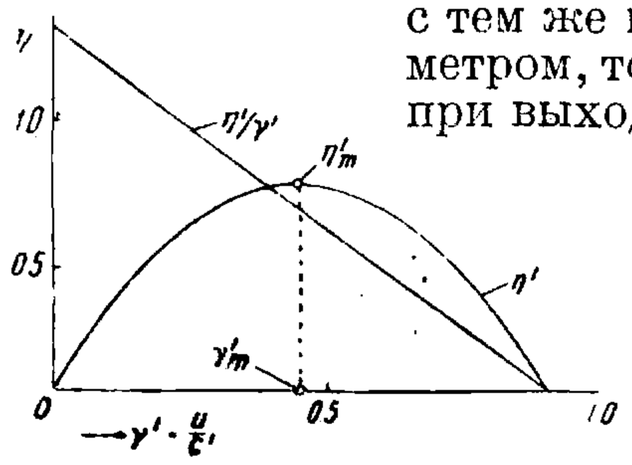
$$\nu'_m = 0{,}5 \cdot \varphi_1 \cdot \cos \alpha_{c1}, \qquad (30)$$

$$\eta'_m = 0{,}5\varphi_1^2 \cdot (1 + \psi) \cos^2 \alpha_{c1}. \qquad (31)$$

Если $\beta_{w1} \leqslant \beta_{w2}$, ур-ие (30) остается в силе, в то время как ур-ие (31) д. б. заменено ур-ием

$$\eta'_m = 0{,}5\varphi_1^2 \left(1 + \psi \frac{\cos \beta_{w2}}{\cos \beta_{w1}}\right) \cos^2 \alpha_{c1}.$$

Коэфициент ν составляет около 0,45. Если непосредственно за ступенью следует другая с тем же приблизительно диаметром, то стараются скорость при выходе c_2 возможно полно использовать в следующей ступени. От выхода из следующей ступени c_2 уменьшается до $c_3 = \varphi_2 \cdot c_2$. В следующей ступени c_3 д. б. обозначено, как ранее, через c_0. Кпд ступени с использованием энергии скорости выхода предыдущей ступени целесообразно относить не к h'_c, а к h_ε. Если подставить $c = 91{,}53\sqrt{h_\varepsilon}$, то получим



Фиг. 17.

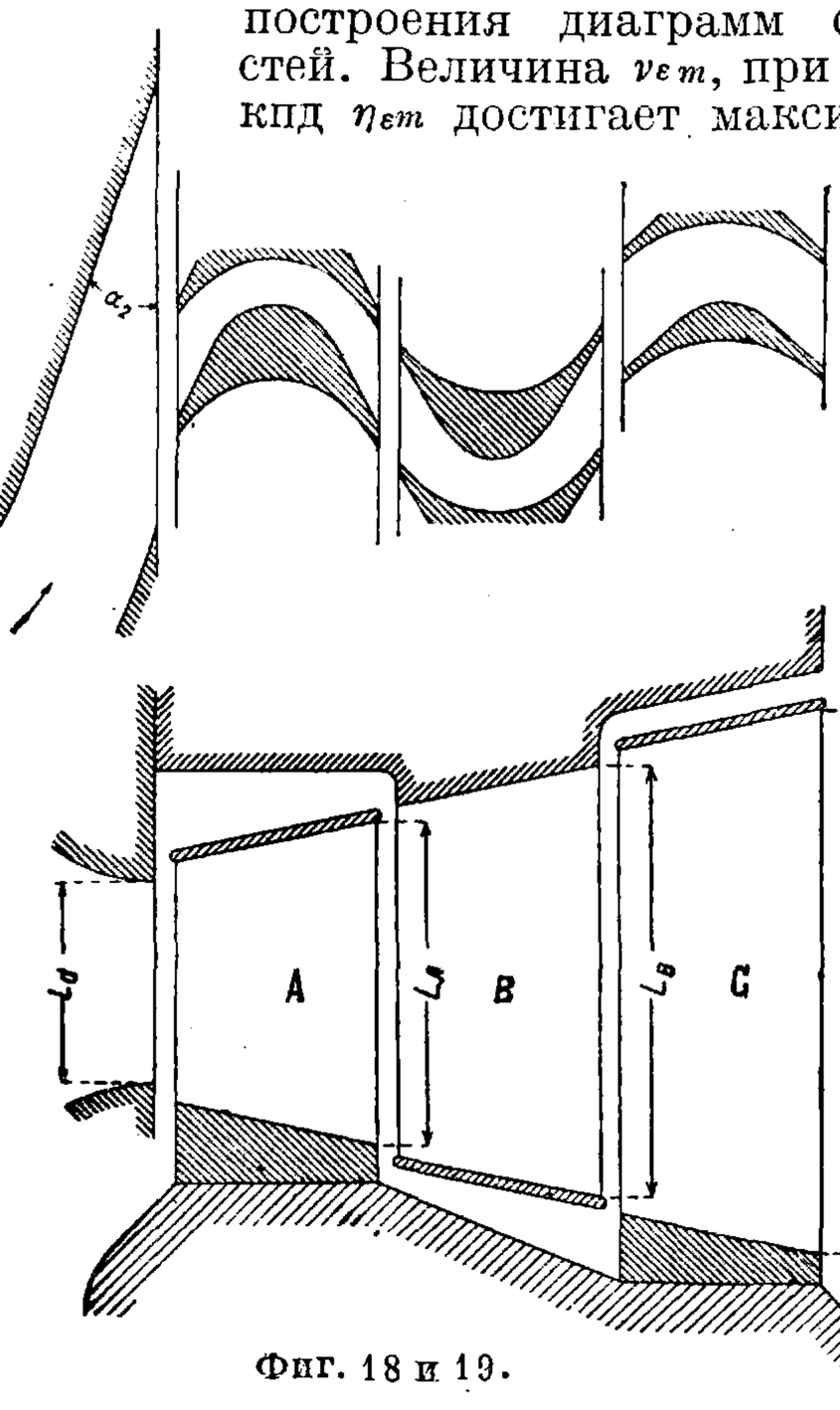
$$\eta_\varepsilon = \frac{2u(w_{1u} + w_{2u})}{c_\varepsilon^2}; \qquad (32)$$

при

$$\beta_{w1} = \beta_{w2} \text{ и } \nu_\varepsilon = \frac{u}{c_\varepsilon}$$

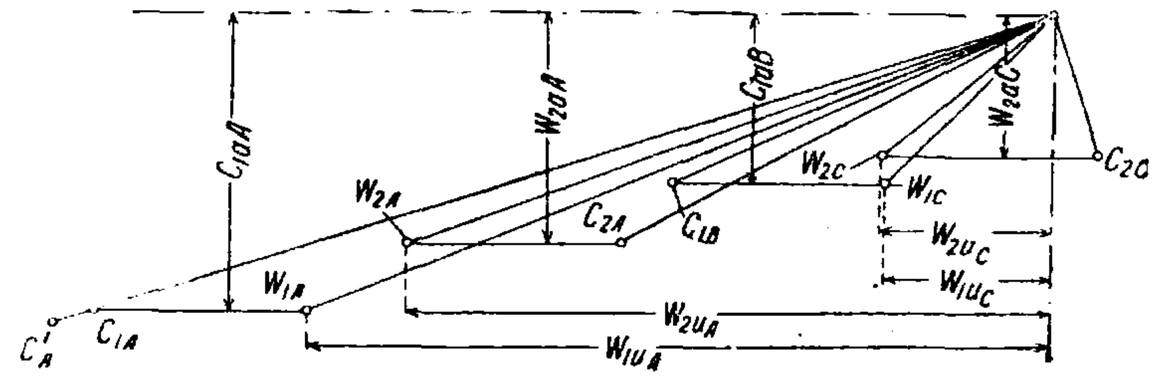
$$\eta_\varepsilon = 2\nu_\varepsilon^2(1 + \psi)\left(\frac{\varphi_1 \cos \alpha_{c1}}{\nu'} - 1\right); \qquad (33)$$

ν' при известных допущениях м. б. выражено через ν_ε, однако удобнее определять η_ε путем построения диаграмм скоростей. Величина $\nu_{\varepsilon m}$, при к-рой кпд $\eta_{\varepsilon m}$ достигает максимального значения, и величина $\eta_{\varepsilon m}$ больше соответствующих значений ν'_m и η'_m для ступени без использования выходной скорости. Так как по обеим сторонам направляющих дисков (перегородок) давление различно, то имеет место утечка, т. е. часть пара G_{sp} данной ступени течет в обход сопел через зазор между направляющими дисками и валом или втулкой, что ухудшает кпд.



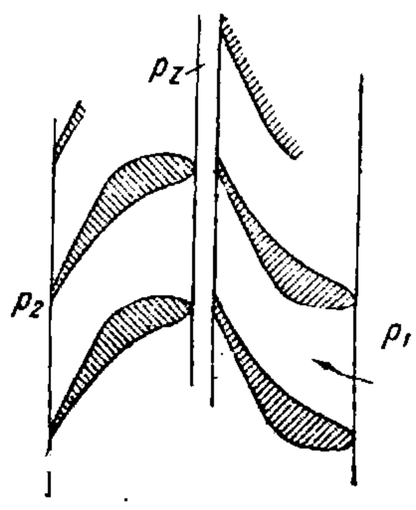
Фиг. 18 и 19.

Ступени скорости. Если характеристический коэф. ν' активной ступени настолько

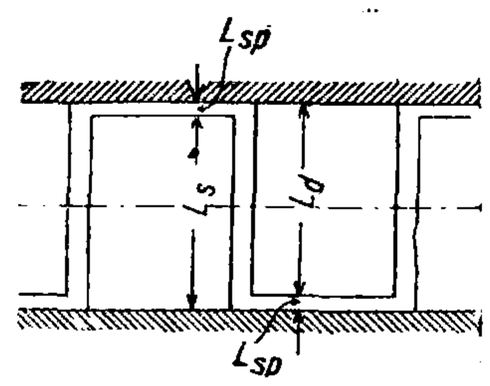


Фиг. 20.

мал, что отношение $\frac{u}{c_2}$ меньше, чем примерно 0,5, выгодно использовать скорость выхода c_2 в ступени скорости. На фиг. 18 и 19 представлена схема венца с двумя ступенями скорости; фиг. 20 дает соответствующий план скоростей с повернутыми тр-ками, соответствующими выходу пара. Пар, покидающий рабочий венец A с абсолютной скоростью c_{2A}, подводится к неподвижному, изменяющему направление

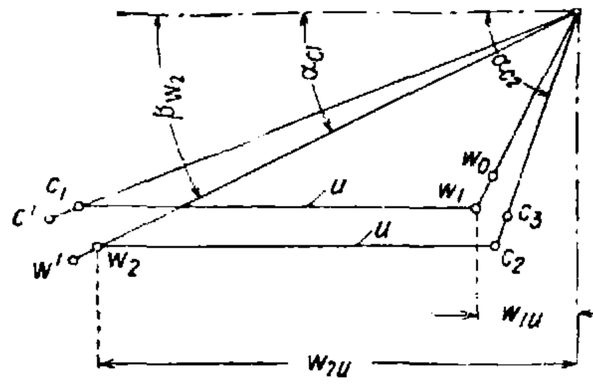


Фиг. 21.

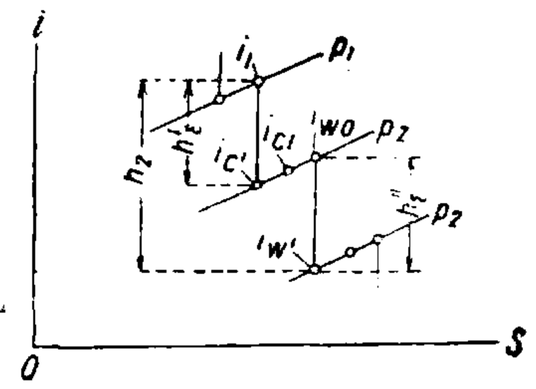


Фиг. 22.

венцу B, отклоняется в нем и поступает во второй рабочий венец C; в венцах B и C пар не расширяется. В венце C пар отдает часть своей энергии подобно тому, как это имело место по отношению к венцу A. Если и после этого скорость выхода c_{2c} еще достаточно велика, она может быть использована в следующей ступени скорости. В активных Т. с комбинацией ступеней давления и скорости каждая ступень давления состоит из колеса (диска) Кертиса с 2—3 ступенями скорости. По числу рабочих венцов различают двухвенечные или многовенечные ступени Кертиса. Кпд исчисляется, как и при активных ступенях, по ур-ию (28);



Фиг. 23.



Фиг. 24.

при этом $\Sigma w_u = \Sigma w_{uA} + \Sigma w_{uC}$ при ступенях с 2—3 венцами, ν'_{max} находится в пределах 0,22—0,15 и $\eta'_{max} = 0{,}68 \div 0{,}60$. Нек-рые конструкции ступеней Кертиса с аксиальным или радиальным впуском пара выполняются с одним только рабочим венцом, так что пар многократно подводится к одному и тому же венцу, для чего ставят вторично подводящие лопатки.

Аксиальные реактивные ступени. На фиг. 21 и 22 представлен разрез по реактивной ступени, на фиг. 23—план скоростей с перевернутым тр-ком выпуска и на

фиг. 24—соответствующая часть диаграммы i—s. Ступени выполняются всегда группами с использованием скорости выпуска и с полным напуском пара. Обозначим скорость поступления пара на рабочий венец через c_0 и соответствующую кинетич. энергию через h_0. В соплах пар расширяется от состояния p_1, t_1, i_1 до промежуточного давления p_2, вследствие чего освобождается соответствующий расширению перепад тепла $h'_\varepsilon = i_1 - i_{c'}$. В сопле располагаем энергией $h_{c'} = h_0 + h'_\varepsilon$. При протекании пара без потерь скорость выхода из сопел $c' = 91{,}53\sqrt{h_{c'}}$. Вследствие сопротивлений в соплах и лопатках c' уменьшается до $c' = \varphi_1 \cdot c'$. По c_1, u и α_{c1} определяется относительная скорость входа w_1 и ее направление β_{w1}. При входе в лопатки рабочего колеса w_1 уменьшается до значения $w_0 = \psi_1 \cdot w_1$. При этом теплосодержание составляет:

$$i_{w0} = i_{c'} + (h_{c'} - h_{c1}) + (h_{w1} - h_{w0}).$$

В рабочих каналах пар расширяется от состояния p_2, i_{w0} до противодавления p_2, в силу чего освобождается перепад, соответствующий расширению в лопатках $h''_\varepsilon = i_{w0} - i_{w'}$. Отсюда м. б. определена энергия $h_{w'} = h_{w0} + h''_\varepsilon$ и относительная скорость при протекании пара без потерь $w' = 91{,}53\sqrt{h_{w'}}$. Вследствие потерь при прохождении пара через рабочие каналы w' уменьшается до $w'_2 = \psi_2 \cdot w'$. По w_2, u и β_{w2} м. б. получена абсолютная скорость выхода c_2 и ее направление α_{c2}. Вследствие потерь на движение в зазоре c_2 уменьшается до $c_3 = \varphi_2 \cdot c_2$. С этой скоростью пар достигает сопел следующей ступени, в к-рой повторяется предыдущий процесс. Отношение $r = \frac{h''_\varepsilon}{h'_\varepsilon + h''_\varepsilon}$ называется степенью реактивности. При ступенях с небольшим перепадом r приближается к 0,5, причем тр-ки скоростей входа и выхода струи почти совпадают. Для направляющих и рабочих лопаток применяются одинаковые профили. При ступенях с большим перепадом r б. ч. меньше 0,5; в этом случае для направляющих и рабочих лопаток должны применяться различные профили. Сумма перепадов $h'_\varepsilon + h''_\varepsilon$ несколько больше, чем перепад ступени $h_\varepsilon = i_1 - i'_2$ (фиг. 24), однако разница очень ничтожна. Кпд реактивной ступени всегда относят к перепаду в h_ε. Если обозначить соответствующую h_ε (фиктивную) скорость пара

$$c_\varepsilon = 91{,}53\sqrt{h_\varepsilon},$$

то

$$\eta_\varepsilon = \frac{2u \cdot \Sigma w_u}{c_\varepsilon^2}. \qquad (34)$$

При ступени с совпадающими тр-ками скоростей, для которой $r = 0{,}5$,

$$c' = w', \; c_1 = w_2, \; w_1 = c_2, \; w_0 = c_3 = c_0, \; \alpha_{c1} = \beta_{w2};$$

если кроме того $\frac{u}{c_\varepsilon} = \nu_\varepsilon$, то

$$\eta_\varepsilon = 2\nu_\varepsilon^2 \left(\frac{2\varphi_1 \cos \alpha_{c1}}{\nu'} - 1 \right). \qquad (35)$$

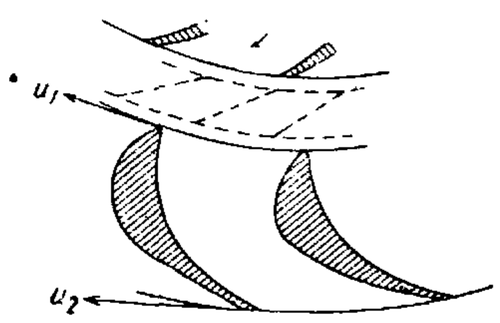
Здесь точно так же, как и в ур-ии (33), удобнее определять η_ε путем построения диаграммы скоростей. При реактивных ступенях различное давление имеет место не только по обеим сторонам направляющих лопаток, но также и по обеим сторонам рабочих лопаток; поэтому часть пара, поступающего на данную ступень (утечка рабочих колес), утекает через зазор между рабочими лопатками и корпусом, при камерных ступенях через лабиринтовые уплотнения около вала, а при барабанных ступенях через зазор между направляющими лопатками и внешними стенками барабана. Наиболее благоприятное значение характеристики кпд $\nu_{\varepsilon m}$ составляет примерно 0,7, при неплотности равно 0, при перегретом паре и лопатках соответствующей длины мог бы быть получен кпд $\eta_{\varepsilon m}$ от 0,9 или выше. Однако вследствие неплотностей указанный максимальный кпд понижается; точно так же $\eta_{\varepsilon n}$ уменьшается при слишком длинных или слишком коротких лопатках. Поперечные сечения каналов определяются по ур-ию неразрывности струи для направляющих лопаток

$$f'_1 = (G - G_{sp}) \cdot \frac{v_{c'}}{c'}, \qquad (36)$$

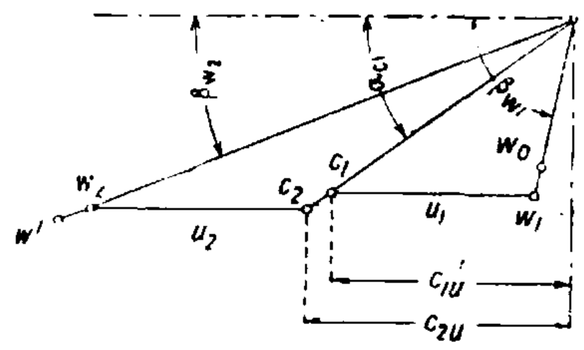
для рабочих лопаток

$$f'_2 = (G - G_{sp}) \cdot \frac{v_{w'}}{w'}. \qquad (37)$$

Радиальные реактивные ступени выполняются т. о., что диски Т. с лопатками вращаются в разные стороны. Этот тип ступеней был впервые предложен Юнгстремом и поэтому м. б. назван ступенью Юнгстрема (i-ступень). На фиг. 25 дан разрез через такую



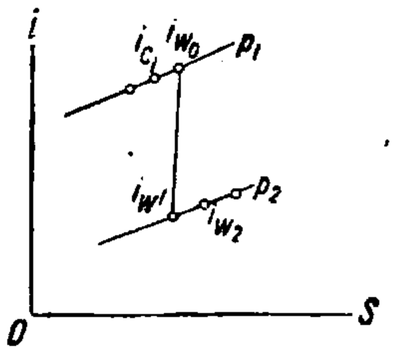
Фиг. 25.



Фиг. 26.

ступень, на фиг 26—соответствующий план скоростей и на фиг. 27—диаграмма i—s. Пар, вышедший из рабочего венца предыдущей ступени с абсолютной скоростью c_0, направлением α_{c1}, проходит без изменения направления во вращающийся в противоположную сторону рабочий венец той же ступени. При этом теряется в зазоре часть скорости, т. ч. на рабочий венец пар поступает с абсолютной скоростью $c_1 = \varphi \cdot c_0$. Окружная скорость в месте входа u_1 меньше, чем окружная скорость u_2 при выходе из рабочего венца. По значениям c_1, u_1 и α_{c1} определяется относительная скорость входа w_1 при направлении β_{w1}. При входе в рабочие каналы w_1 уменьшается до $w_0 = \psi_1 \cdot w_1$. Теплосодержание в этом месте составляет i_{w0}. В рабочих каналах пар отклоняется в направлении β_{w2} и расширяется в них от состояния p_1, i_{w0} до p_2, причем освобождается тепло при расширении соответственно перепада $h_\varepsilon = i_{w0} - i_w$. При прохождении пара без потерь должна была бы получиться относительная скорость выхода

$$w' = 91{,}53\sqrt{h_{w0} + h_\varepsilon}.$$



Фиг. 27.

Однако вследствие потерь при протекании пара по каналам w' понижается до $w_2 = \psi_2 \cdot w'$. По w_2, u_2 и β_{w2} определяется абсолютная скорость выхода c_2, с к-рой пар поступает в рабочий венец, где повторяется тот же процесс. Все расширение происходит в рабочем венце, т. о. степень реактивности $r = 1$. Т. к. абсолютная скорость не меняет направления, то неподвижные направляющие аппараты излишни. На

фиг. 25 для ясности показаны пунктиром направляющие лопатки, которых в действительности нет. Т. о. каждый отдельный рабочий венец представляет собою одну ступень давления. Кпд ступени [см. ур-ие (25)]:

$$\eta_\varepsilon = \frac{2(u_1 \cdot c_{1u} + u_2 c_{2u})}{c_\varepsilon^2}. \qquad (38)$$

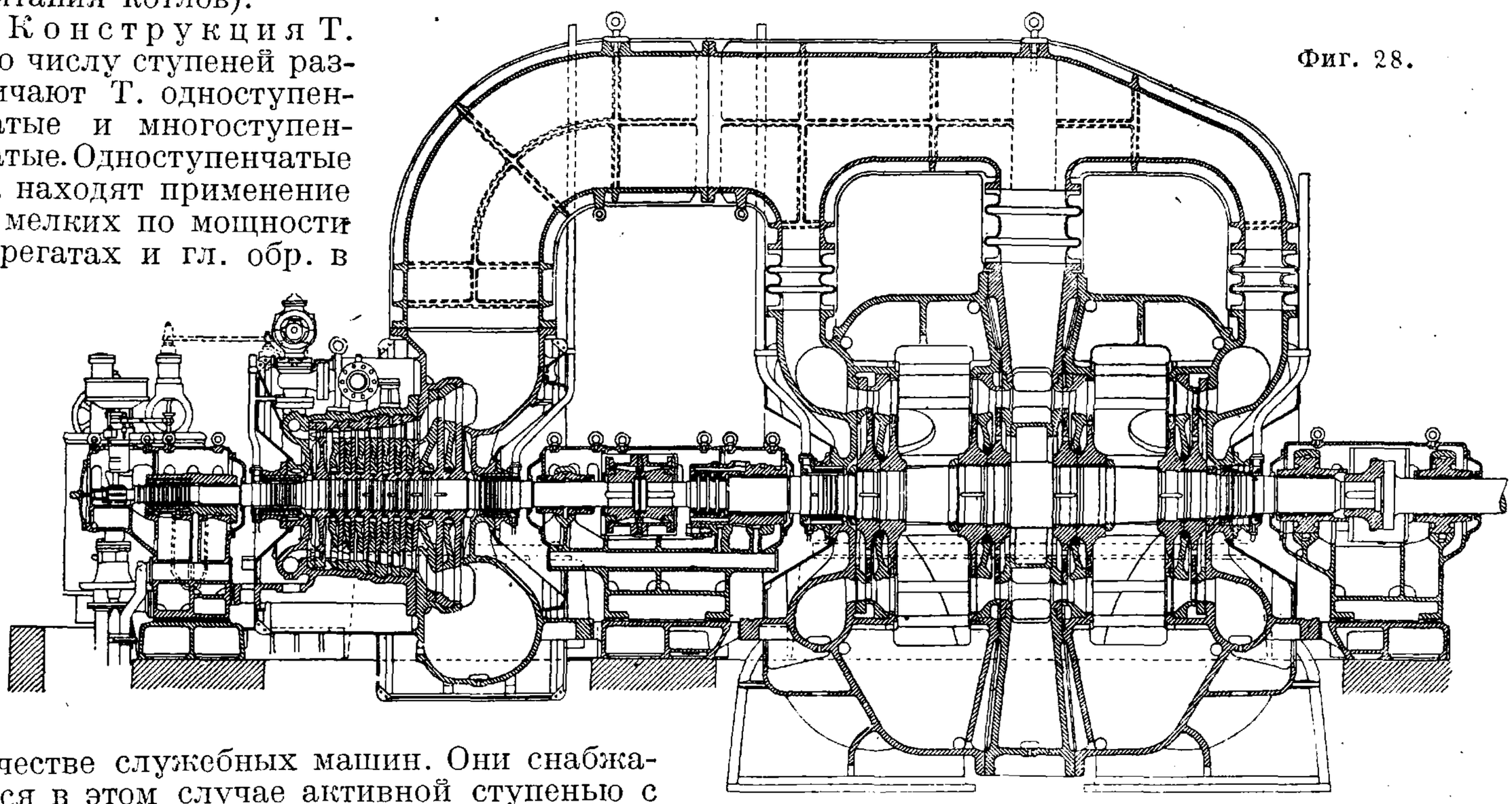
План скоростей ступени Юнгстрема, если пренебречь разностью окружных скоростей, очень похож на диаграмму активной ступени при $\beta_{w1} = \beta_{w2}$ (фиг. 16), только места относительной и абсолютной скорости взаимно изменены. Соответственно с этим кпд обоих типов ступеней при одинаковом ν_ε и одинаковых углах отличаются друг от друга лишь постольку, поскольку различны коэф-ты скорости.

Ступени при низкой степени реактивности. В нек-рых случаях одно- или многовенцовые колеса выполняются с незначительной только реактивностью ($r<0{,}15$). При этих ступенях план скоростей лишь незначительно отличается от такового активной ступени или колеса Кертиса. Лопатки имеют сходство по профилю с лопатками для активной ступени или для колеса Кертиса. Поэтому эти ступени правильнее было бы отнести к активным и обозначить как ступени *Ar* или *Cr*. При ступенях *Ar* с короткими лопатками, малым диаметром и малым перепадом между ступенями, следовательно при малом объеме пара, в реактивных ступенях достигается заполнение лопаточных каналов, что оказывает благоприятное влияние на кпд. При ступени *Ar* с большим диаметром, большим перепадом между ступенями и длинными лопатками благодаря реактивному действию пара отношение длины лопаток к высоте сопел будет не столь велико, как при активных ступенях. Подобное же значение имеет реактивное действие пара при ступенях *Cr*. Чем больше величина характеристич. коэф-та ступени ν', тем длиннее д. б. лопатки последних венцов в случае отсутствия реактивности. Благодаря реактивности м. б. получено укорочение лопаток. Наиболее выгодное значение $\nu_{\varepsilon m}$ при ступенях *Ar* практически будет одинаковое и при ступенях *A* с использованием скорости выхода без реакции; максимальный кпд $\eta_{\varepsilon m}$ при прочих равных условиях м. б. несколько лучше, чем при ступенях *A*, пар в к-рых протекает через каналы лопаток в виде свободной струи. Наивыгоднейшее значение $\eta_{\varepsilon m}$ для ступеней *Cr* больше, чем для ступеней *C* без реакции. Максимальный кпд $\eta_{\varepsilon max}$ также м. б. выше при ступенях *Cr*, чем при ступенях *C* без реакции; при перегретом паре при двухвенцовых ступенях *Cr* м. б. достигнуты кпд ок. 0,75.

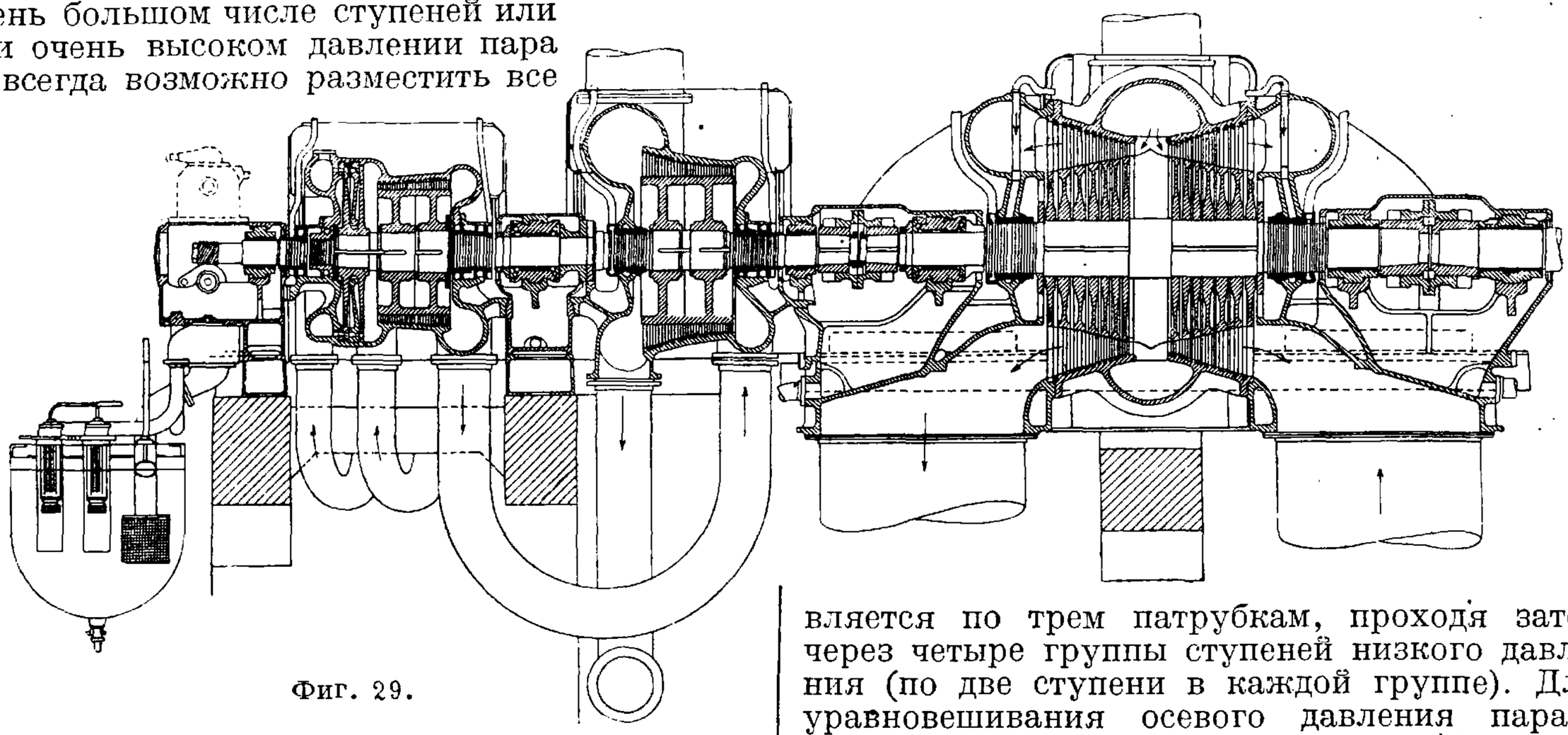
Соображения при выборе типа ступеней. При обсуждении вопроса о преимуществах *A*- или *R*-ступеней, при прочих равных условиях в отношении получения наибольшего кпд, следует иметь в виду, что несмотря на очевидные выгоды реактивных ступеней следует противопоставить им также нек-рые недостатки; т. о. в отдельных случаях это зависит от преобладания преимуществ или недостатков. Достоинством реактивных ступеней является меньшая кривизна канала между лопатками, чем в активных ступенях; пар протекает через изогнутую часть канала с меньшей скоростью, к-рая повышается только за изгибом. Относительная скорость выхода меньше, вследствие чего рабочие каналы получаются большего сечения, чем в *A*-ступени. При барабанных конструкциях сопла занимают меньшую длину по оси, поэтому объем машины получается меньший. Однако уменьшение габаритной длины имеет тот недостаток, что шаг и поперечное сечение отдельных сопел получаются меньшие, вследствие чего повышаются потери. Дальнейшим недостатком являются большие потери в неплотностях, так как при барабанном типе зазоры примыкают к большому диаметру и вследствие этого имеют значительный размер. Кроме того вследствие избыточного давления перед лопатками часть пара непроизводительно обтекает рабочие каналы. Этот избыток давления вызывает также осевое усилие, к-рое может компенсироваться тем, что пар в двух группах ступеней проходит в противоположных направлениях, или путем применения уравновешивающих поршней, или наконец усилие это может восприниматься упорным подшипником. Реактивные ступени всегда выполняются для полного расхода пара; вследствие этого при малом объеме пара всегда получаются очень короткие лопатки, если нежелательно применять малые размеры диаметра. Малые же диаметры имеют в свою очередь тот недостаток, что для определенного перепада давлений требуется большое число ступеней. Т. о. для очень малых объемов пара реактивные ступени не подходят. При очень большом объеме пара, чтобы не получилось слишком длинных лопаток, необходимо применять большие диаметры. В соответствии с этим перепад давлений в ступенях также д. б. значительным. Это обстоятельство в свою очередь вызывает тот недостаток, что при $r=0{,}5$ объем при выходе из рабочих лопаток получается значительно больший, чем при выходе из сопел. Профили лопаток д. б. различными, что оказывает плохое влияние на использование. В общем следует считать, что ступени с реактивностью около 0,5 подходят только для средних объемов; однако резкие границы не м. б. установлены. В пределах малых объемов предпочтение отдается активным ступеням, причем небольшая реактивность м. б. полезна. При очень большом объеме как активные, так и реактивные ступени при $r \cong 0{,}5$ имеют недостатки; при последних условиях поэтому предпочтение следует отдать реактивным ступеням с $r<0{,}5$ или активно-реактивным ступеням. Ступени Юнгстрема имеют преимущество в отношении весьма малого занимаемого объема, так как при них отсутствуют какие-либо сопла, однако при больших объемах пара они не выполнимы. Кроме того при них должны применяться два вращающихся в противоположные стороны вала и две рабочие машины. Ступени Кертиса имеют тот недостаток, что максимальный достигаемый кпд меньше, чем при активных, реактивных и активно-реактивных ступенях. С другой стороны, преимущество их состоит в том, что при одинаковом диаметре перепад давлений получается больший, чем в указанных ступенях. Поэтому они м. б. применимы для высоких давлений. В многоступенчатых Т. с регулированием посредством включения или выключения сопел они применяются с успехом точно так же, как и активные ступени в качестве регулируемых ступеней с парциальным напуском пара. Они применяются также часто для Т. меньших мощностей, с малыми перепадами давления, в качестве только един-

ственной ступени, если количество расходуемого пара не представляет существенного значения (напр. для небольших Т. с противодавлением или для Т., приводящих в движение вспомогательные насосы для конденсации или питания котлов).

Конструкция Т. По числу ступеней различают Т. одноступенчатые и многоступенчатые. Одноступенчатые Т. находят применение в мелких по мощности агрегатах и гл. обр. в качестве служебных машин. Они снабжаются в этом случае активной ступенью с парциальным впуском пара. Для этих Т. кпд получается невысокий. Т. с одной ступенью давления и несколькими (2—5) ступенями скорости, представителем которых является турбина Кертиса (фиг. 32—Т. с противодавлением при 8 000/1 500 об/м. для генератора в 250 kW). Все Т. средних или больших мощностей выполняются с несколькими или со многими ступенями (фиг. 28, 31, 33, 34, 35, 37). При очень большом числе ступеней или при очень высоком давлении пара не всегда возможно разместить все ступени в одном корпусе; в таких случаях Т. выполняются или двух- или многокорпусные (фиг. 28, 29, 35). Большинство Т. строится с горизонтальным валом. С вертикальным валом выполняются иногда вспомогательные Т. для конденсационных установок. В многоступенчатых Т. применяется количественное регулирование. Это регулирование включением или выключением большего или меньшего числа сопел осуществляется по конструктивным условиям только для первой ступени. Однако при малых объемах пара парциальный подвод меняется также в нескольких ступенях части высокого давления. На фиг. 35 ступени Т. высокого давления имеют парциальный подвод пара. Если объем пара оказывается настолько большим, что лопатки получаются недопустимой длины, то ступени разбиваются на отдельные группы и размещаются в отдельных, параллельно включенных цилиндрах. При разбивке на две группы расход пара устанавливается примерно в половинном количестве (фиг. 29—31). На фиг. 28 представлен разрез Т., по к-рому видим, что пар из цилиндра высокого давления подводится во второй цилиндр по трубе прямоугольного сечения и разветвляется по трем патрубкам, проходя затем через четыре группы ступеней низкого давления (по две ступени в каждой группе). Для уравновешивания осевого давления параллельно включенные группы ступеней расположены по противотоку. Последовательные группы реактивных ступеней по той же причине часто располагаются также по противотоку. На фиг. 29 цилиндры высокого и среднего давления расположены друг за другом по противотоку. Цилиндр низкого давления состоит из семи дублированных ступеней с подводом пара посредине цилиндра. По характеру работы пара в отдельных ступенях различают активные (фиг. 28, 32—35, 37), реактивные (фиг. 30, 31) и комбинированные Т. (фиг. 29);

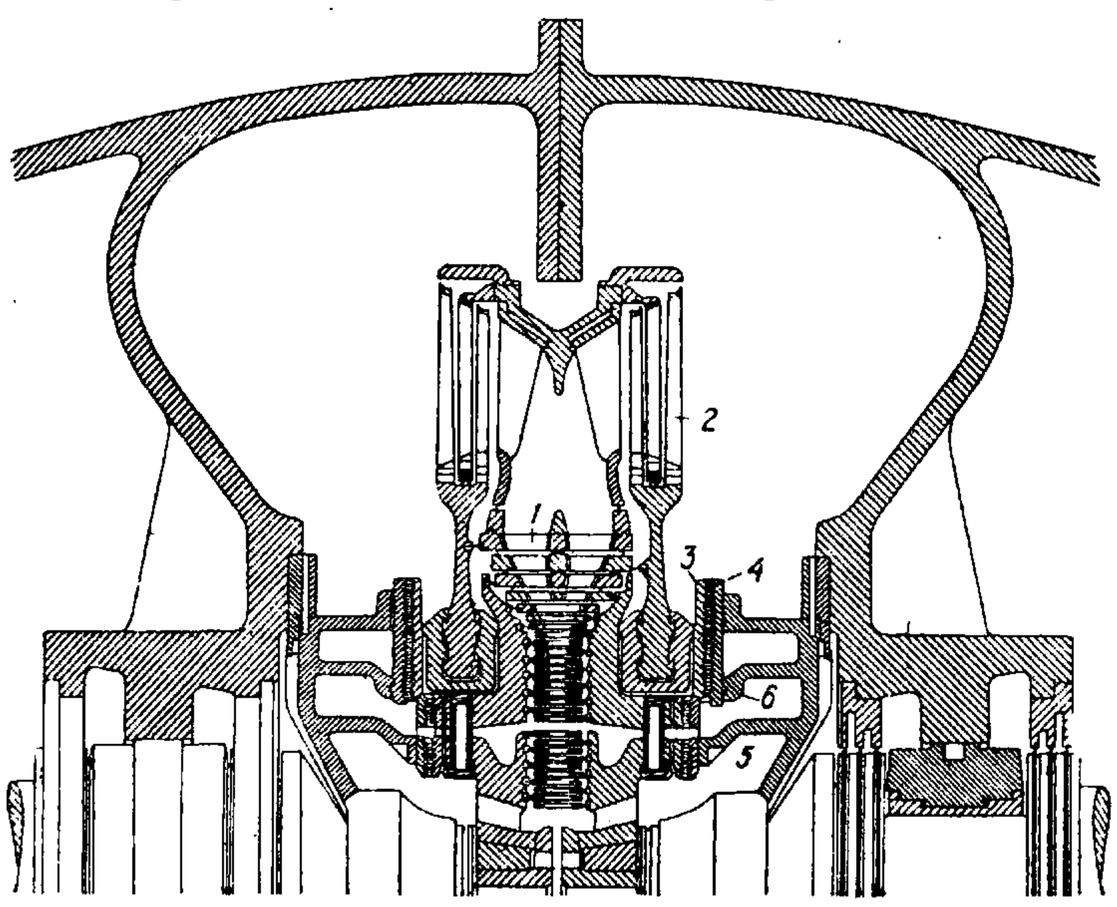


Фиг. 28.



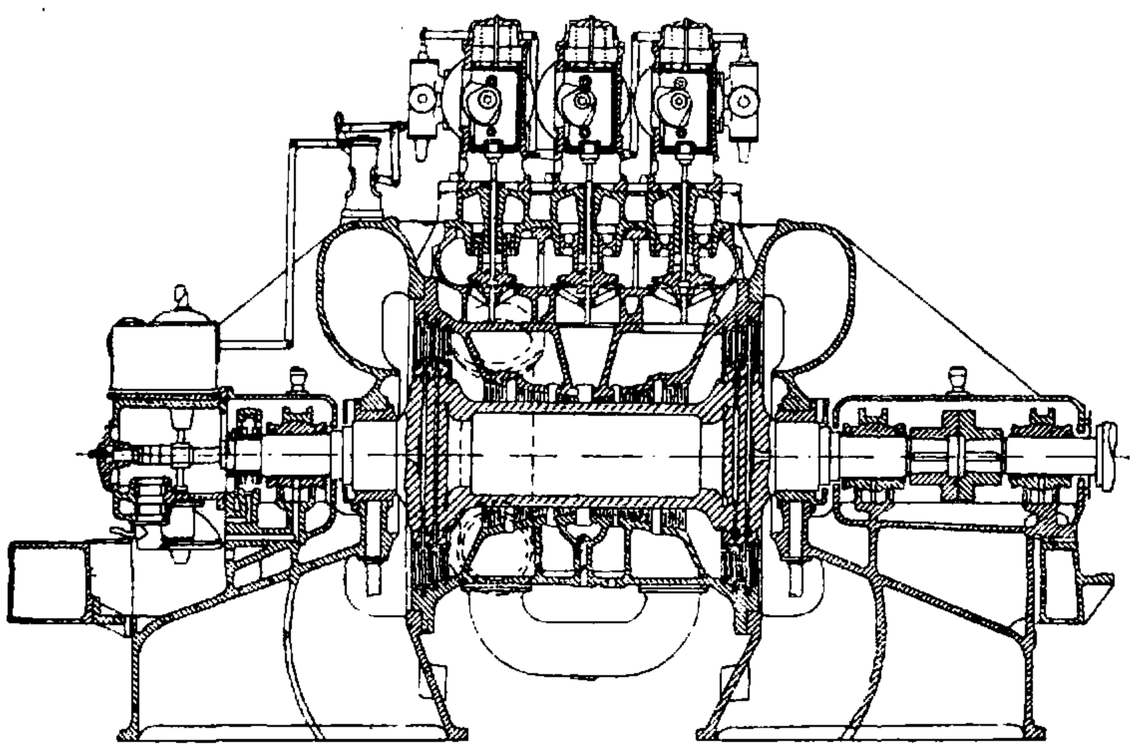
Фиг. 29.

в последних имеются как активные, так и реактивные ступени. По основному направлению тока пара различают осевые и радиальные Т.



Фиг. 30.

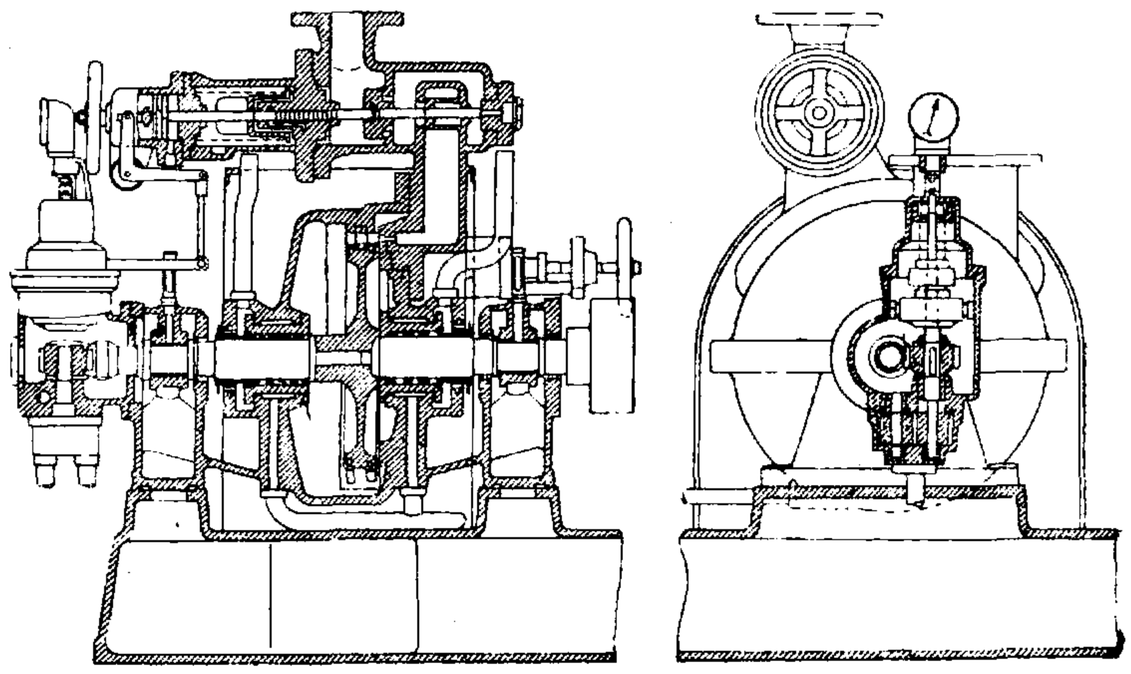
Большинство построенных турбин относится к осевым, однако в последнее время завоевали прочное положение и радиальные турбины типа Юнгстрем, выполняемые с двумя валами, вращающимися в противоположных направлениях. Для более крупных мощностей применяют конструкцию турбин радиально-осевую. В ней кроме радиальных рядов лопаток



Фиг. 31.

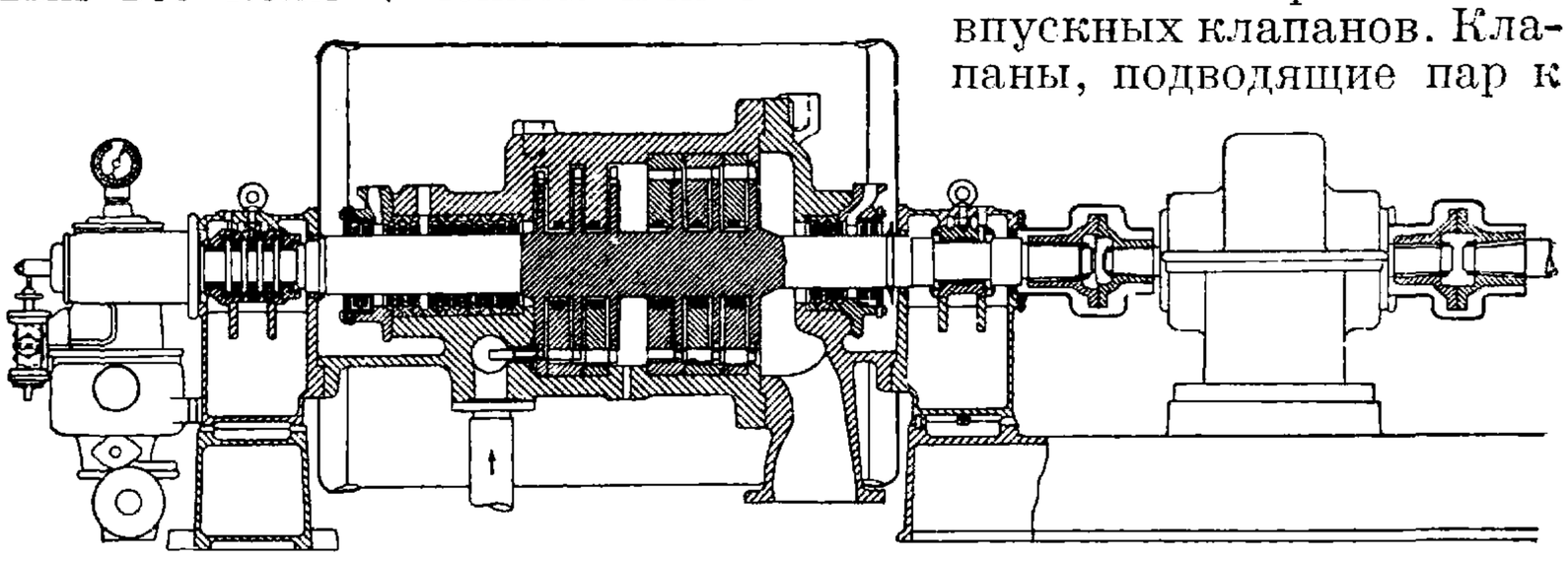
имеются в конце еще аксиально расположенные ряды. Подобного рода Т. изображена на фиг. 30. Далее различают Т. с прямым и с разветвленным потоком пара. В первых все количество пара, не считая неизбежных потерь в неплотностях, проходит через все ступени. Сюда относятся конденсационные Т. (фиг. 28—31), отработанный пар которых конденсируется в конденсаторе, и Т. с противодавлением (фиг. 32—33), отработанный пар к-рых используется для нагревательных целей. В Т. с разветвленным потоком только часть пара производит работу во всех ступенях, в то время как остальная часть пара производит работу только в части ступеней. Примером таких Т. являются Т. с отбором пара (фиг. 34, 35), в которых часть пара отбирается из одной или нескольких ступеней для целей нагревания, в то время как отработанный пар или идет в конденсатор—конденсационные Т. с отбором пара (фиг. 34) или то же применяется для нагревания—Т. с противодавлением и отбором пара (фиг. 35). Далее рассматривают типы Т. смешанного давления. Эти Т. строятся б. ч. для двух давлений (фиг. 37). Т. имеют либо постоянное число оборотов, напр. для работы с электрич. генератором, либо переменное—для работы с компрессорами, насосами или пропеллерами. Когда экономич. число оборотов Т. значительно отличается от такового приводимой во вращение им машины, между ними вводится редукционная передача.

Регулировка. Назначение регулирования при переменных нагрузках заключается в том, чтобы иметь или постоянными или переменными в зависимости от эксплоатационных условий следующие основные факторы: число оборотов турбины, давление, а также и разность давлений пара. Изменение этих



Фиг. 32.

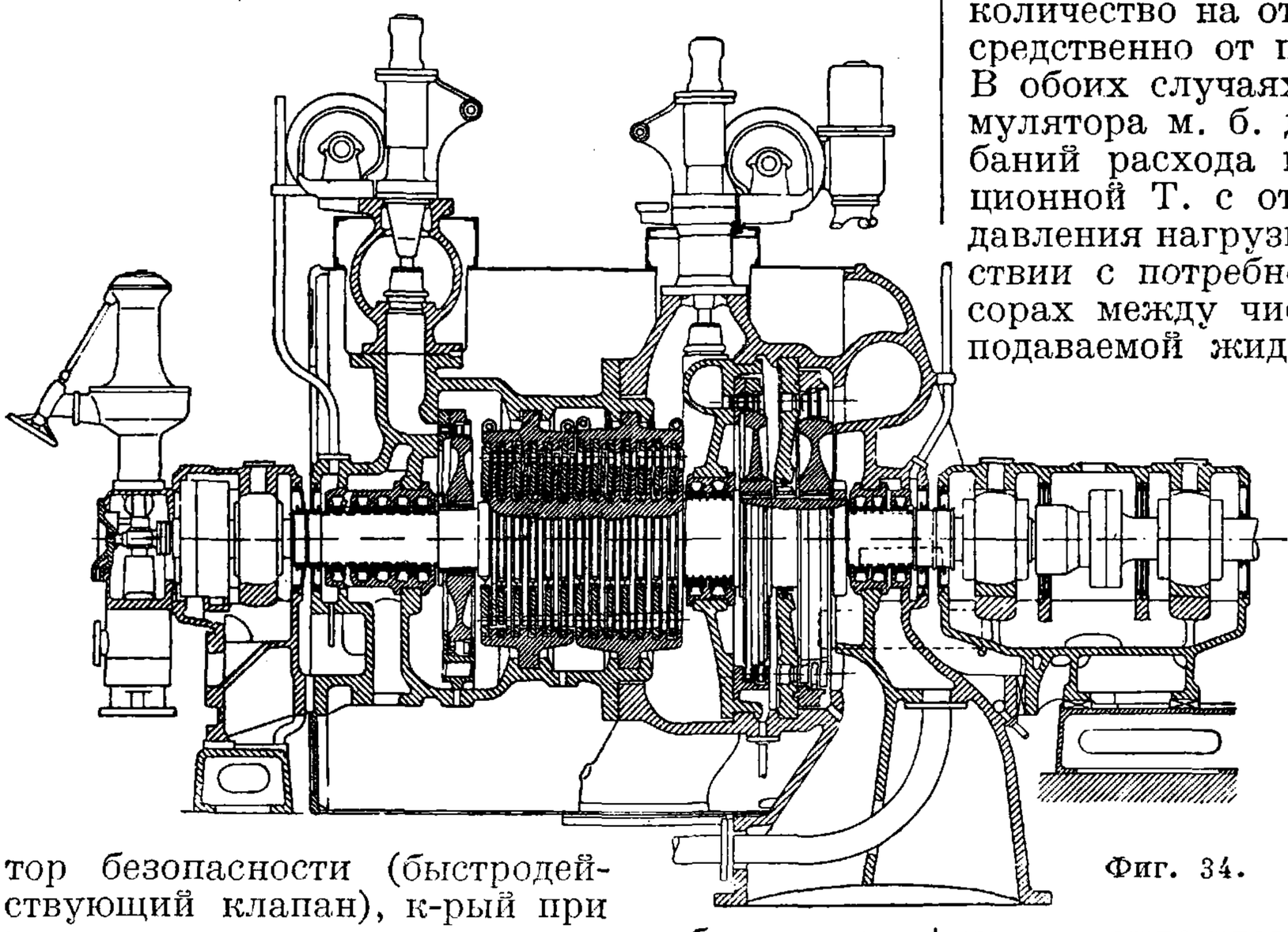
факторов зависит от расхода пара в регулирующих органах. Регулирование может производиться или от руки или автоматически, первое применяется только в особых случаях, например при пропеллерных Т., а второе—в промышленных установках или в Т. электростанций, причем только дополнительные или перегрузочные вентили управляются вручную. Автоматич. регулировка осуществляется регулирующими органами непосредственно или в зависимости от регулируемых факторов. При этом различают регулирование торможением и регулирование изменением наполнения. В первом случае одним вентилем дросселируется все количество пара, к-рое подводится к данной ступени. Во втором же случае количество подводимого пара к Т. изменяется включением или выключением сопел при помощи впускных клапанов. Клапаны, подводящие пар к



Фиг. 33.

отдельной группе сопел, открываются или закрываются последовательно. При этом, прежде чем один из клапанов будет вполне открыт или закрыт, уже открывается или закрывается соседний, так что имеет место нек-рое перекрытие клапанов. В Т. с дроссельным ре-

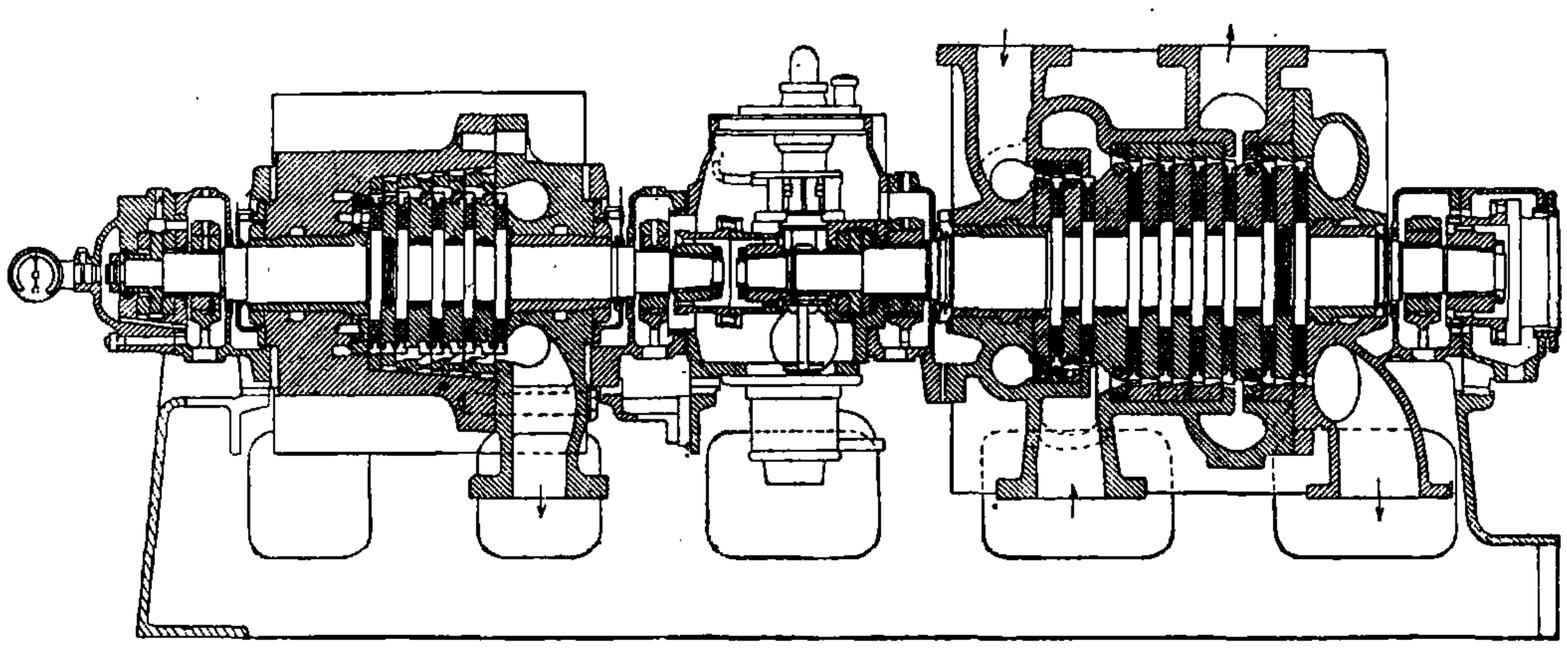
гулированием, допускающим временную перегрузку, как правило предусматривается установка перегрузочного вентиля (байпасс), посредством которого подводится свежий пар к промежуточным ступеням. Во всех Т. на подводящей трубе должен устанавливаться регуля-



Фиг. 34.

тор безопасности (быстродействующий клапан), к-рый при определенном превышении числа оборотов совершенно прекращает доступ пара к Т. Смотря по тому, установлена ли зависимость регулирующего органа от двух или большего числа факторов, различают простое и сложное регулирование. Простое регулирование обычно применяется в конденсационных Т. Регулирующим органом является центробежный регулятор, приводимый в действие от вала Т. Между регулятором и регулирующим органом включается сервомотор, работающий под давлением масла. При сложном регулировании, в зависимости от одного или нескольких факторов, перемещается также один или несколько регулирующих органов. Сложная регулировка осуществляет быстрое достижение нового устойчивого режима работы. Самый простой случай сложного регулирования имеет место в Т. с противодавлением, в к-рых число оборотов и величина противодавления должны поддерживаться постоянными. Оба эти фактора одновременно воздействуют на регулирующий орган. При Т. с противодавлением и отбором пара в одной точке должно кроме того поддерживаться постоянным давление отбора; в этом случае необходимы два регулирующих органа, из которых один регулирует подвод свежего пара, а другой—перепуск пара из части высокого в часть низкого давления. Оба регулирующих органа находятся одновременно под воздействием давлений отбора, противодавления и числа оборотов. Для каждого следующего места отбора необходим новый регулирующий орган. Мощность, развиваемая Т., зависит для обоих указанных типов от расхода пара на отопление и не м. б. установлена соответствующей потреблению. Если последнее больше развиваемой Т. при отборе пара на отопление, то недостающая мощность покрывается из какого-либо иного источника. Если же, наоборот, потребляемая мощность меньше, то через Т. пропускается только соответствующее этой мощности количество пара, а недостающее количество на отопление м. б. получено непосредственно от паровой котельной установки. В обоих случаях включением парового аккумулятора м. б. достигнуто сравнивание колебаний расхода пара. Напротив, в конденсационной Т. с отбором пара и в Т. двойного давления нагрузка м. б. установлена в соответствии с потребностью. В насосах и компрессорах между числом оборотов и количеством подаваемой жидкости или воздуха существует закономерная зависимость. В турбинах, соединенных с подобного рода рабочими машинами, регулирование имеет целью устанавливать число оборотов в соответствии с условиями работы.

Т и п ы Т. а) Конденсационные Т. с единым потоком пара работают б. ч. на паре высокого давления свыше 10 *atm*. Отработанный пар поступает из них в конденсатор. Величина достигаемого вакуума зависит от $t°$, количества охлаждающей воды и от величины поверхности конденсатора; б. ч. вакуум превышает 90% барометрического давления. При небольших и средних мощностях Т. выполняются однокорпусными с небольшим количеством ступеней, а при больших мощностях одно- или многокорпусными с большим числом ступеней. Фиг. 28 изображает двухкорпусную активную Т. фирмы Wumag, построенную на мощность 33 000 kW, 3 000 оборотов и $t°$ охлаждающей воды 15°, т. е. для очень высокого вакуума. Часть высокого давления состоит из колеса Кертиса с двумя венцами рабочих лопаток и



Фиг. 35.

9 активных ступеней, диаметр которых постепенно возрастает. Часть низкого давления состоит из 4 групп по 2 активные ступени в каждой, причем пар разветвляется и течет в противоположные стороны через симметрично расположенные группы ступеней. Отработанный пар выходит по двум патрубкам. На фиг. 29 изображена трехкорпусная Т. BBC, построенная на мощность 20 000—125 000 kW при 1 500 об/м. и 20 000—75 000 kW при 1 800 об/м. Часть высокого давления состоит из 2 активных дисков, к которым примыкает составной барабан с реактивными ступенями; часть среднего давления состоит из аналогич-

ных реактивных ступеней, по которым пар проходит в направлении, противоположном части высокого давления. Ротор части низкого давления состоит из отдельных дисков, имеющих каждый по 2 рабочих венца, за исключением последнего, имеющего всего один рабочий венец. Фиг. 30 изображает разрез через верхнюю часть построенной фирмой MAN турбины системы Юнгстрема с валами, вращающимися в противоположные стороны. При больших мощностях Т. работает с конденсационным устройством. Пар через выпускной вентиль входит в паровую камеру *5* и оттуда к первому венцу радиальных реактивных лопаток *1*, через которые он проходит изнутри наружу. При этом он отдает часть своей энергии обоим дискам Т., которые вследствие этого приходят во вращение в противоположных направлениях. По выходе из последнего радиального венца пар проходит две аксиальные ступени *2*, разделенные на два потока, направленных навстречу друг другу. Пар оказывает на оба диска аксиальное давление, для разгрузки которого на каждой стороне предусмотрены уравновешивающие давление шайбы *3* и *4*; из них одна вращается вместе с диском, в то время как вторая стоит неподвижно и передает давление на корпус Т. При перегрузке свежий пар подается к камере *6*, а оттуда к одной из промежуточных ступеней турбины. Аксиальные ступени необходимы лишь тогда, когда количество отработанного пара очень велико; вследствие этого конденсационные Т. для небольших мощностей и Т. с противодавлением имеют только радиальные ступени. Конденсационные Т. низкого давления, работающие отработанным паром поршневых паровых машин, напр. машин прокатных станов, подъемников, паровых молотов и т. п., называют Т. мятого пара. Поступающий неравномерно и толчками пар предварительно направляется в тепловой аккумулятор и затем в конденсационную Т. Турбины мятого пара имеют тот недостаток, что их мощность находится в зависимости от имеющегося в наличии количества мятого пара. Поэтому они могут применяться только при параллельной работе с другими машинами. Если подача мятого пара по каким-либо причинам прекращается, то турбина может работать только до тех пор, пока не истощится запас пара в аккумуляторе. При наступлении этого момента Т. должна быть остановлена. Во избежание этого к Т., работающей мятым паром, д. б. приключена еще часть высокого давления, к-рая в момент отсутствия мятого пара питается свежим паром. Давление пара для конденсационных турбин как правило практически постоянно. Однако в известных случаях пар применяется с сильно меняющимся давлением, напр. когда он получается из теплового аккумулятора, находящегося под высоким давлением (аккумулятор Рутса). Подобные Т. устанавливаются на электростанциях для покрытия пиков нагрузки. В те периоды времени, когда потребность в токе незначительна и в распоряжении имеется большое количество пара, аккумуляторы заряжаются. Во время зарядки пиковая Т. бездействует; она вступает в работу только в момент пиковой нагрузки и питается при этом паром из аккумулятора. Для работы при сильно колеблющихся давлениях пара приспособлена Т. SSW-Röder, к-рая состоит из двух поточных реактивных ступеней барабанного типа и имеет три группы регулирующих клапанов. Пока давление в пароаккумуляторе велико, пар поступает в турбину через среднюю группу и проходит через все ступени. Только когда давление в аккумуляторе падает ниже 5 *atm*, открывается вторая группа, через к-рую подводится пар к пятой ступени перед концом разряда; третья группа подает пар непосредственно к 11-й ступени. На электростанции Шарлотенбург Берлинского объединения электрич. станций установлена Т., построенная для нормальной мощности 20 000 kW и для временной пиковой нагрузки 25 000 kW.

b) Т. с противодавлением устанавливаются в тех производствах, где потребляется большое количество пара низкого давления для отопления, для сушилок и других целей. Пар от котлов используется сначала в Т., а затем в нагревательных приборах. Подобная установка является более экономичной по сравнению с той, когда энергия получается от конденсационной Т., а на отопление расходуется пар непосредственно от котлов. В конденсационных Т. тепло отработанного пара, составляющее свыше 50% тепла, заключающегося в свежем паре, непроизводительно уносится с охлаждающей водой. Напротив, тепло, содержащееся в мятом паре (Abdampf) Т. с противодавлением, почти полностью м. б. использовано для нагревательных целей. Это отходящее тепло при его использовании следует рассматривать как полезную энергию. Потери теплосиловой установки складываются из потерь в котлах, передачи тепла во внешнюю среду вследствие излучения и теплопроводности и из механич. потерь в Т., т. ч. термич. кпд всей установки только немногим ниже кпд котлов, как бы высок или низок ни был кпд Т. с противодавлением. Однако этот кпд при известных условиях оказывает влияние на экономичность установки. Он не оказывает влияния только в том случае, если количество пара, требуемое для отопления, настолько велико, что за счет его можно было бы выработать большее количество механич. энергии, чем это требуется, и если часть пара, необходимого для нагревания, приходится непосредственно вводить в нагревательную систему в виде дросселированного пара. В этом случае нет никакого смысла устанавливать дорогую Т. с противодавлением, с высоким кпд, повышая стоимость установки. Наиболее подходит в этом случае простая и дешевая Т. В тех же случаях, когда требуется бóльшая мощность, чем та, которая м. б. получена в Т. за счет использования пара, идущего на отопление, недостаток мощности должен покрываться или другими машинами (на той же станции) или энергией, получаемой извне. То и другое обусловливает значительно более высокую стоимость вырабатываемой энергии, поэтому предпочтительнее иметь возможно бóльшую мощность за счет расширения пара, идущего для нагревательных целей, и следовательно устанавливать Т. с противодавлением, с возможно лучшим кпд. Если расход пара в Т. с противодавлением изменяется в сторону уменьшения или увеличения по сравнению с потребностью в паре для нагревания, то выравнивание колебаний достигается установкою теплового аккумулятора, к-рый в период большей потребности пара для получения энергии поглощает избыточный пар, а в период большей потребности для отопления отдает в нагревательную систему недостающее количество.

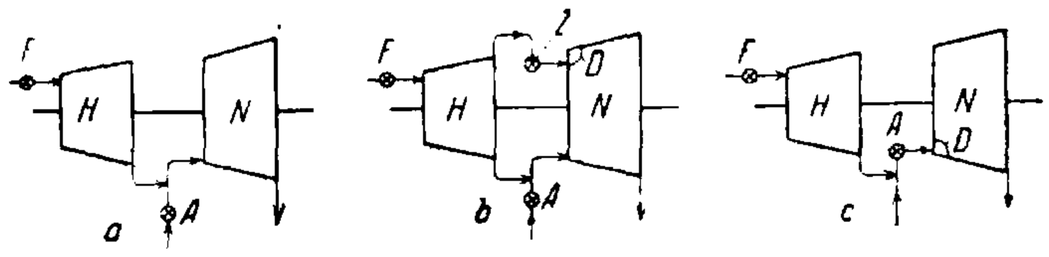
Вместо Т. с тепловым аккумулятором может быть также установлена Т. с отбором пара. Одноступенчатые Т. с противодавлением как правило применимы тогда, когда речь идет о небольших мощностях или когда кпд Т. не играет существенной роли. Они состоят б. ч. из ступени Кертиса с двумя или тремя венцами лопаток. Многоступенчатые Т. состоят из нек-рого числа активных или активно-реактивных ступеней; при большом конечном объеме пара последние ступени выполняются также в виде реактивных барабанных ступеней. При относительно небольшом объеме пара разделение его на два потока не применяется. Первая ступень имеет парциальный впуск пара и является активной ступенью или колесом Кертиса. Фиг. 32 изображает одноступенчатую Т. с противодавлением фирмы Борзиг небольшой мощности (до 250 kW) при $n = 8\,000$ с редуктором для работы с генератором $n = 1\,500$ об/м. Ротор состоит из ступени Кертиса с количественным регулированием, с парциальным впуском пара. Фиг. 33 изображает Т. противодавления фирмы Эрликон с 6 активными ступенями, мощностью в 850 kW, 33 *atm* абс., 350°, с противодавлением в 6 *atm* абс. и $n = 6\,800$ с редуктором для $n = 3\,000$. Т. имеет две группы автоматически регулируемых сопел для полной и половинной нагрузки. Впуск пара в первых трех ступенях производится только на нижней половине, а последние две ступени имеют полный напуск пара.

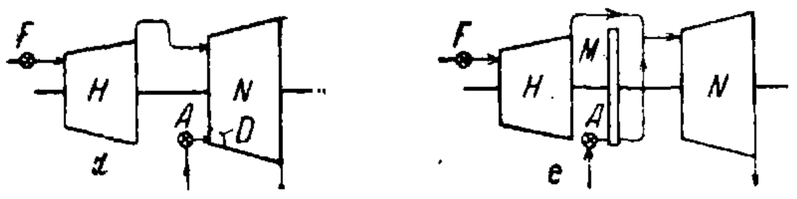
c) Т. для привода вспомогательных конденсационных насосов строятся в виде Т. с противодавлением. Отработанный пар поступает или в конденсатор, или в промежуточную ступень главной Т., или в подогреватель для подогрева конденсата. Наименее экономичным является отвод отработанного пара в конденсатор. Более экономичным оказывается направление его в промежуточную ступень главной Т.; однако это ведет к увеличению количества протекающего пара в части низкого давления главной Т. и к уменьшению его в части высокого давления, что создает затруднения в установлении длины лопаток. Наиболее же экономичным является отвод отработанного пара в подогреватель. При электромоторах — первичных двигателях вспомогательных насосов — предусматривается в качестве резерва небольшая Т., включаемая в работу при перерыве тока автоматически или же от руки. Такая Т. работает только в исключительных случаях и расход пара в ней не играет роли, поэтому она может выполняться с одной активной ступенью небольшого диаметра.

d) Т. с разветвленным подводом пара и отбором применяется вместо Т. с противодавлением в тех случаях, когда временами требуется большая мощность, что м. б. достигнуто использованием пара, идущего для нагревательных целей. Последняя представляет собой Т. с противодавлением, к которой присоединена часть низкого давления. Через часть высокого давления протекает в камеру отбора все количество пара, поступающего в Т. Отсюда часть пара отдается в трубопровод для отопления, в то время как остальная часть идет через регулирующий орган в часть низкого давления, а оттуда в конденсатор или во второй трубопровод тоже для отопления. В последнем случае Т. носит название Т. с противодавлением и отбором пара. Если пар отбирается не из одной, а из двух ступеней, между частью высокого и низкого давления включается часть среднего давления, причем пар из части среднего давления поступает в часть низкого через второй регулирующий орган. Назначение регулирующих органов состоит в том, чтобы поддерживать практически постоянное давление в камерах отбора. В некоторых случаях промежуточное регулирование не применяется, т. ч. в камерах отбора устанавливается давление, меняющееся вместе с расходом пара (фиг. 35). В Т. с противодавлением и отбором пара, так же как и в Т. с противодавлением, мощность зависит от количества отбираемого пара. Здесь следует иметь в виду сказанное выше в разделе о Т. с противодавлением относительно выравнивания силовых и тепловых потребностей. Фиг. 34 изображает конденсационную турбину с отбором пара фирмы AEG, построенную на начальное избыточное давление 23 *atm*, 345°, давление отбора 2 *atm* изб. 3 500 kW, $n = 3\,000$. Она построена для большого отбора пара, т. ч. наибольшая часть пара работает только в части высокого давления, последняя поэтому выполняется многоступенчатой, в то время как часть низкого давления, через которую проходит незначительное количество пара, состоит только из двух двухвенцовых ступеней Кертиса. Как в части высокого, так и в части низкого давления первая ступень выполняется с парциальным впуском пара. Фиг. 35 изображает Т. с противодавлением и отбором пара, где отбор осуществляется в двух местах без промежуточной регулировки. Т. построена нормально на 20, максимально на 25 *m* пара в час, для давления 180 *atm* при 420°, для противодавления 6,5 *atm* абс. Число оборотов $n = 6\,000$; при помощи редуктора с понижением числа оборотов до 3 000 работа передается на генератор. Вследствие высокого давления турбина выполнена двухкорпусной. Из первого корпуса пар после расширения до 34 *atm* поступает в котел, где перегревается отходящими газами до 400°. С этой $t°$ пар поступает во второй корпус Т. Часть пара отбирается из трубопровода между обоими корпусами, а другая часть из шестой ступени второго корпуса при 10,5 *atm* абс. Часть высокого давления содержит одно колесо Кертиса с двумя венцами и 3 активные ступени диам. по 350 *мм*, причем все имеют парциальный впуск пара. Оба рабочих венца ступени Кертиса насажены каждый на отдельный диск. В ступени Кертиса пар расширяется до давления 75 *atm*. Первый рабочий венец имеет лопатки длиною по 3,5 *мм*, остальные по 4,3 *мм*. В соответствии с этим сопла также очень низки, т. ч. они д. б. обработаны особенно тщательно. Второй корпус содержит часть среднего и часть низкого давления. Часть среднего давления, в к-рой пар расширяется от 34 до 10,5 *atm* абс., состоит из 2 активных ступеней диам. 410 *мм*, 4 активных ступеней диам. 480 *мм*; часть низкого давления состоит из двух активных ступеней диам. 480 *мм*. Все ступени второго корпуса имеют полный напуск пара. В случае перегрузки дополнительный пар впускается через перегрузочный вентиль перед третьей ступенью второго корпуса. Турбина построена фирмой Эшер-Висс в Цюрихе и установлена в кабельном цехе з-дов Сименс-Шуккерт в Берлине.

e) Т. смешанного давления выполняются на два давления. В Т. двойного давления или смешанного давления отработанный пар подво-

дится в промежуточную ступень, работающую в части высокого давления свежим паром; они отличаются от Т. мятого пара присоединенной к ней частью высокого давления. Назначение этих Т. такое же, как Т. мятого пара. В те периоды, когда мятого пара недостаточно, часть высокого давления питается свежим паром. На фиг. 36 (a—e) представлены различные схемы включения Т. двойного давления. Регулирование свежего пара F м. б. выполнено или торможением или изменением наполнения. В схемах «a» и «b» регулирующий орган A действует на дроссельный клапан, а в остальных схемах на механизм для включения и выключения сопел. Т. этого рода выполняются однокорпусными, т. к. они строятся на небольшие мощности. По схеме «a» свежий пар м. б. подведен непосредственно к части высокого и низкого давления; в промежуточную камеру пар поступает дросселированным. Давление в смесительной камере д. б. всегда ниже давления мятого пара и может приближаться к последнему только при совпадении максимальных значений мощности и при максимальных расходах пара в части Т. низкого давления (максимальная пропускная способность). Однако при работе с малым подводом мятого пара расход в части низкого давления значительно ниже пропускной способности, и вследствие этого

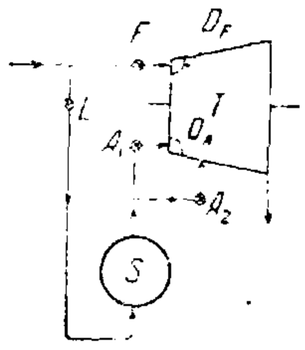




Фиг. 36.

давление в смесительной камере значительно ниже давления мятого пара, так что мятый пар должен сильно дросселироваться, что понижает экономичность работы. При схеме «b» постоянно открыта только часть сопел первой ступени низкого давления, в то время как остальные сопла D включаются и выключаются регулятором Z. Экономичность этого способа выше, но регулировка сложнее, чем в схеме «a». При схеме «c» весь подводимый к части низкого давления пар регулируется соплами таким образом, что давление в смесительной камере остается практически постоянным, равным $\sim 1{,}05$ *atm* абс. Хотя при этом и устраняется дросселирование мятого пара, однако при работе одним мятым паром, без подвода свежего пара, ротор низкого и высокого давления вращался бы в спокойном паре атмосферного давления. Это недопустимо, т. к. вызвало бы чрезмерное нагревание части высокого давления. По схеме «d» и «e» (обе схемы предложены Форнером) пар низкого давления и мятый пар смешиваются только после того, как последний произведет работу в одной ступени. При этом в смесительной камере давление ниже атмосферного. При работе одним мятым паром ротор высокого давления вращается вхолостую в среде пара с давлением $p < 1$ *atm* абс., что уменьшает работу на вентиляцию. Через передний сальник в часть высокого давления подводится пар, отводящий тепло, выделяющееся вследствие вентиляции. По схеме «d» к одной части окружности первой ступени низкого давления подводится пар высокого давления, а к остальной части через специальные сопла D подводится мятый пар. Если количество мятого пара весьма значительно, то между частью высокого и низкого давления включается промежуточная ступень M, работающая только мятым паром (схема «e»). На фиг. 37 изображена Т. AEG, построенная по схеме «e». Т., работающая свежим паром от аккумулятора, получает пар более низкого давления из последнего (аккумулятор Рутса) при значительных колебаниях давления. На фиг. 38 дана схема такой установки (по предложению Форнера). Если Т. потребляет как-раз столько пара, сколько доставляется котлом, то она работает как обыкновенная конденсационная Т.; в это время аккумулятор не заряжается и не разряжается. Если Т. потребляет меньше пара, чем производится в этот момент котлом, то избыточное количество свежего пара подводится через вентиль избытка L к аккумулятору; давление к-рого вследствие этого возрастает. Если, напротив, Т. потребляет больше пара, чем доставляется котлом, то недостающее количество пара берется из аккумулятора, давление в котором в этот период постепенно падает. Пар из аккумулятора поступает через выпускной вентиль A_1 к специальным соплам D_A первой ступени или, как изображено на фиг. 38 пунктирной линией, через вентиль A_2 к любой промежуточной ступени Т. Аккумулятор может заряжаться до тех пор, пока его давление почти не сравняется с давлением свежего пара; разряжаться он может до давления 1,5 *atm* абс.; т. о. аккумулирующая способность его очень велика. Т., работающие по такой схеме, в значительном количестве установлены на электростанциях с сильно колеблющейся нагрузкой, в особенности на станциях, обслуживающих электрич. тягу.

Фиг. 37.



Фиг. 38.

Детали паровых Т. Паропроводы. Трубопроводы для подвода пара к Т., для перепуска из одного корпуса в другой и для отработанного пара должны иметь достаточное сечение, чтобы скорость не была чрезмерно велика. Большая скорость пара обусловливает большие потери давления и понижает экономичность. Хотя с увеличением поперечного сечения труб уменьшается скорость пара и потери давления, но увеличивается теплоотдача наружу, вес и цена. Т. о. в каждом отдельном случае м. б. установлен экономически наиболее выгодный диаметр. Практически установлены следующие скорости: в подводящем трубопро-

воде Т. высокого давления 20—40 *м/ск*, в подводящем трубопроводе Т. мятого пара, в трубопроводе для отбора пара в Т. с противодавлением, а также и в обводных трубах между корпусами 40—60 *м/ск*, в патрубках к конденсатору 80—120 *м/ск*. В нек-рых случаях однако приходится допускать более высокие значения, например если максимальная скорость носит кратковременный характер и если наибольшее значение скорости обусловливает экономичность работы при небольших расходах пара. Трубопроводы для пара высокой температуры должны иметь хорошую изоляцию. Вентили, устанавливаемые на трубопроводах, должны соответствовать следующим требованиям: они не должны иметь пропуска пара при полном закрытии, при полном открытии должны иметь минимальную потерю давления. В качестве вентилей применимы гл. образом тарельчатые и двухседельные. Тарельчатые вентили дают плотное закрытие клапана и вследствие простой конструкции имеют малые потери давления, однако требуют значительного усилия при открывании; поэтому они применяются главным образом для управления от руки. Для уменьшения усилия при открытии устраиваются малые вспомогательные (разгрузочные) клапаны, открывающиеся ранее главных. При двухседельных вентилях усилие, необходимое для открывания, зависит от разницы диаметров обоих седел. Вместо вентилей иногда применяются также задвижки. Назначение сопел состоит в том, чтобы с возможно малыми потерями превращать потенциальную энергию пара путем расширения в кинетическую. На основании ур-ий (29) и (35) кпд ступени зависит в значительной мере от произведения $\varphi \cos \alpha$. Поэтому при определении размеров сопел следует обращать внимание на то, чтобы это произведение было возможно больше. При этом не следует забывать, что φ также зависит от α. Поэтому произведение $\varphi \cos \alpha$ имеет при определенном значении α максимум, различный в каждом отдельном случае и не поддающийся точному вычислению; величина его м. б. определена только на основании опыта. Сечение входного отверстия сопла д. б. выбрано т. о., чтобы поступающий пар мог входить без изменения направления (без удара), без сжатия и повторного расширения в изгибах канала. Изгиб не должен быть слишком резок и уширение гл. обр. должно происходить только за местом изгиба. Путь, проходимый паром со скоростью, полученной при расширении, д. б. по возможности мал. Стенки (перегородки) между отдельными каналами одной и той же ступени не д. б. у выходной стороны слишком толсты. Аксиальная строительная длина сопел зависит в камерных ступенях от ширины втулок рабочих колес; наибольшая величина получается при рабочих колесах, насаженных на вал (фиг. 28); напротив, если рабочие колеса составляют одно целое с валом, то строительная длина оказывается меньше (фиг. 34, части высокого давления). Наименьшая аксиальная длина м. б. при барабанном роторе (фиг. 29). Шаг лопаток, равный длине окружности, разделенной на число каналов, должен быть настолько большим, насколько это допустимо в отношении аксиальной строительной длины канала без излишнего уменьшения радиуса кривизны; число расположенных по окружности сопел д. б. по возможности небольшое. При этом однако следует обратить внимание, чтобы дуга подвода пара не была слишком велика, т. к. это неблагоприятно влияет на течение пара от направляющих к рабочим лопаткам. Для ступеней высокого давления следует также иметь в виду, что ширина сопла b_2 (фиг. 13) не д. б. больше радиальной высоты L_d. Аксиальный зазор направляющих между аппаратом и рабочими лопатками из экономических соображений не д. б. слишком велик. Чем меньше поперечное сечение канала, тем уже д. б. зазор. Однако ради надежности при эксплоатации зазор должен быть достаточным для избежания задевания рабочих лопаток о диафрагму. При ступенях с парциальным впуском пара с регулированием соплами последние отливаются из чугуна в виде сегментов. Сегменты укрепляются на сопловой коробке, последняя прикрепляется болтами к корпусу в горячем состоянии для того, чтобы в корпусе не могли возникнуть какие-либо односторонние напряжения вследствие нагревания во время работы. При низких $t°$ коробки для сопел м. б. отлиты вместе с корпусом или размещены в диафрагмах (фиг. 34). При ступенях большого диаметра перегородки для направляющих каналов состоят из изогнутых пластин, залитых в тело диафрагм. Т. к. при этом поперечные сечения отдельных каналов оказываются сравнительно велики, то получающиеся при таком способе изготовления неизбежные неточности играют не такую значительную роль, как для каналов с небольшими поперечными сечениями. Поэтому последние часто изготовляют фрезерованными и зажатыми затем кольцами. Относительно сопел и направляющих каналов для ступеней на барабанном роторе и для колеса Кертиса остается в силе все сказанное о рабочих лопатках, строительная длина к-рых (B_s, на фиг. 14) в ступенях с рабочими колесами значительно меньше, чем для направляющих лопаток, а при ступенях на барабанном роторе по большей части длина одинаковая. Вследствие небольшой строительной длины шаг получается небольшой, так что сечение канала оказывается узким, и при активных ступенях значение ψ оказывается ниже, чем значение φ соответствующих сопел. Это однако не имеет большого значения, т. к. влияние ψ на η при активных ступенях составляет только четвертую часть φ. Изменение φ на 1% вызывает изменение η ступени на 2%; наоборот, если ψ изменяется на 1%, то η изменяется только на $^1/_2$%. В отношении материала и конструкции лопатки д. б. выполнены т. о., чтобы они могли выдерживать высокую $t°$, значительную влажность пара и иметь достаточное сопротивление механическим усилиям (центробежной силе и изгибу). При $t°$ свыше 300° они выполняются из нержавеющей хромовой стали или монель-металла, при температуре 200—300°—из 5%-ной никелевой стали, при $t°$ ниже 200°—из латуни, а при влажном паре—из никелевой стали или нержавеющей стали. Лопатки обыкновенно укрепляются на ободе диска, причем они либо охватывают диск (лопатки в форме вилки) либо вставляются в пазы. Лопатки разделяются друг от друга вставками. Длинные лопатки из соображений крепости выполняются с усиленной ножкой без промежуточной вставки. По внешней окружности лопатки скрепляются бандажом или проволокой—закрытые каналы (фиг. 19), открытые каналы (фиг. 22). Открытые каналы б. ч. применяются только при барабанных ступенях.

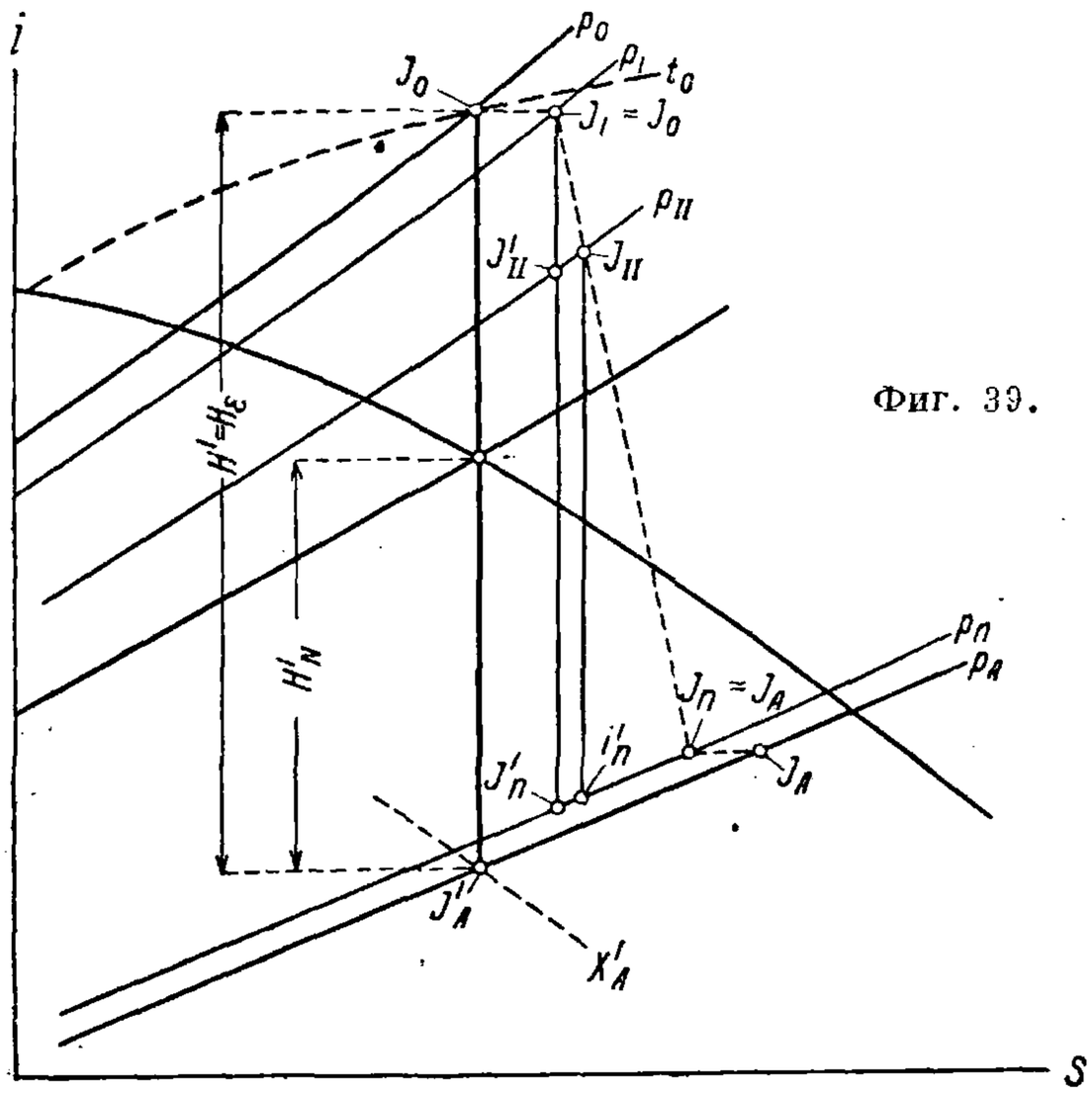
При очень длинных лопатках угол входа струи β_{w_1} значительно меняется от ножки к наружному концу лопатки. Чтобы при этом получить на всей длине лопатки вход пара по возможности без удара, выполняют лопатки с меняющимся входным углом, которые однако вследствие их высокой стоимости м. б. применены только в больших Т. При дисках с парциальным впуском пара в той части окружности, где впуск пара не производится, для уменьшения потерь на вентиляцию устраивается жолоб или кожух, охватывающий диск кольцевой покрышкой (фиг. 32, 34, 37). Сальники имеют своим назначением уменьшать утечку вследствие неплотностей. В местах прохода вала через кожух в зазор между неподвижными и вращающимися частями протекает пар из камеры с более высоким давлением в камеру с более низким давлением, не производя при этом никакой работы. Это вызывает, с одной стороны, утечку пара, а, с другой стороны, потери вследствие торможения, т. к. этот пар должен получать ускорение от рабочего пара. Для возможного уменьшения этих потерь утечка д. б. сведена к минимуму путем устройства лабиринтовых уплотнений. Вследствие большой скорости соприкосновение между движущимися и неподвижными частями не должно иметь места; поэтому для Т. неприменима набивка, употребляемая в поршневых машинах. Лабиринтовые уплотнения состоят из ряда чередующихся пространств переменного сечения. Они устанавливаются в передней и задней крышке, а также и в промежуточных диафрагмах, причем наружные уплотнения содержат большее число лабиринтовых камер, чем внутренние. Пар, проникший через наружное уплотнение части Т. высокого давления, м. б. подведен к наружному уплотнению на стороне низкого давления. В случае недостатка добавляется нек-рое количество свежего пара для избежания проникновения наружного воздуха в Т. и связанного с этим понижения вакуума. Наружные уплотнения выполняются иногда с угольными кольцами (фиг. 33). Уплотнения этого рода дают удовлетворительные результаты, но требуют более тщательного ухода. Кроме того применяется водяное (гидравлическое) уплотнение, к-рое представляет полную непроницаемость, но требует на себя затраты известной мощности Т. Это уплотнение состоит из лопастного колеса, насаженного на вал и вращающегося в кольцевой выточке стенки кожуха. Вода под давлением подводится к центру колеса и под влиянием центробежной силы отбрасывается к окружности его, образуя кольцо, запирающее выход пара из Т. и доступ атмосферного воздуха извне.

С т а т о р. Кожух и диафрагмы при аксиальных Т. обычно выполняются разъемными по горизонтальной плоскости. При этом следует обращать внимание на тщательное уплотнение в местах соединения обеих половин кожуха, чтобы избежать перетекания пара от одной ступени к другой. При очень высоких давлениях и малых диаметрах корпус выполняется неразъемным (часть высокого давления на фиг. 35). Промежуточные диафрагмы делают вставными в корпус. На фиг. 33 изображена Т., у к-рой части диафрагмы трех первых ступеней отлиты вместе с верхней частью кожуха. Материалом служит чугун или, при высоких давлениях, стальное литье, иногда также кованая сталь, как например в части высокого давления Т. (фиг. 35). При конструктивной разработке следует обращать особое внимание на переднюю и заднюю крышки вследствие их несимметричной формы. Часть кожуха при больших Т. со стороны отработанного пара должна укрепляться ребрами. Иногда применяются направляющие перегородки (фиг. 31, 34, 37) для получения лучшего направления потока отработавшего пара к конденсатору и уменьшения падения давления от выхода пара из последнего колеса до конденсатора; однако сомнительно, чтобы это давало реальную пользу. Подшипники Т. можно разделить на подшипники опорные осевые и упорные для восприятия аксиального давления (сдвига). Оба типа вследствие большого числа оборотов выполняются как скользящие подшипники и основаны на том принципе, что масло, воспринимающее давление, образует клинообразный слой между поверхностями давления. Опорные подшипники рассчитываются на среднее давление на поверхности до 10 *кг/см²* и при окружной скорости до 40 *м/сек*. Отношение длины к диаметру лежит по большей части в пределах 1,5—2, но принимают также и меньшее, напр. 0,65 (фиг. 35). Смазочное масло подводится к подшипникам посредством масляного насоса; нагретое до $t°$ не выше 75° масло стекает из подшипников в маслоохладитель, в котором оно охлаждается примерно до 40°. Оттуда оно забирается масляным насосом и снова поступает под давлением в подшипники. Зазор между шейкой вала и отверстием подшипника составляет ок. $^1/_{1000}$ диаметра. Упорные подшипники б. ч. имеют вкладыши, составляющие одно целое с вкладышами опорных подшипников, и выполняются по конструкции Мичелля. Они в состоянии воспринимать весьма значительные осевые давления. Среднее давление на единицу поверхности м. б. доведено до 30 *кг/см²*.

Ротор может быть дискового, барабанного или комбинированного типа. Валы отковываются из сименс-мартеновской стали, а при высоких напряжениях также из никелевой стали. Диаметр вала почти всегда определяется по критическому числу оборотов. В зависимости от конструкции ступеней вращающиеся части, предназначаемые для установки лопаток, выполняются в виде дисков или барабанов. При больших диаметрах диски насаживаются на вал в горячем состоянии (фиг. 28), при малых диаметрах диски отковываются из одного куска вместе с валом (фиг. 33—35). Следует по возможности избегать отверстий в дисках для выравнивания разностей давлений, т. к. они часто являются причиною поломок, вызываемых колебаниями. С другой стороны, отсутствие указанных отверстий часто ведет к большим превышениям давления и большому осевому сдвигу, в особенности если каналы лопаток имеют слишком малое поперечное сечение или же оказываются суженными вследствие отложения накипи или повреждения лопаток. Барабаны (фиг. 29, 31) применяются гл. обр. при реактивных ступенях, реже при активных. В последних ступенях конденсационных Т. барабаны состоят часто из отдельных колес (фиг. 29, 31), так что подобное расположение имеет вид группы дисков без промежуточных диафрагм. Вследствие низкого давления пара осевой сдвиг несмотря на большие поверхности незначителен. В части высокого давления барабаны выполняются с постоянным увеличением диаметра по направлению движения

пара. Длина лопаток при этом также остается постоянной или несколько увеличивается. Осевой сдвиг уравновешивается разгрузочным поршнем или упорными подшипниками или по принципу противотока двух последовательно или параллельно включенных групп ступеней (фиг. 29 и 31). Муфты выполняются жесткими или эластичными. Жесткие муфты требуют очень точной установки подшипников. Если при соединении валов возможно их относительное перемещение, следует применять эластичные муфты.

Экономичность работы. Потери, кпд, расход пара. Обозначим через p_0 начальное давление, t_0 начальную темп-ру, I_0—соответствующее теплосодержание в Cal, c_0—скорость поступающего пара, $H_0 = c_0^2/8\,380$—энергию поступающего пара и через p_A—противодавление в Т. Падение теплосодержания при адиабатич. расширении (фиг. 39) равно:



Фиг. 39.

$$H_\varepsilon = I_0 - I'_A,$$

а располагаемую энергию $H' = H_0 + H_\varepsilon$. Энергия поступающего пара H_0 в большинстве случаев настолько мала, что ею можно пренебречь, поэтому $H' \cong H_\varepsilon$. Уд. расход пара Т., работающей без потерь, составляет

$$D' = 860/H' \text{ кг/kWh},$$
$$D' = 632{,}3/H' \text{ кг/HP час.}$$

Если D_e—действительный уд. расход, отнесенный к эффективной мощности N_e на муфте, то термодинамич. кпд Т.

$$\eta_e = \frac{D'}{D_e}.$$

Если бы кроме внутренних потерь потока пара (потерь в соплах и лопатках) иных потерь не было, то мы имели бы

$$\eta_e = \frac{\Sigma h_\varepsilon \cdot \eta_\varepsilon}{H'}.$$

В действительности же имеется целый ряд других потерь, которые понижают кпд. Сюда относятся гл. обр. теплоотдача во внешнюю среду, трение колес, неплотности, потери давления в паропроводах, механические потери (подшипники, масляный насос, регулирующие устройства) и затрата энергии на вспомогательные насосы для конденсации. Эти потери частью являются невозвратимыми для рабочего процесса, частью же вновь переходят в полезную энергию. К невозвратным потерям относятся: отдача тепла во внешнюю среду, механич. потери, расход энергии на вспомогательные насосы и утечка через неплотности. Отдача тепла наружу играет заметную роль только при Т. очень малой мощности, для Т. средней и большой мощности ею можно пренебречь. Механич. потери м. б. установлены примерно по ур-ию

$$N_{me} \cong 0{,}4\sqrt[3]{N_e^2} \text{ kW}, \qquad (39)$$

где нормальная мощность $N_e = 1\,000$ kW. Расход энергии на вспомогательные насосы определяется главным образом по количеству и по требуемому напору для охлаждающей воды; при получении воды из реки или озера расход энергии составляет 1,5—2%, а при циркуляционной системе 3—4% нормальной мощности Т. При этом следует еще иметь в виду тип привода вспомогательных насосов и связанные с ним потери. К невозвратимым потерям относится расход пара на утечку через внешние лабиринтовые уплотнения Т. в окружающее пространство или отводимый в конденсатор, далее расход на т. н. запорный пар для лабиринтовых уплотнений в конденсационных Т. К потерям, которые частично вновь преобразуются в полезную энергию, относятся: часть потерь через неплотности, трение колес, внутренние потери потока пара и потери давления в подводящих трубопроводах, обводных трубах и регулирующих вентилях. Пар, протекающий через зазоры от одной ступени к другой, затем подводимый к внешнему лабиринтовому уплотнению со стороны высокого давления, используется еще в одной или нескольких ступенях. Работа на трение колес м. б. учтена или по ф-ле Стодола

$$N_R \cong (m_1 \cdot d + m_2 L^{1,5}) d^4 \left(\frac{n}{1\,000}\right)^3 \cdot \gamma \text{kW}, \qquad (40)$$

где $m_1 \cong 0{,}155$ и $m_2 = 88$, или по ф-ле Форнера

$$N_R \cong m \cdot d^4 \cdot L \cdot \left(\frac{n}{1\,000}\right)^3 \cdot \gamma \text{kW}. \qquad (41)$$

Обе ф-лы относятся к открытому диску, причем d обозначает средний диаметр в $м$, L—среднюю длину лопаток в $м$ и γ—уд. вес пара в $кг/м^3$. Ф-ла Стодола действительна только для одновенечных колес, а ур-ие (41) также для многовенечных колес Кертиса с длиною лопаток $L = 0{,}01 \div 0{,}1$ $м$; при дисках с числом венцов 1, 2, 3, 4 следует подставлять значения $m = 17{,}6$; 20,6; 28,0; 42,5, причем L представляет среднюю длину из наиболее короткой и наиболее длинной лопаток; m_2 и m при возрастающей величине впуска пара постепенно уменьшаются, а при полном напуске почти равны нулю. Применение кожуха на той части рабочих лопаток, где не происходит впуск пара, понижает коэф-ты m_2 и m. Отсюда следует, что трение колес имеет значение только в части высокого давления при парциальном впуске пара. Во всех остальных ступенях значением N_R обычно можно пренебречь. Однако все эти потери м. б. подсчитаны с такою же малой степенью точности, как и внутренние потери относительно потока пара. Вследствие этого невозможно точно определить путем расчета кпд Т. по заданным размерам. Однако, пользуясь данными испытаний в отношении построенных Т. одинаковых размеров, при одинаковых условиях работы полезно дать себе отчет, какой кпд должен быть для определен-

ной турбины. Формулы, выведенные с этой целью, могут конечно рассматриваться только как эмпирические.

Термодинамич. кпд Т. с единым потоком пара может быть определен по Форнеру следующим приближенным ур-ием:

$$\eta_e = \eta_m \cdot \eta'_x \cdot \eta'_v \cdot \eta'_a \cdot \eta'_N \cdot \eta'_V. \quad (42)$$

Значения от η'_x до η'_N являются факторами, учитывающими влияние различных условий работы, и при идеальных условиях в пределе м. б. равны 1; η_m—предельный кпд, при всех остальных влияющих факторах, равных 1. Однако в действительности η_e никогда не м. б. равно η_m, т. к. единице м. б. равны только η'_x и η'_v, в то время как остальные факторы всегда меньше 1. Указанные факторы м. б. получены из нижеследующих ур-ий при обозначениях согласно фиг. 39:

$$\eta'_x = 1 - \frac{H'_N}{H'} \cdot \frac{1-x'_A}{2}, \quad (43)$$

$$\eta'_v = \frac{v^2\left\{\sqrt{1+\frac{0{,}3352[1{,}058+0{,}3(0{,}65-v)^2]}{v^2}}-1{,}013\right\}}{0{,}133}, \quad (44)$$

$$v = \frac{\sqrt{\Sigma u^2}}{91{,}53\sqrt{H'}}, \quad (45)$$

где Σu^2—сумма квадратов окружных скоростей всех насаженных последовательно друг за другом рабочих колес в $м^2/ск^2$.

$$\eta'_a = 1 - \zeta_a,$$

$$\zeta_a = \frac{c_a^2}{8380H'}, \quad (46)$$

$$c_a = \frac{G \cdot v'_A}{d_n \cdot \pi \cdot L_n}\ м/ск,$$

где v'_A—соответствующий p_A и x'_A—уд. объем $м^3/кг$, d_n—средний диаметр и L_n—длина лопаток последнего рабочего колеса в $м$.

$$\eta'_V = \frac{V_m}{V_m+0{,}1}, \quad (47)$$

$$V_m = \sqrt{V_0 \cdot V_A}\ м^3/ск,$$

где V_0—начальный секундный объем в $м^3/ск$, V_A—конечный объем в $м^3/ск$;

$$\eta'_N = \frac{N_e}{N_e+75} \quad (48)$$

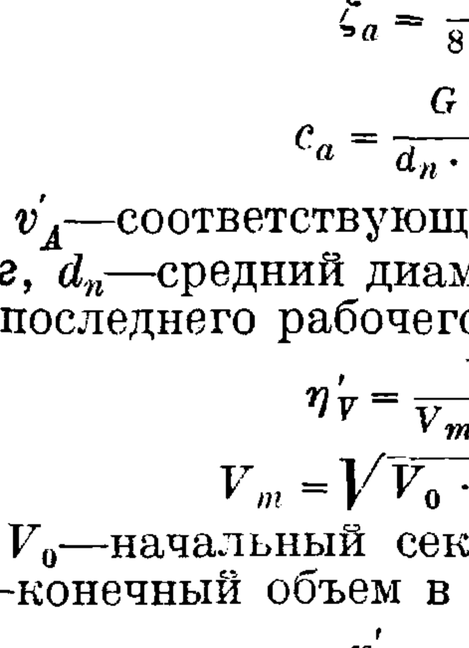
(N_e—мощность на муфте Т. в kW). При этом расход энергии на конденсацию еще не учтен в мощности Т. На основании многочисленных измерений расхода пара в различных условиях работы м. б. принято

$$\eta_m = 0{,}90 \pm 1\% \quad (49)$$

при конденсационных Т.,

$$\eta_m = 0{,}886 \pm 2{,}25\% \quad (50)$$

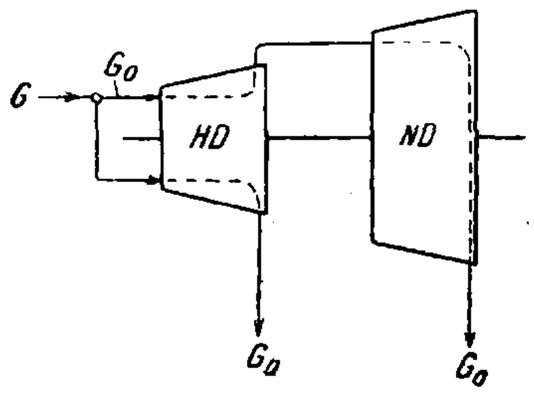
при Т. с противодавлением при полной нагрузке и при пользовании энтропийной диаграммой Стодола; при пользовании же другими энтропийными диаграммами получаются несколько иные результаты. Ур-ия м. б. применимы с достаточной точностью при следующих предельных значениях: $p_0 = 10 \div 33\ atm$ абс., $t_0 = 230 \div 400°$, $p_A = 0{,}02 \div 0{,}1\ atm$ абс. (при конденсационных турбинах), $p_A = 1{,}5 \div 6{,}5\ atm$ абс. (при Т. с противодавлением); $v = 0{,}3 \div 0{,}6$; $\zeta_a = 0{,}5 \div 4\%$ (при конденсационных турбинах); $\zeta_a < 0{,}5\%$ (при Т. с противодавлением); $N_e > 80\ p_0$ kW (при конденсационных Т.); $N_e > 60\ p_0$ kW (при Т. с противодавлением) при условии, что режим работы не слишком отличается от того, для которого построена Т. На фиг. 40 нанесено η'_v в зависимости от v согласно ур-ию (44). При неполных нагрузках к подсчитанному т. о. расходу пара следует добавок $\Delta D\%$. Если λ—отношение неполной нагрузки к полной, то приближенно



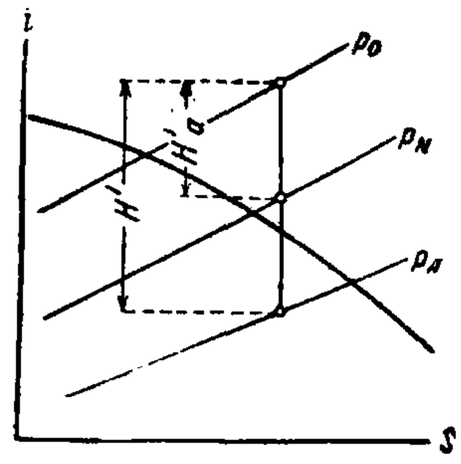
Фиг. 40.

$$\Delta D \cong \delta \frac{1-\lambda}{\lambda}\%. \quad (51)$$

При конденсационных Т. $\delta = 3 \div 6\%$ при количественном регулировании; $\delta = 6 \div 9\%$ при регулировании торможением. В Т. с противодавлением δ значительно больше, и тем более, чем меньше перепад в Т. При регулировании торможением расход пара в Т. с единым потоком пара меняется в зависимости от нагрузки по некоторой плавной кривой, в то время как при количественном регулировании кривая расхода имеет волнообразную форму. Это различие не следует упускать из виду при определении расхода пара.

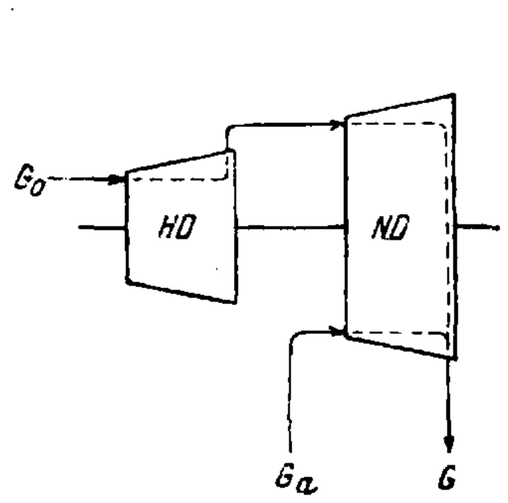


Фиг. 41.

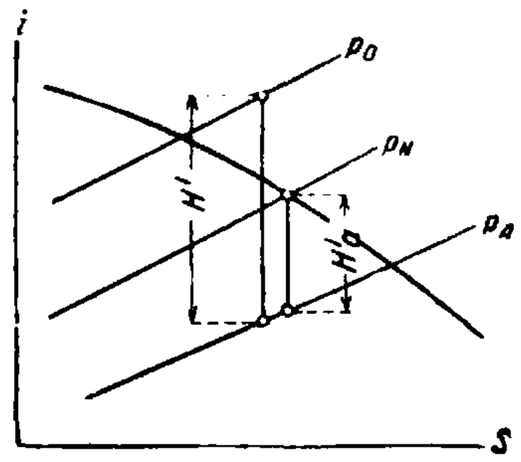


Фиг. 42.

Кпд многопоточных Т. не может быть выражен таким же образом, как для Т. с единым потоком пара, т. к. отдельные участки Т. работают при различных расходах. На фиг. 41 и 43 схематически представлена Т. с одним отъемом пара и Т. двойного давления; соответствующие диаграммы изображены на фиг. 42 и 44.



Фиг. 43.



Фиг. 44.

Полный расход пара составляет G $кг/ч$. Частичное количество пара G_0 работает во всех ступенях Т. с использованием перепада H', в то время как количество пара G_a (количество отъемного пара или подвод мятого пара)—только в части ступеней с использованием перепада H'_a. При этом имеем для мощности Т., работающей без потерь,

$$N' = \frac{G_0 \cdot H' + G_a \cdot H'_a}{860} = \frac{GH' - G_a(H' - H'_a)}{860}\ (\text{kW})$$

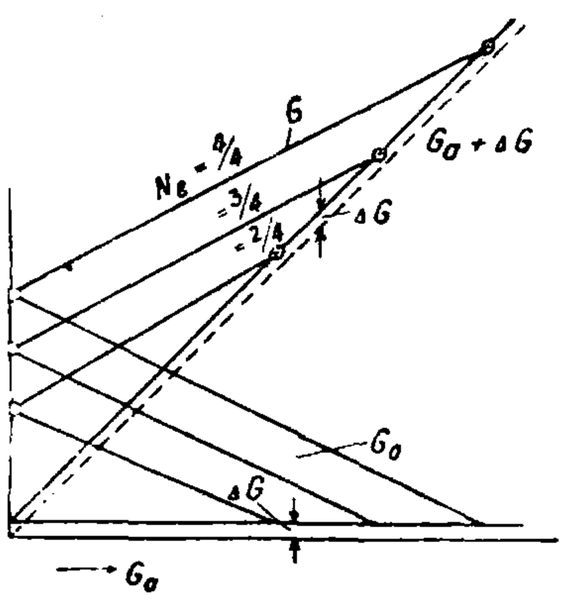
и общий термодинамический кпд

$$\eta_e = \frac{860N_e}{GH' - G_a(H' - H'_a)}. \quad (52)$$

Если имеется несколько мест отбора пара или подвода мятого пара, то

$$\eta_e = \frac{860N_e}{GH' - \Sigma[(H' - H'_a)G_a]}; \quad (52a)$$

η_c—всегда ниже, чем кпд Т. с единым потоком пара одинаковой мощности и при прочих одинаковых условиях работы. Понижение кпд зависит от того, что отдельные участки Т. работают с сильно меняющимся расходом пара, в то время как экономичность работы возможна только в определенных, довольно узких пределах расхода пара. Кроме того промежуточное регулирование вызывает потерю на торможение, к-рая тем выше, чем большее количество пара протекает через часть низкого давления. Кпд зависит еще от потерь на неплотности и потерь от трения дисков, к-рые имеют тем большее значение, чем больше значение G_a. Кривая расхода пара двухпоточной Т. представлена на фиг. 45. ΔG представляет расход пара на утечку или расход запорного пара. В конденсационных Т. с отъемом ΔG представляет собою расход пара на утечку через наружные лабиринтовые уплотнения, отводимого в конденсатор, далее расход пара на утечку через промежуточные уплотнения в части низкого давления и подводимого к заднему лабиринтовому уплотнению в качестве запорного пара. В Т. с отъемом пара и с противодавлением ΔG представляет собою расход пара на утечку для всех наружных лабиринтовых уплотнений. Для Т. двух давлений ΔG представляет собою расход пара на утечку или расход запорного пара для переднего лабиринтового уплотнения и расход запорного пара для заднего лабиринтового уплотнения. Для построения этих кривых вычисляют предварительно по ур-иям (42) и (51) расход пара при $G_a = 0$ и при различных нагрузках. Найденные значения необходимо повысить на несколько % (точки ⊙ на фиг. 45). Таким же методом подсчитывается расход пара для Т. с противодавлением или для Т., работающих мятым паром, причем к этому расходу добавляется принятый ориентировочно или вычисленный по размерам уплотнений расход пара ΔG (точки ⊗ на фиг. 45). Точки, соответствующие одинаковым нагрузкам, соединяются прямыми линиями. Эти линии в действительности являются слегка изогнутыми кривыми, которые при количественном регулировании принимают форму слегка волнообразную.



Фиг. 45.

Термич. кпд паровой установки показывает, какое количество затраченного тепла превращено в полезную работу. Обозначим через i_k теплосодержание 1 *кг* питательной воды, поступающей в котел, I_k—теплосодержание пара, выходящего из котла, и через η_{ke}—кпд котла. Удельный расход тепла составляет

$$W_e = \frac{D_e \cdot (I_k - i_k)}{\eta_{ke}} \text{ Cal/kWh}, \qquad (53)$$

а термический кпд установки

$$\eta_{th} = \frac{860}{W_e} = \frac{N_e \cdot 860 \cdot \eta_{ke}}{G(I_k - i_k)}. \qquad (54)$$

Для Т. с противодавлением и с отъемом пара кроме мощности Т. N_e следует принять за полезную мощность также расход тепла в нагревательной системе. Поэтому вместо $860\ N_e$ следует взять для Т. с противодавлением $860\ N_e + G \cdot \Delta i$; для Т. с отъемом пара $860\ N_e + \Sigma(G_a \cdot \Delta i)$. Здесь Δi представляет разность значений теплосодержания отъемного пара до и после нагревательной системы.

Испытание Т. в отношении расхода пара. Испытание паровых Т. может преследовать разные цели: 1) выполнение данных гарантий, 2) определение расхода пара при изменяющемся режиме работы и 3) изучение специальных вопросов работы Т. научного характера. Наименее простые (гарантийные) испытания представляют весьма сложную задачу, особенно для крупных турбин. Основной целью гарантийных испытаний является определение расхода пара на единицу мощности. Заказчик Т. должен уже при заказе представить программу предстоящих испытаний и измерений, должен указать применяемые измерительные приборы, места их установки, чем необходимые присоединения должны бы... выполнены таким образом, чтобы инструменты могли легко устанавливаться и сниматься, не нарушая работы Т.

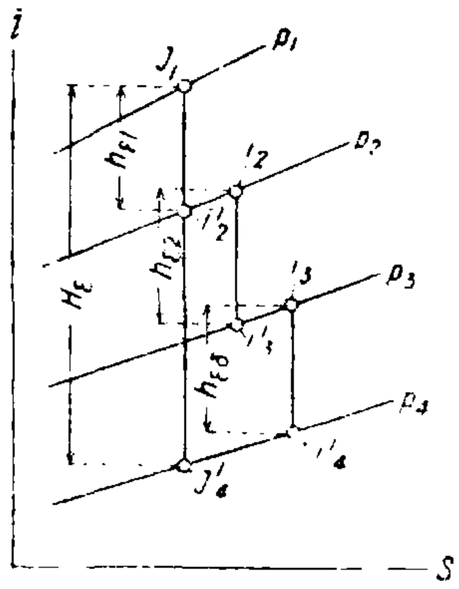
Мероприятия для повышения экономичности работы. Подогрев конденсата отработанным или отъемным паром. В прежнее время конденсат подогревался в экономайзере отходящими газами котла, в последние годы перешли к подогреву отходящими газами воздуха, необходимого для процесса горения в топке котла, а для подогрева конденсата—к применению поступающего от Т. отработанного пара низкого давления. Этот способ имеет то преимущество, что термический кпд установки повышается. При этом для подогрева применяют либо отработавший пар от вспомогательной конденсационной Т. либо от специальной небольшой Т. (Т. собственных нужд). Далее, для предварительного подогрева применяют отъемный пар от главной Т. Это имеет преимущество в отношении улучшения термодинамич. кпд главной Т., обусловленного тем, что расход пара в части высокого давления больше, а в части низкого давления меньше по сравнению с Т. без отъема пара. Благодаря увеличению расхода пара высокого давления короткие лопатки в этой части Т. могут быть удлинены, а уменьшение расхода пара низкого давления ведет к укорочению длинных лопаток в этой части Т. Теоретически всего выгоднее было бы отбирать пар от каждой ступени Т., однако практически удовлетворяются максимум двумя-тремя местами отбора, причем пар отбирается от соответствующих ступеней без принятого для Т. с отбором пара промежуточного регулирующего устройства.

Повышение давления пара и его $t°$. Т. к. при повышении начального давления и начальной $t°$ перепад тепла становится больше, то стремятся применять высокое начальное давление (свыше даже 100 *atm*) и высокую $t°$ пара (до 500°). Однако высокое начальное давление приводит к тому, что конечный пункт расширения оказывается в области насыщенного пара, что ухудшает кпд Т. Далее, с повышением давления возрастают капитальные затраты на котлы и Т. Т. о. имеется нек-рое наиболее экономичное высокое давление, определяемое в каждом случае отдельно. При переводе существующих паровых установок на высшее давление часто поступают т. о., что перед имеющейся установкой включают установку для этого давления. Пар из котлов высо-

кого давления проходит через предвключенную турбину (форшальтурбину), где расширяется до давления, соответствующего котлам низкого давления. Паропроизводительность котлов высокого давления при этом держится по возможности постоянной и служит для покрытия основной нагрузки. Пики нагрузки покрываются за счет пара низкого давления. Т. о. подобная установка работает при двух давлениях.

Промежуточный перегрев пара. Обусловленное повышением давления свежего пара увеличение влажности в части низкого давления конденсационных Т. вызывает кроме ухудшения кпд еще и укорочение срока службы лопаток. Во избежание этих недостатков рекомендуется применять промежуточный перегрев пара. При этом пар части высокого давления определенной влажности проходит через подогреватель, где после высушивания и перегрева направляется в часть низкого давления. Перегрев может осуществляться за счет отходящих газов или же за счет конденсации свежего пара. Перегрев отходящими газами оказывается более интенсивным, однако требует сложного регулирования и является опасным в отношении перегорания трубок перегревателя. Кроме того необходимы длинные трубопроводы от турбины к перегревателю и обратно. Вследствие падения давления пара в этих паропроводах теряется часть экономии, получаемой от промежуточного перегрева. Перегрев за счет конденсации свежего пара менее интенсивен, т. к. при этом перегреваемый пар м. б. доведен не свыше как до $t°$ обогревающего пара; вследствие незначительной разницы $t°$ необходимо иметь большие поверхности нагрева. Однако последний метод более надежен для работы, т. к. устранена опасность перегорания трубок перегревателя. В общем оказывается, что в большинстве случаев экономич. эффект незначителен. Тем не менее преимуществом является устранение (или по крайней мере уменьшение) коррозии лопаток. Промежуточный перегрев целесообразен только при давлении пара свыше 50 *atm*.

Расчет паровых Т. Сначала определяют по предварительному расчету главные размеры: сечения каналов для подвода и отвода пара, число ступеней, диаметр дисков и приблизительную длину лопаток. Затем приступают к разработке проекта Т. и производят расчет по механическим признакам: критич. числа оборотов, прочность, наличие колебаний. Если при этом некоторые размеры окажутся недопустимыми, то предварительный расчет д. б. повторен при соответствующем изменении размеров. Лишь после этого возможно приступить к установлению точных размеров отдельных ступеней. Поперечные сечения каналов для подвода и отвода пара определяют из уравнения неразрывности. Для определения диаметров и числа ступеней имеет значение явление, называемое регенерированием тепла. На фигуре 46 изображена i—s-диаграмма трехступенчатой турбины, в которой пар расширяется от состояния p_1, I_1—до состояния p_4. Перепад тепла в турбине $H_\varepsilon = I_1 - I'_4$. В первой ступени пар расширяется



Фиг. 46.

от состояния I_1 до давления p_2, причем перепад для ступени $h_{\varepsilon 1} = I_1 - i'_2$. Пусть кпд ступени равен η_1. В таком случае потеря в ступени $z_1 = h_{\varepsilon 1}(1-\eta_1)$ и начальное состояние второй ступени $i_2 = i'_2 + z_1$. Во второй ступени пар расширяется от состояния i_2 до давления p_3, причем перепад в ступени $h_{\varepsilon 2} = i_2 - i'_3$. При кпд ступени η_2 получаются начальное состояние в третьей ступени $i_3 = i'_3 + h_{z2}(1-\eta_2)$ и соответствующий перепад $h_{\varepsilon 3} = i_3 - i'_4$. Так как изобары в диаграмме i—s не параллельны, то сумма падений в ступенях Σh_1 больше, чем H_ε, а именно:

$$\Sigma h_\varepsilon = H_\varepsilon (1 + \varrho). \qquad (55)$$

Фактор ϱ, называемый коэфициентом регенерации (reheat factor), тем больше, чем больше число ступеней и чем меньше кпд ступени. Для бесконечно большого числа ступеней Σh_ε может быть вычислена приближенно, если известен кпд, например по фиг. 49 для части высокого давления

$$\Sigma h_{\varepsilon H} \cong 0{,}5\,(H'_H + H''_H) \qquad (55a)$$

и

$$\varrho_\infty = \frac{\Sigma h_{\varepsilon H}}{H'_H} \cong 0{,}5\,\left(1 + \frac{H''_H}{H'_H}\right). \qquad (55b)$$

При конечном числе z ступеней имеем $\varrho < \varrho_\infty$, а именно

$$\frac{\varrho}{\varrho_\infty} \cong \frac{[1 + 4r(1-r)]\cdot z - 1}{[1 + 4r(1-r)]\cdot z}. \qquad (55c)$$

При ступенях равного давления коэф. реактивности $r=0$, а поэтому

$$\frac{\varrho}{\varrho_\infty} \cong \frac{z-1}{z}. \qquad (55d)$$

Если все ступени имеют одинаковый кпд η_ε, то кпд Т.

$$\eta_T = \eta_\varepsilon\,(1 + \varrho). \qquad (56)$$

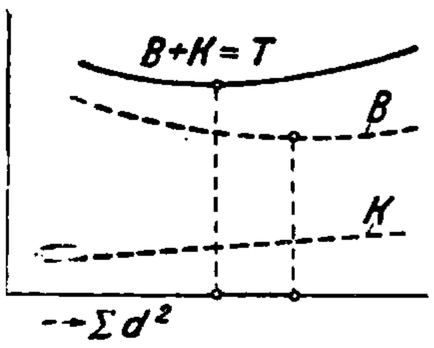
Т. о. кпд Т. выше кпд ступени. Регенерация потерь от ступени к ступени становится меньше и для последних ступеней равна 0. Поэтому пониженный кпд первых ступеней не имеет большого значения, и наибольшее внимание следует обращать на возможно лучший кпд последних ступеней.

Подразделение перепадов в Т. с единым потоком пара. В зависимости от производственных условий характеризующими факторами для Т. служат: p_0, t_0, p_A, N_e и n. Имея эти данные, можно получить H' и $D' = 860/H'$. Кпд η_e и расход пара D_e определяются для различных значений ν по ур-ию (42); при этом предварительно задаются значением η'_a (0,98—0,99). Каждому значению ν соответствует значение

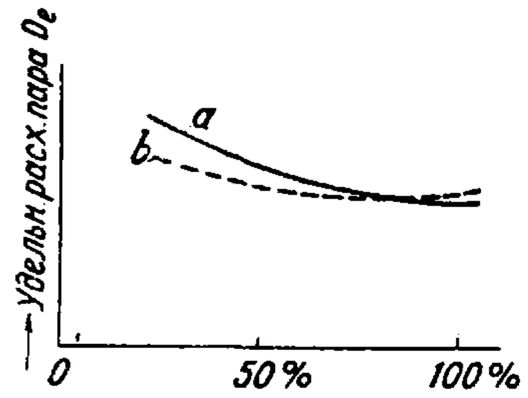
$$\Sigma d^2 = 3{,}06 \cdot 10^6 \cdot H' \frac{r^2}{n^2}. \qquad (57)$$

По D_e и годовому расходу энергии в kWh определяется годовой расход пара. Годовые затраты на горючее B м. б. определены по кпд котельной и стоимости топлива, причем величина B практически пропорциональна расходу пара D_e. На фиг. 47 нанесено B в зависимости от Σd^2. Кривая имеет минимум при определенном значении Σd^2. Однако этот минимум не соответствует наибольшей экономичности, т. к. кроме стоимости топлива д. б. учтены капитальные затраты K, т. е. необходимо принять во внимание проценты на амортизацию Т. Цена Т., а вместе с ней и капитальные затраты K растут почти по прямой линии в зависимости от Σd^2. На фиг. 47 нанесены кривая K, а также полная годовая стоимость $T = B + K$. Минимум этой

кривой получается при меньших значениях Σd^2, чем минимум для кривой B или D_e. Когда выбрано определенное значение Σd^2, то м. б. найдено Σu^2, v, η_e, D_e и G. Механич. кпд Т. η_{me} м. б. определен по ур-ию (39), приняв внутренний кпд $\eta_i = \eta_e : \eta_{me}$ и конечное состояние пара $I_A = I_0 - H' \cdot \eta_i$ (фиг. 39). Давление p_1 перед соплами первой ступени вследствие падения давления, вызванного торможением при входе пара в Т., меньше p_0, причем $I_i \cong I_0$. Среднее противодавление p_n за последним рабочим венцом следует принимать несколько выше, чем p_A, т. к. от выхода из последнего венца до выхода из Т. имеет место падение давления. Соответствующий p_n уд. объем v_n берется из таблицы i—s (фиг. 39), причем следует принимать $I_n = I_A$. Выбор системы регулирования зависит от рода нагрузки. Если Т. предназначается для длительной работы при приблизительно полной нагрузке, то достаточно применить регу-



Фиг. 47.



Фиг. 48.

лирование торможением; если же Т. работает с сильно меняющейся нагрузкой, то более экономичным оказывается количественное регулирование. Для подразделения перепада необходимо знать среднее характеристич. число $v_{\varepsilon m}$. Если Т. имеет только одновенцовые ступени и работает при регулировке торможением, то сумма перепадов при расширении (фиг. 39)

$$\Sigma h_\varepsilon = (1 + \varrho) \cdot (I_1 - I'_n) \qquad (58)$$

и

$$v_{\varepsilon_m} = \frac{\sqrt{\Sigma u^2}}{91{,}53\sqrt{\Sigma h}}. \qquad (59)$$

При количественном регулировании первая ступень (часть I) выполняется, как активная или как колесо Кертиса. Обозначим: d_{I}—диам., k_{I}—число венцов, η_{I}—кпд регулируемой ступени и p_{II}—давление за ступенью; в этом случае имеем:

$$\Sigma u_{\text{I}}^2 = k_{\text{I}} \cdot u_{\text{I}}^2 = k_{\text{I}} \frac{\pi d_{\text{I}} n}{60},$$

$$I_{\text{II}} = I'_{\text{II}} + (1 - \eta_{\text{I}}) \cdot (I_{\text{I}} - I'_{\text{II}}),$$

$$H'_{\text{II}} = I_{\text{II}} - i'_n.$$

Отсюда м. б. получено для второй части

$$\Sigma h_{\varepsilon_{\text{II}}} = H'_{\text{II}} \cdot (1 + \varrho_{\text{II}});$$

$$\Sigma u_{\text{II}}^2 = \Sigma u^2 - k_{\text{I}} \cdot u_{\text{I}}^2;$$

$$v_{\varepsilon_{m\text{II}}} = \frac{\sqrt{\Sigma u_{\text{II}}^2}}{91{,}53\sqrt{\Sigma h_{\varepsilon\text{II}}}}. \qquad (60)$$

Определение числа ступеней и диаметра производится различно в зависимости от того, выполняется ли Т. во второй части, как активная или реактивная.

Активные Т. Потеря при выходе ζ_a, обусловливающая в значительной мере кпд турбины, зависит от размеров последних ступеней, к-рые поэтому д. б. определены в первую очередь. При выборе величины ζ_a исходят из нагрузки, к-рая дает наиболее экономичную работу Т. Если Т. должна работать длительно или гл. обр. при полной нагрузке, то ζ_a следует брать возможно меньше (1—2% при конденсационных Т.); в этом случае удельный расход пара D_e меняется при переменной нагрузке аналогично кривой a (фиг. 48), данной без масштаба. Если же Т. работает при сильно меняющейся нагрузке, то ζ_a при полной нагрузке можно брать больше; так как при уменьшающейся нагрузке ζ_a уменьшается, то D_e меняется согласно кривой b на фиг. 48. Эти соображения должны лечь в основу выбора ζ_a для расчета последних ступеней. Для средней абсолютной скорости выхода из последнего колеса имеем

$$c_a = 91{,}53\sqrt{\zeta_a \cdot H'}. \qquad (61)$$

Приближенно для определения диаметра последней ступени можно принять

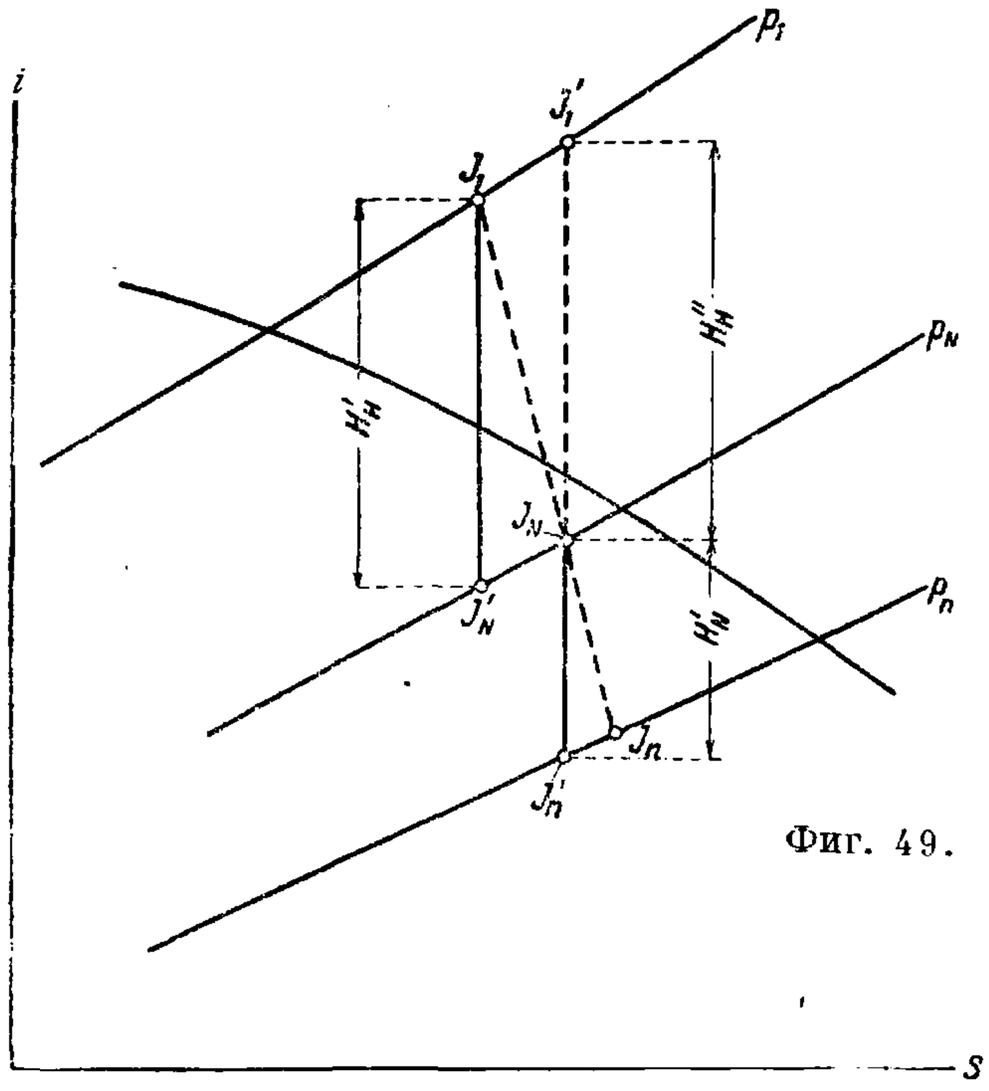
$$d_n \geqslant \sqrt{\frac{G \cdot v_n}{\pi \cdot c_a \cdot \Phi_n}}, \qquad (62)$$

где $\Phi_n = \frac{L}{d_n}$ = отношению длины лопатки к диаметру. Чем больше принято Φ, тем менее благоприятны условия протекания пара в последнем рабочем венце. Максимальное значение Φ_{max} составляет 0,2 — 0,3. Диаметр d по соображениям прочности не должен превосходить d_{max}; для современных материалов при $n = 3\,000$ об/м. $d_{max} = 1{,}7 \div 1{,}9$ *м*. Если при расчете получается диам. $d_i > d_{max}$, то последняя ступень должна иметь два или несколько потоков пара. По d_n м. б. определено $u_n = d_n \cdot \frac{\pi \cdot n}{60}$, $L_n = d_n \cdot \Phi_n$ и η'_a по ур-ию (46). После предварительно установленных данных для последней ступени следует определить диам. d_1 и длину L_1 для первой ступени. При этом следует установить, должна ли Т. иметь регулирование количественное или торможением. При регулировании торможением следует принимать для полной нагрузки давление p_1 перед первым направляющим колесом процентов на 10 ниже давления p_0, имея в виду падение начального давления вследствие торможения пара в напорном вентиле и в регуляторе, а также колебание давления и потери при выходе. Значение v_1, соответствующее значению p_1, следует брать из табл. i—s (фиг. 39). Для получения хорошего кпд следует брать $L_1 \geqslant 0{,}012$ *м*, $\Phi \geqslant 1/100$ и $\alpha_{c_1} \geqslant 13 \div 14°$. Для определения диам. д. б. задан конечный объем пара первой ступени. Но т. к. он пока неизвестен, то представим себе перед первой ступенью еще одну (в действительности несуществующую) нулевую ступень. Конечный уд. объем пара этой ступени равен известному нам начальному объему v_1. Приближенно для d_0 нулевой ступени имеем:

$$d_0 \cong 15 \cdot \sqrt[3]{\frac{G \cdot v_1 \cdot v_{\varepsilon m}}{n}}. \qquad (63)$$

Отсюда м. б. получено $L_0 = d_0 \cdot \Phi_{min}$. Если полученное т. о. значение $L_0 < L_{min}$, то d_0 должно быть уменьшено. Для первой ступени м. б. принято $d_1 \cong d_0$ (с возможным округлением в сторону увеличения). Если полученное для d_1 значение по конструктивным или по иным соображениям оказывается чрезмерно мало, то первая ступень выполняется с парциальным подводом пара. В больших Т. диаметр первой ступени всегда получается меньше, чем для последней. В таком случае первые ступени м. б. выполнены с меньшим, а последние ступени с бóльшим диаметром. Промежуточное давление p_N, при к-ром переходят от меньшего диаметра к большему, м. б. найдено, если произвести рас-

чет, при каком давлении лопатки части высокого давления с малым диам. d_1 оказываются слишком длинными, а лопатки части низкого давления с большим диам. d_n получаются слишком короткими. После выбора промежуточного давления p_N получаем сумму перепадов при расширении (фиг. 49)



Фиг. 49.

$$\Sigma h_\varepsilon = \Sigma h_{\varepsilon_H} + \Sigma h_{\varepsilon_N} = H_H' \cdot (1 + \varrho_H) + H_N'(1 + \varrho_N).$$

Перепад при расширении для одной ступени в части высокого давления

$$h_{\varepsilon_H} = \left(\frac{d \cdot \pi \cdot n}{60}\right)^2 \cdot \frac{1}{8380 v_{\varepsilon m}^2};$$

в части низкого давления

$$h_{\varepsilon_N}' = \left(\frac{d_n \cdot \pi \cdot n}{60}\right)^2 \cdot \frac{1}{8380 v_{\varepsilon m}^2}.$$

Таким образом число ступеней в части высокого давления

$$z_H = \frac{\Sigma h_{\varepsilon H}}{h_{\varepsilon H}} \qquad (64)$$

и в части низкого давления

$$z_N = \frac{\Sigma h_{\varepsilon N}}{h_{\varepsilon N}}. \qquad (65)$$

Увеличение диаметров колес от меньших к бо́льшим м. б. плавное или ступенчатое. После установления числа ступеней и диаметров следует проверить, совпадает ли полученное для Σd^2 значение с принятым ранее; в случае необходимости расчет диам. д. б. уточнен. При количественном регулировании первая ступень, регулировочная, работает с переменным перепадом; но так как эта ступень может работать экономично только при определенном пределе перепада, то размеры должны быть установлены в соответствии с основным режимом работы. Благодаря парциальному впуску пара диам. d_I регулировочной ступени м. б. в известных пределах выбран произвольно. По величине d_I м. б. определено u_I. Характеристич. число v_I выбирается соответственно числу венцов; отсюда получается перепад в ступени h_I' и вместе с тем давление пара p_{II} перед второй ступенью, диаметр к-рой определяется таким же образом, как и диаметр первой ступени для Т. с регулированием торможением.

Р е а к т и в н ы е Т. Т. к. реактивные ступени выполняются только с полным подводом пара, то для чисто реактивных Т. (без активных ступеней или колеса Кертиса) применима только регулировка торможением. Для удешевления производства стремятся к ограничению числа применяемых профилей лопаток, включая возможно большее число ступеней в группы с одинаковым профилем. Такая группа, в к-рой все направляющие и рабочие лопатки имеют одинаковые профили (однопрофильная группа), имеет степень реактивности $r \cong 0{,}5$. Для определения диаметра реактивной ступени с конечным уд. объемом v вычерчивают прежде всего план скоростей (фиг. 23), причем следует задаться углами и коэф-том скорости. При однопрофильных группах принимают $\alpha_{c1} = \beta_{w2}$ и $c' = w'$. Т. к. величины скоростей еще не известны и вначале может итти речь только об их отношении к окружной скорости, то предварительно откладывают $c' = w' = 1$ в произвольном масштабе, затем изменяют u до тех пор, пока не получат $v_\varepsilon = v_{\varepsilon m}$; одновременно находят соответствующее значение $v' = \frac{u}{c'} = \frac{u}{w'}$. Для определения диаметра ступени по ур-ию неразрывности, принимая некоторые допущения, имеем приближенную ф-лу

$$d \cong 2{,}6 \sqrt[3]{\frac{G \cdot v \cdot v'}{\Phi \cdot n}}. \qquad (66)$$

Для однопрофильной группы д. б. рассчитана только нулевая и последняя ступени. Для нулевой ступени в уравнение (66) вместо Φ д. б. подставлено минимально допустимое значение $\Phi_{min} = 1/15$, а вместо v—начальный уд. объем для группы v_I. По d и n определяется u, а по v_ε и u—перепад при расширении h_ε. Если все ступени группы имеют одинаковый диаметр, то конечный уд. объем v_{II} группы получается по ур-ию (66), в к-рое вместо Φ следует подставить максимальное значение $\Phi_{max} = 1/7{,}5$. По v_{II} определяется конечное давление p_{II}, а отсюда перепад для группы H_I' и число ступеней

$$z_I = \frac{H_I'(1 + \varrho_I)}{h_\varepsilon}. \qquad (67)$$

Если диаметр должен увеличиваться от ступени к ступени, то для последней ступени группы определяют по ур-ию (66) или диаметр при выбранном конечном давлении или конечное давление при выбранном диаметре. Отсюда получают перепад для первой и последней ступеней, а следовательно и средний перепад $h_{\varepsilon m}$ для группы. Затем определяется число ступеней в группе по ур-ию (67), причем вместо h_ε подставляют $h_{\varepsilon m}$. Приближенные значения длины лопаток нулевой и последней ступеней группы находят из ур-ия $L = \Phi \cdot d$. Длины лопаток промежуточных ступеней сначала подбирают приближенно интерполированием. Когда найдены число ступеней, диаметр и конечное состояние для одной группы, то переходят таким же образом к расчету следующих групп. Для Т. низкого давления при большом объеме однопрофильная группа ступеней неприменима, т. к. длины лопаток последней ступени от венца к венцу слишком быстро возрастали бы и концы лопаток расходились бы весьма сильно, что неблагоприятно отразилось бы на направлении пара. Ступени в этом случае рассчитываются, как одиночные, и их профили и углы изменяются от ступени к ступени. Прежде всего определяют d_n и L_n последней ступени таким же методом, как и при активных Т. По давлениям p_N и p_n до и после части низкого давления получают пере-

над H'_N (фиг. 49) и сумму отдельных перепадов

$$\Sigma h_{\varepsilon N} = H'_N \cdot (1 + \varrho_N).$$

Отсюда определяют d_0 и приближенную длину лопаток L_0 нулевой ступени части низкого давления, для чего приближенно можно принять

$$d_0 \simeq 7{,}5 \sqrt{\frac{G\, v_N}{n}}, \qquad (68)$$

$$L_0 \simeq \frac{d_0}{25}. \qquad (69)$$

Часто получается $d_0 < d_n$; тогда d_0 берут с округлением, принимая его за диаметр первой ступени части низкого давления. По диаметру первой и последней ступени низкого давления определяется при помощи $v_{\varepsilon m}$ перепад для первой и последней ступени, а затем средний перепад и число ступеней низкого давления. После установления размеров следует проверить, совпадает ли полученная по расчету величина Σd^2 с принятой ранее предположительно.

Комбинированные Т. имеют в большинстве случаев в части высокого давления активные ступени с количественным регулированием, а в части низкого давления реактивные ступени, причем первая ступень выполняется, как регулировочная ступень, с одним или несколькими венцами. Определение числа ступеней и диаметров производится так же, как для активных или реактивных Т.

Подразделение на ступени в Т. с разветвленным потоком пара. a) Т. с отбором пара. При проектировании Т. с отбором пара б. ч. в задании указаны p_0, t_0, p_A, N_e и давление отбора p_{a1}, p_{a2}, ... и требуется, чтобы при различных нагрузках и количествах отбора G_a расход G не превосходил известного предела. Кроме того задаются также максимальный возможный расход (Schluckfähigkeit) G_{max} и максимальное количество отбора. По этим заданиям получаются б. ч. очень широкие пределы расхода пара для отдельных частей Т. Регуляторы, устанавливаемые на паропроводах свежего пара и на перепускных трубопроводах, могут действовать посредством открывания части сопел или торможением; вследствие имеющих место при работе сильных колебаний расхода б. ч. применяется количественное регулирование. Благодаря значительным колебаниям расхода пара в отдельных частях Т. определение размеров становится затруднительным, тем более что для каждой части получается лучший кпд только при расходе пара, не выходящем из известных границ. Эти границы тем уже, чем больше число ступеней; наиболее широкие пределы получаются для части, состоящей из одной активной ступени или колеса Кертиса с применением количественного регулирования. Поэтому в виду невозможности удовлетворить всем условиям при определении размеров в первую очередь следует иметь в виду наиболее часто имеющий место основной режим работы. При турбине с одним промежуточным отбором (фиг. 41) в части высокого давления протекает количество пара G, а в части низкого давления $G_0 = G - G_a$. Часть высокого давления рассчитывается, как Т. с противодавлением, а часть низкого давления, как Т. без отбора пара. Если, как часто бывает при большом отборе пара, G во много раз превышает G_0, главное внимание д. б. обращено на хороший кпд части высокого давления; поэтому последняя выполняется многоступенчатой. Кпд части низкого давления в этом случае имеет небольшое значение и т. о. эта часть может иметь малое число ступеней или выполняется одноступенчатой. При этом бывает достаточно иметь одно-, двух- или трехвенцовое колесо Кертиса. Если, наоборот, Т. большею частью работает только с незначительным отбором, то применяется конструкция, аналогичная однопоточной Т. В каждом отдельном случае следует обращать внимание на достаточный размер сечения сопел обеих частей для пропуска максимального количества пара во время работы. При Т. с отбором пара в двух местах поступают, как было указано ранее, но здесь приходится еще иметь дело с частью среднего давления. Т. к. при этом затруднение при определении размеров еще больше, то следует тщательно обсудить вообще надобность в отборе больше чем от одного места. Это имеет смысл в том случае, когда постоянно или в течение длительного периода требуется пар в большом количестве для нагревательных целей различных давлений при незначительном колебании в расходе. Если же, наоборот, требуется пар для нагревательных целей одного какого-либо давления только периодически или в небольшом количестве, то может оказаться более целесообразным брать этот пар не от Т., а из паропровода свежего пара или из трубопровода отборного пара более высокого давления с дросселированием его до требуемого давления. Часть среднего давления имеет б. ч. весьма малый перепад, поэтому более целесообразно применять активную ступень или колесо Кертиса с парциальным подводом пара и количественным регулированием.

b) Т. двойного давления. В отношении определения размеров Т., работающих свежим и мятым паром, следует иметь в виду то же, что было сказано для Т. с отбором пара. Эти Т. также должны быть приспособлены для наиболее часто встречающегося режима работы. Для Т., работающих свежим паром и паром от тепловых аккумуляторов, следует обращать внимание на то, что давление в аккумуляторе колеблется в широких пределах.

c) В отношении Т. с меняющимся числом оборотов для расчета д. б. дано соотношение между мощностью и числом оборотов. Такая Т. рассчитывается для наиболее часто встречающегося режима работы таким же образом, как Т. с постоянным числом оборотов.

Расчет отдельных ступеней. Активные ступени (фиг. 13—16). Предварительным расчетом сначала определяется диам. d и среднее характеристич. число $v_{\varepsilon m}$ для отдельной ступени. Отсюда получают перепад при расширении в ступени h_ε. Для первой ступени подставляется $h_0 = 0$, для остальных ступеней h_0, равное остаточной энергии h_{c3} предыдущей ступени. Вместе с тем имеем

$$h_{c'} = h_0 + h_\varepsilon, \quad c' = 91{,}53 \sqrt{h'_c} \text{ и } c_1 = \varphi_1 \cdot c',$$

причем φ_1 берут приблизительно. Угол сопла или направляющей лопатки α_2 в первых ступенях берется минимальным, а в последних ступенях максимальным, для того чтобы в первой ступени не получить слишком коротких, а в последних ступенях слишком длинных лопаток. Число сопел z_d ступени с полным подводом пара не д. б. чрезмерно велико, т. к. в противном случае каналы окажутся узки и потери при прохождении пара слишком велики. Однако, с другой стороны, z_d не д. б. и слишком мало,

т. к. в этом случае дуга подвода пара, приходящаяся на одно сопло, оказывается слишком велика, и вследствие этого условия направления струи пара будут неблагоприятны. По z_d получается шаг для сопел a_d; после выбора толщины перегородки a_{od} получаем внутренний шаг $a_{id} = a_d - a_{od}$ и коэф. сужения $e_d = \frac{a_d}{a_{id}}$. Поперечное сечение сопел рассчитывается на протекание пара без потерь. Выходное поперечное сечение сопла определяется ф-лой

$$f'_2 = \frac{(G - G_{sp}) \cdot v_{c'}}{z_d \cdot c'}; \qquad (70)$$

после выбора a_{c_1} получаем требуемую высоту сопла при выходе:

$$L'_d = \frac{e_d \cdot f'_2}{a_d \cdot \sin \alpha_{c_1}}. \qquad (71)$$

Здесь G_{sp} представляет непроходящий через сопло пар, расходуемый на утечку. Т. к. f'_2 при предположении протекания пара без потерь получается несколько преуменьшенным, то следует несколько округлить L'_d в сторону увеличения и эффективную высоту сопла будем иметь $L_d \geqslant L'_d$. Если противодавление за ступенью $p_2 \geqslant p_s$, то сопло не получает расширения и $\alpha_2 = \alpha_{c_1}$. Если $p_2 < p_s$, то сопло должно иметь самое узкое сечение $f_m < f'_2$. Определив

$p_s = \varepsilon_s \cdot p'_1$; $h_s = h_0 + i_1 - i_s$ и $c_s = 91{,}53\sqrt{h_s}$, получаем

$$f_m = \frac{(G - G_{sp}) \cdot v_s}{z_d \cdot c_s}. \qquad (72)$$

Если c' только незначительно (не более чем на 20%) больше, чем c_s, то отношение уширения q' настолько мало, что более целесообразно выполнять сопла без уширения. В этом случае получается незначительное отклонение струи и α_2 д. б. взято соответственно меньше, чем α_{c_1}. Отклонение струи определяется по ур-ию (24). Угол входа лопаток β_1 выбирается т. о., чтобы он был равен β_{w_1} или несколько больше, но не меньше, т. к. при уменьшении расхода пара перепад получается меньше для всех ступеней, за исключением регулировочной, а вследствие этого β_{w_1} окажется больше. Длину лопаток при входе выбирают несколько большей, чем L_d, для того чтобы обеспечить вход пара в каналы, образованные лопатками. Требуемая длина лопаток L'_s при выходе зависит от угла выхода β_2 и чем больше β_2, тем меньше будет L'_s. Если, что практически имеет место, не происходит никакого отклонения струи, то $\beta_{w2} = \beta_2$. Приближенно можно принять

$$L'_s \cong \frac{e_s w_1 \cdot \sin \beta_1}{w' \cdot \sin \beta_2} L_d, \qquad (73)$$

где $e_s = \frac{a_s}{a_{is}}$, а $w' > w_2$. Значение β_2 выбирается т. о., чтобы разница между длиною лопаток при входе и при выходе не была слишком велика, так как в противном случае нарушилось бы очертание «поточной части». Вследствие этого в первых ступенях берется $\beta_2 < \beta_{w_1}$, в средних ступенях $\beta_2 = \beta_{w_1}$, а в последних ступенях $\beta_2 > \beta_{w_1}$. Т. к. не представляется возможным рассчитать L'_s с такой точностью, чтобы поток пара вполне заполнял сечение канала без подпора, то может случиться, что рассчитанные каналы между лопаток окажутся несколько преуменьшенными. В таком случае имеют место перед лопатками избыточное давление и вместе с тем аксиальный сдвиг и потери на утечки через неплотности вследствие протекания пара вокруг лопаток. Во избежание этого явления длина лопаток L_s д. б. взята больше, чем L_s. Однако более узкий канал выгоднее, если не принимать во внимание аксиальный сдвиг и неплотности, чем слишком широкий. Перепад в последней ступени, а при количественном регулировании и в регулировочной ступени сильно меняется в зависимости от количества протекающего пара. Рекомендуется вычерчивать диаграммы скоростей для этих ступеней при рассмотрении предельных случаев и выбирать β_1 т. о., чтобы его значение лежало между пределами, полученными для β_{w1}.

Колесо Кертиса применяется б. ч. в качестве регулировочной ступени при количественном регулировании. Вследствие этого давление p_1 перед соплами остается примерно постоянным за исключением тех сопел, в к-рых пар дросселируется. Противодавление p_2, напротив, приблизительно пропорционально количеству пара, протекающего через ступень. Поэтому перепад в ступени меняется с нагрузкой. Если ступень должна работать с практически постоянной нагрузкой, то этим самым устанавливается перепад, к-рый и д. б. принят при расчете. Если же ступень должна работать при сильно меняющемся перепаде, то целесообразно рассчитать ее при нек-ром среднем перепаде. Поперечное сечение сопел и длина лопаток L_A (фиг. 18—20) рассчитываются так же, как для активных ступеней. Длины лопаток L_B, L_c, ... определяются по приближенным ф-лам:

$$L_B \cong \frac{w_{2aA}}{c_{1aB}} \cdot L_A; \quad L_c \cong \frac{c_{1aB}}{w_{2aC}} \cdot L_B. \qquad (74)$$

Реактивные ступени. Для расчета следует прежде всего вычертить план скоростей. Тогда по ур-ию неразрывности получается соотношение (фиг. 21—24):

$$d \cdot L' \cdot w' = \frac{G \cdot e \cdot v_{w'}}{\pi \cdot \sin \beta_2}. \qquad (75)$$

При неподвижных лопатках следует подставить α_2, c', $v_{c'}$ вместо β_2, w' и $v_{w'}$. Значение L' представляет теоретически необходимую длину лопатки при неплотности, равной 0. Действительная длина лопатки L_s или L_d зависит от величины зазора L_{sp}. Приближенно можно принять

$$L_s \cong L' - 2L_{sp}.$$

В группах ступеней L' пропорционально удельному объему пара при одинаковом плане скоростей. Поэтому оказывается проще производить расчет графич. путем. Ступени с значительными диаметрами и перепадами должны, напротив, рассчитываться, как отдельные ступени. При этом оказывается необходимым брать $r < 0{,}5$, т. к. в противном случае разность $L_s - L_d$ получается слишком велика.

Ступени с малой реактивностью. Поперечное сечение каналов в соплах и между направляющих лопаток рассчитывается точно так же, как для ступеней других типов, по ур-ию неразрывности. Активно-реактивные ступени с малыми диаметрами, малым перепадом и короткими лопатками выполняются в виде отдельных групп, причем все ступени имеют одинаковый профиль каналов. При расчете предварительно строится средний план скоростей. Т. к. с реактивностью связаны осевое усилие и потери вследствие неплотностей, то степень реактивности r должна быть взята тем ниже, чем меньше длина лопаток и чем выше давление пара. При этом можно допустить увеличение r от ступени к ступени. Соответственно с этим меняется также от ступени к ступени и план скоростей, поэтому при конструировании сопел и профилей лопаток следует обращать

внимание на то, чтобы угол входа лишь немного отличался от направления струи входящего пара. Расчет высоты сопел и длины лопаток проще всего производить графически или по разработанным таблицам. Активно-реактивные ступени с большими диаметрами, с большим перепадом в ступенях и с длинными лопатками рассчитываются как одиночные ступени. Вследствие большой длины лопаток и низких давлений потери через неплотности и осевое давление незначительны, поэтому последними в большинстве случаев можно пренебречь. Ступени скорости с реактивностью рассчитываются, как колесо Кертиса, без реактивности. Если при этом лопатки последнего венца получаются слишком длинны, расчет повторяется в предположении различных степеней реактивности до тех пор, пока не будут получены приемлемые размеры длины лопаток. В большинстве случаев при этом оказывается достаточным предусматривать расширение только в последнем венце. Т. к. реактивные ступени с предвключенным колесом Кертиса применяются почти исключительно в пределах более высоких давлений, то степень реактивности в связи с потерями вследствие неплотностей должна применяться возможно малой.

Лит.: Andrieu A., Turbines à vapeur, applications à la navigation, P., 1929; Belluzzo G., Les turbines à vapeur, t. 1—2, P., 1928; Church E., Steam Turbines, N. Y., 1928; Dubbel H., Kolbendampfmaschinen u. Dampfturbinen, 6 Aufl., B., 1923; Flügel G., Die Dampfturbinen, ihre Berechnung u. Konstruktion, mit einem Anhang über Gasturbinen, Lpz., 1931; Forner G., Der Einfluss d. rückgewinnbaren Verlustwärme des Hochdruckteils auf den Dampfverauch d. Dampfturbinen, B., 1922; Forner G., Die thermodynamische Berechnung d. Dampfturbinen, B., 1931; Kerton W., Steam Turbine, Theory a. Practice, 3 ed., L., 1931; Kraft E., Amerikas Dampfturbinenbau, B., 1927; Kraft E., Die neuzeitliche Dampfturbine, 2 Aufl., B., 1930; Krüger H., Dampfturbinenschaufeln, B., 1930; Lasche O., Konstruktion u. Material im Bau von Dampfturbinen u. Turbodynamos, 3 Aufl., B., 1925; Martin H., The Design a. Construction of Steam Turbines, L., 1913; Neilson R., The Steam Turbine, 5 ed., L., 1929; Melan H., Die Schaltungsarten d. Haus- u. Hilfsturbinen, B., 1926; Moyer G., Steam Turbines, 5 ed., L., 1929; Peabody C., Thermodynamics of the Steam Turbine, N. Y., 1911; Stodola A., Dampf- u. Gasturbinen, 6 Aufl., B., 1924; Wagner H., Der Wirkungsgrad von Dampfturbinen-Beschaufelungen, B., 1913; Zerkowitz G., Thermodynamik d. Turbomaschinen, München, 1913; Zietemann C., Berechnung und Konstruktion der Dampfturbinen, Berlin, 1930.

К. Форнер.

Турбостроение в СССР и типы Т. внутрисоюзного производства. Турбостроение в дореволюционной России началось в связи с выполнением большой судостроительной программы, по к-рой на русских заводах должны были быть построены не только военные суда, но и двигатели для них. В виду отсутствия собственного опыта заинтересованные заводы (Балтийский судостроительный, Николаевский судостроительный, Металлический и з-д Франко-Русского об-ва) вступили в связь с иностранными турбостроительными предприятиями, взявшими на себя переоборудование заводов и обучение персонала («Джон Броун» в Англии и «Броун-Бовери» в Швейцарии). В качестве типовой судовой машины были избраны реактивные Т. типа Парсонса и Парсонс-Броун-Бовери. Производство этих Т. было довольно быстро освоено, но широко не развилось. Производству стационарных Т. было положено начало в 1904 г., когда Петербургским металлическим з-дом были приобретены права на постройку Т. сист. Рато и начато оборудование турбинной мастерской, но за период времени 1907—17 гг. было выпущено только 26 Т., причем мощность отдельного агрегата не превышала 1 250 kW. После нек-рого затишья в годы гражданской войны з-д с 1923 г. начал вновь интенсивно развивать турбостроение и уже в 1925 г. выпустил Т. мощностью 10 000 kW. В 1931 г. начинается производство Т. на заводе «Красный Путиловец», а в 1933 г. вступает в строй Харьковский турбогенераторный завод. В настоящее время производственная мощность этих трех предприятий почти полностью обеспечивает потребность страны в Т. Энергоцентром (ныне Главэнерго) разработан следующий проект стандарта на паровые Т. союзного производства, к-рый мы приводим в последнем, уточненном, варианте (табл. 1 и 2).

Табл. 1.—Конденсационные турбины.

Номинальная мощность турбогенераторов, kW	Параметры пара у впускного вентиля турбины: давление, *atm* абс.	Параметры пара у впускного вентиля турбины: $t°$	Число об/м.	Число нерегулируемых отборов	Примерная $t°$ подогретой питател. воды при максим. длит. мощности	Тип турбины
750	20	350	5 000/1 000	—	—	Бесподвальная
1 500	20	350	—	1	65	
2 500	20	350	—	1	70	
4 000	29	400	—	1	70	
6 000	29	400	3 000	2	100	
12 000	29	400	3 000	3	150—155	Подвальная
25 000	29	400	3 000	3	150—155	
50 000	29	400	1 500	3—4	155	
50 000	29	400	3 000	3—4	155	
100 000	29	400	1 500	3—4	180	
50 000	55	450	1 500	3—4	180	
50 000	55	450	3 000	3—4	180	
100 000	55	450	1 500	3—4	180	
200 000	55	450	1 500	4	180	

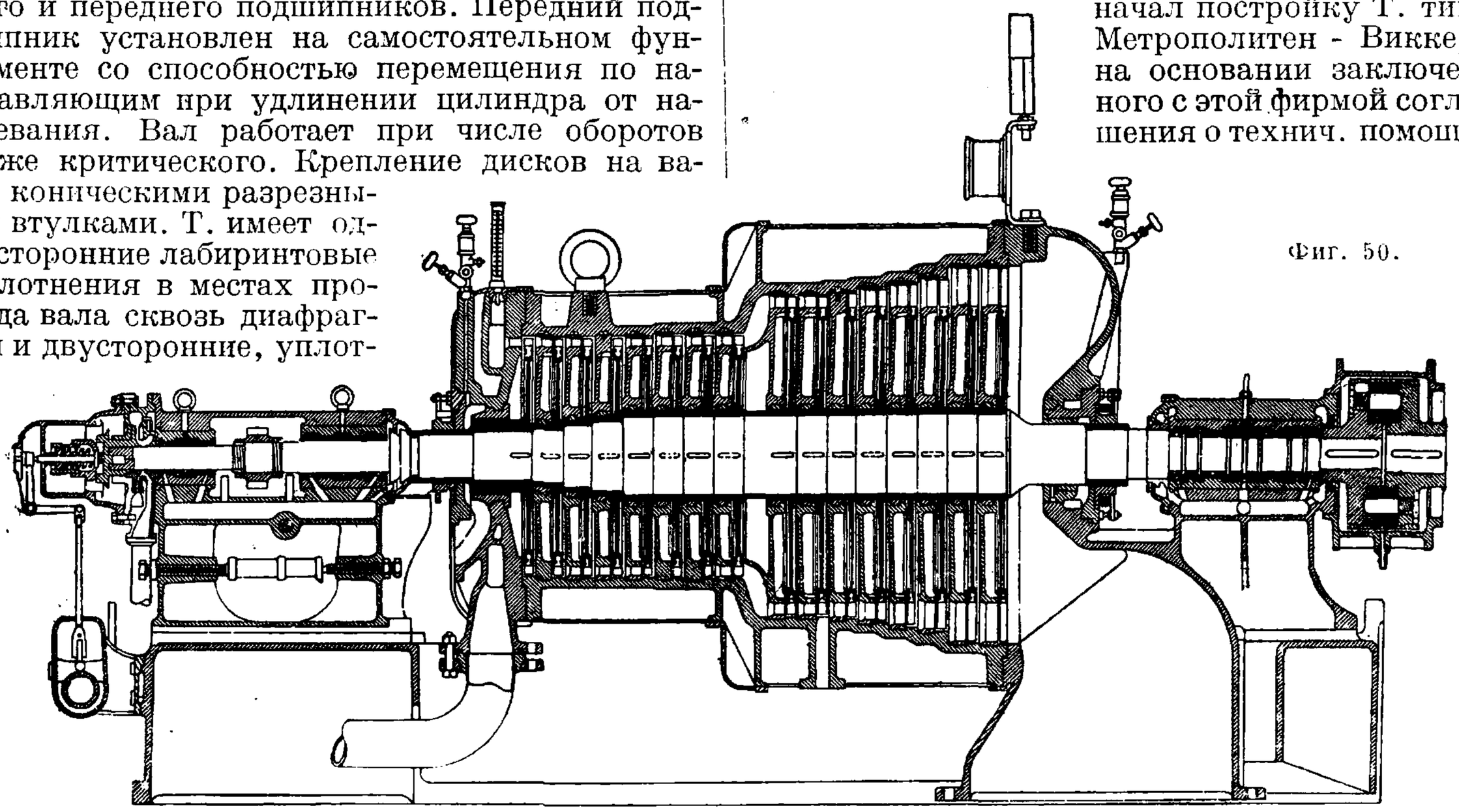
Эти данные положены в основу программ турбостроительных з-дов и приняты к руководству проектными организациями.

Т. Ленинградского металлического з-да им. Сталина. До 1911 г. Металлический з-д строил активные Т. со ступенями давления сист. Рато (фиг. 50). Цилиндр Т. отливался из чугуна и состоял из 6 частей, скрепленных болтами. Со стороны низкого давления он опирался лапами, прилитыми к задней крышке, на фундаментную плиту, а со стороны высокого давления—лапами передней крышки на особые выступы станины переднего подшипника. В местах прохода вала сквозь диафрагмы устанавливались лабиринтовые уплотнения; в крышках цилиндра—уплотнения металлич. кольцами: давление в камерах последних поддерживалось выше атмосферного посредством редукционного клапана. Смазка производилась автоматически, под давлением; фильтр и холодильник для масла помещались внутри фундаментной плиты. Подшипники Т. мощностью свыше 750 kW имели водяное охлаждение. Гребенчатый упорный подшипник был расположен с задней стороны Т. Турбины имели качественное регулирование посредством дроссельного клапана, непосредственно связанного с центробежным регулятором. Возможность перегрузки достигалась впуском свежего пара непосредственно в средние ступени. Следующим этапом был переход на производство Т. типа AEG с большими или меньшими изменениями оригинальной конструкции. Этих Т. выпущено свыше 50 шт. (первая из них в 1923 г.). Среди них были чисто конденсационные, с противодавлением и с отбором пара, для начальных давлений 10—30 *atm*. Т. небольшой

Табл. 2.—Теплофикационные турбины.

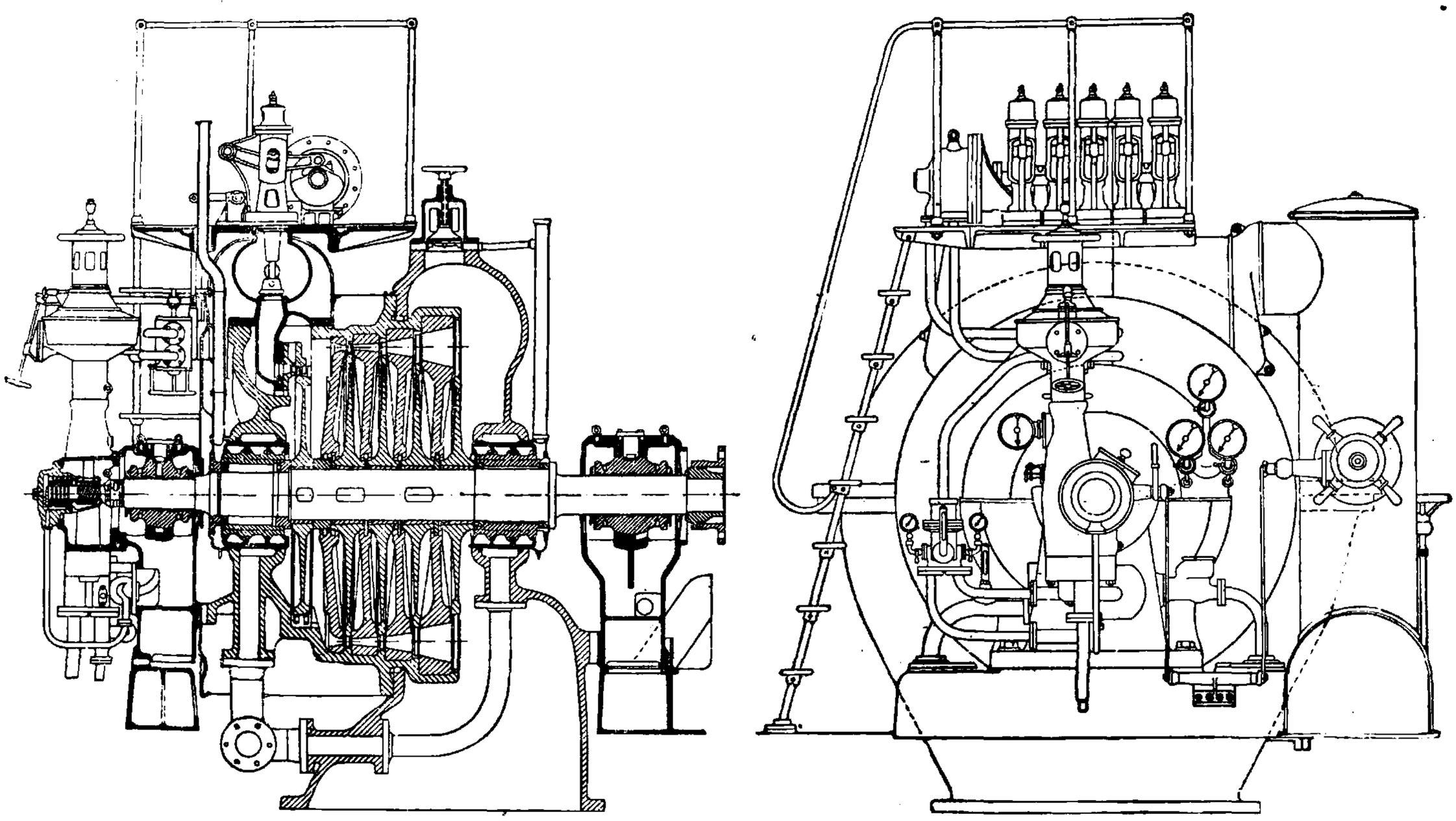
Номинальная мощность турбогенератора, kW	Параметры пара у впускного вентиля		Число об/м.	Давление регулируемого отбора, *atm* абс.	Колич. отбираемого пара от регулируемого отбора, *т/ч*		Тип турбины
	давление, *atm* абс.	*t°*			максимальное	при эконом. мощности	
1 500	20	350	5 000/1 000	5 ±1	16	9	Бесподвальная
2 500	20	350	5 000/1 000	5 ±1	20	14	
4 000	29	400	5 000/1 000	5 ±1	35	20	
4 000	29	400	5 000/1 000	1,2÷2,5	32	20	
6 000	29	400	3 000	7 ±1	45	30	
6 000	29	400	3 000	1,2÷2,5	40	35	
12 000	29	400	3 000	7 ±1	45	45	
12 000	29	400	3 000	1,2÷2,5	60	30	
25 000	29	400	3 000	7 ±1	150	90	
25 000	29	400	3 000	1,2÷2	100	40	
50 000	29	*400*	*1 500*	1,2÷2	*200*	*80*	Подвальная
50 000	29	400	3 000	1,2÷2,5	200	80	
50 000	55	450	1 500	1,2÷2,5	200	80	
50 000	55	450	3 000	12 ÷14	110	90	
				1,2÷2,5	140	60	
25 000	55	450	3 000	7,5±1	55	45	
				1,2÷2,5	70	30	

мощности AEG-ЛМЗ строились активного типа с двухвенечным диском Кертиса в первой ступени и 6—8 ступенями давления (фиг. 51). Т. рассчитана на начальное давление 12—15 *atm*. Ротор Т. и связанный с ним жесткой муфтой ротор генератора покоятся на трех опорных подшипниках. Т. не имеет фундаментной плиты; последняя расположена только под генератором; цилиндр подвешен между станинами среднего и переднего подшипников. Передний подшипник установлен на самостоятельном фундаменте со способностью перемещения по направляющим при удлинении цилиндра от нагревания. Вал работает при числе оборотов ниже критического. Крепление дисков на валу коническими разрезными втулками. Т. имеет односторонние лабиринтовые уплотнения в местах прохода вала сквозь диафрагмы и двусторонние, уплотняемые паром — со стороны высокого и низкого давления. Регулирование осуществляется введением в действие и выключением отдельных групп сопел. Групповые клапаны управляются кулачковым валом, непосредственно соединенным с масляным сервомотором ротативного типа. Гребенчатый упорный подшипник в последних выпусках заменен подшипником Мичелля. Конструкция более мощных двухцилиндровых турбин AEG-ЛМЗ в значительной степени является самостоятельной; по типу AEG выполнено только регулирование; влияние этой фирмы отразилось также на конструкции цилиндра, подшипников и уплотнений. Турбина мощностью 10 000 kW при 3 000 об/м. (фиг. 52) имеет 13 активных ступеней в ЦВД и 7 в ЦНД. Давление свежего пара 26 *atm*, *t°* 375°. Все ступени работают с небольшой степенью реактивности (5—10%) кроме последних двух, где $v=20\%$ и 50%. Вал Т. состоит из двух частей, соединенных подвижной муфтой. Осевые давления воспринимаются *отдельным для каждого цилиндра* подшипником типа Мичелля. С 1928 г. ЛМЗ начал постройку Т. типа Метрополитен - Виккерс на основании заключенного с этой фирмой соглашения о технич. помощи.

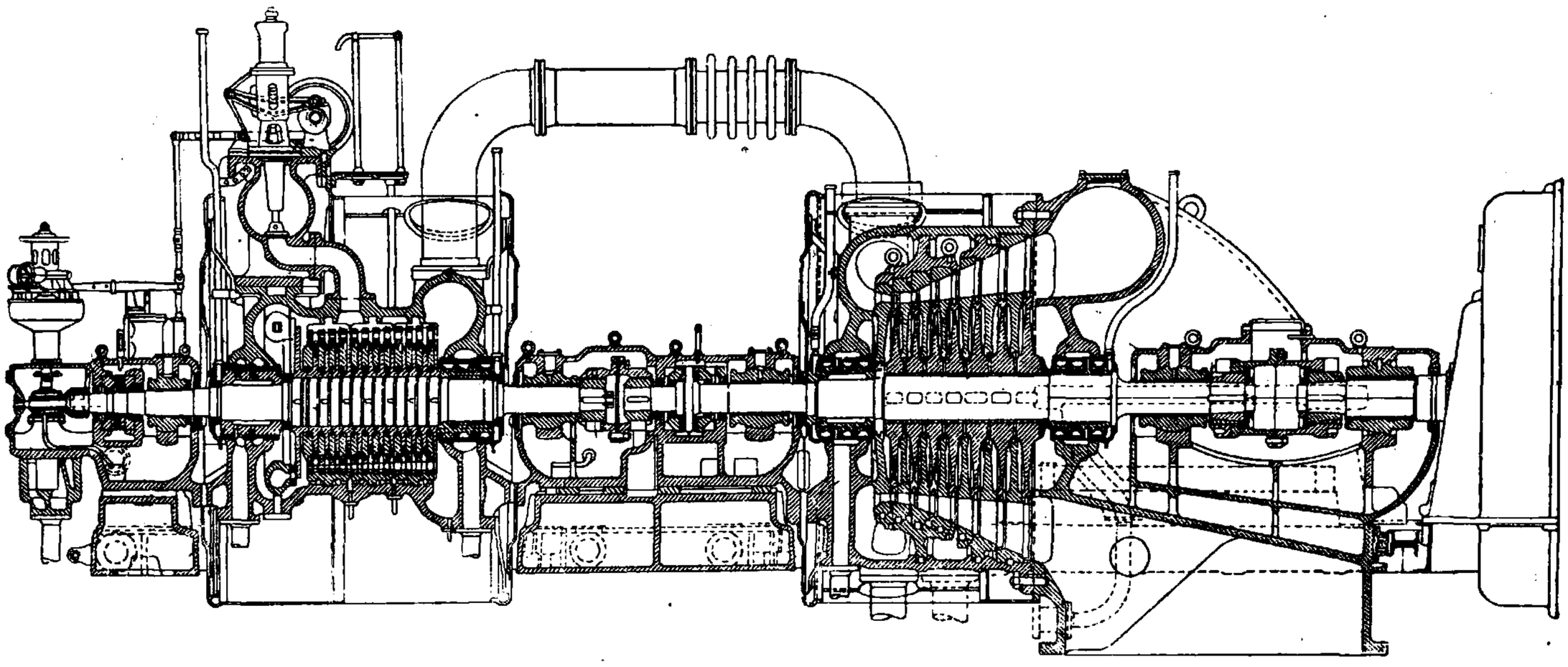


Фиг. 50.

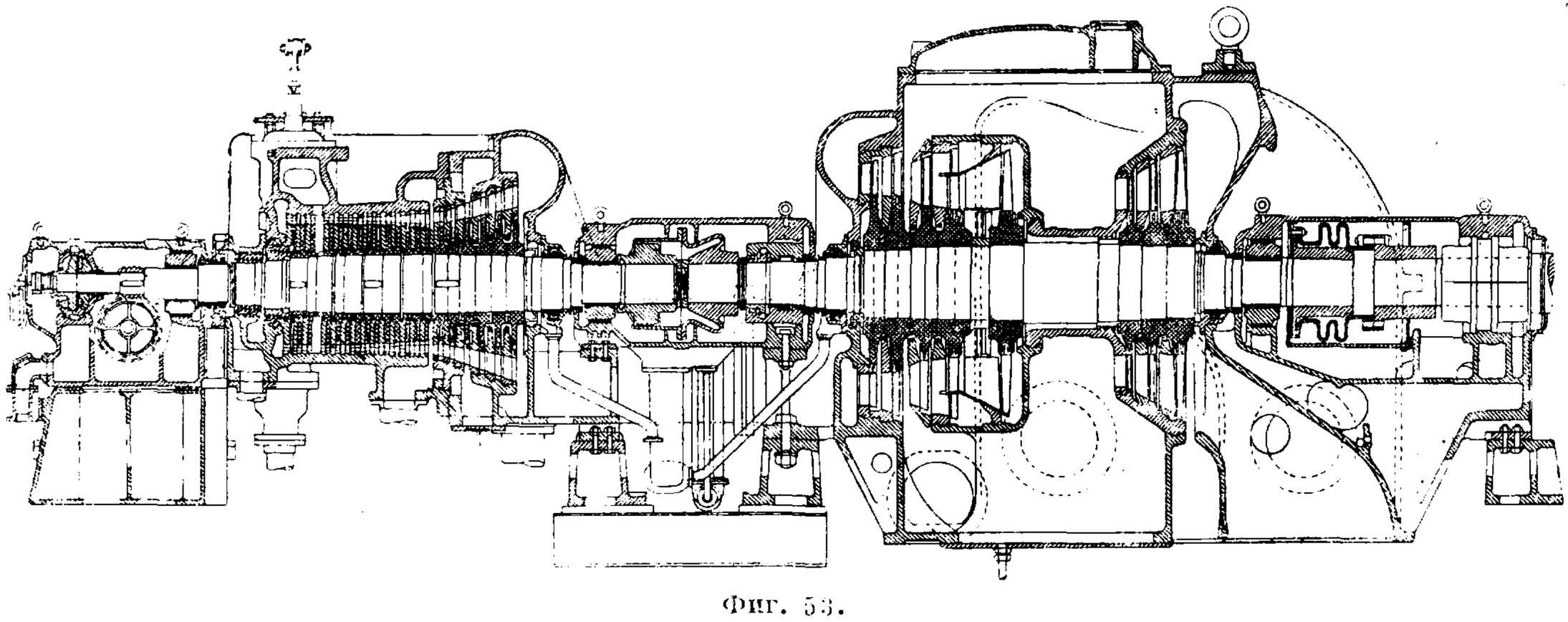
Турбина МВ-ЛМЗ 24 000 kW при 3 000 об/м. (фиг. 53) представляет собой двухцилиндровый одновальный агрегат. Турбина активного типа предназначена для конденсационной работы и имеет четыре нерегулируемых отбора пара на регенерацию. Цилиндр высокого давления (ЦВД) состоит из 20 ступеней, цилиндр низкого давления (ЦНД)—из 8. Сопла первых 14 ступеней фрезерованные. Все ступени работают с небольшой степенью реактивности кроме последних, где v достигает 50%. В ЦНД применено дублирование последних ступеней и ответвление части пара из предпоследней ступени в конденсатор (системы К. Баумана). Т. имеет водяные уплотнения со



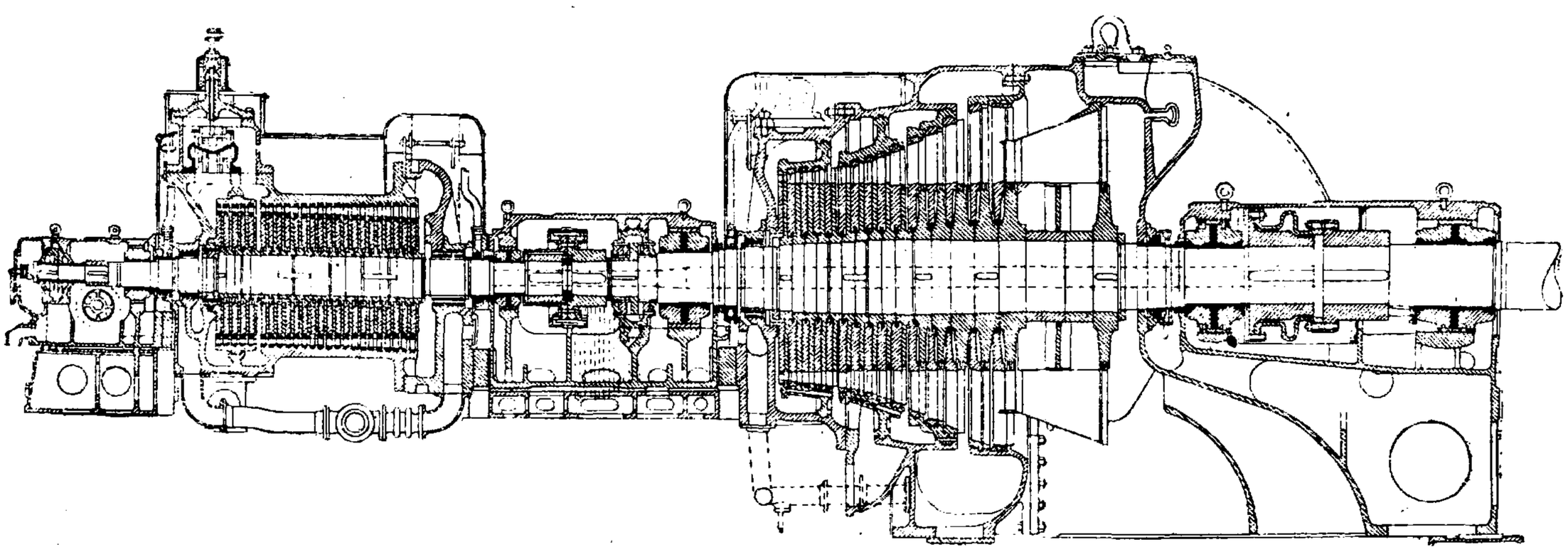
Фиг. 51.



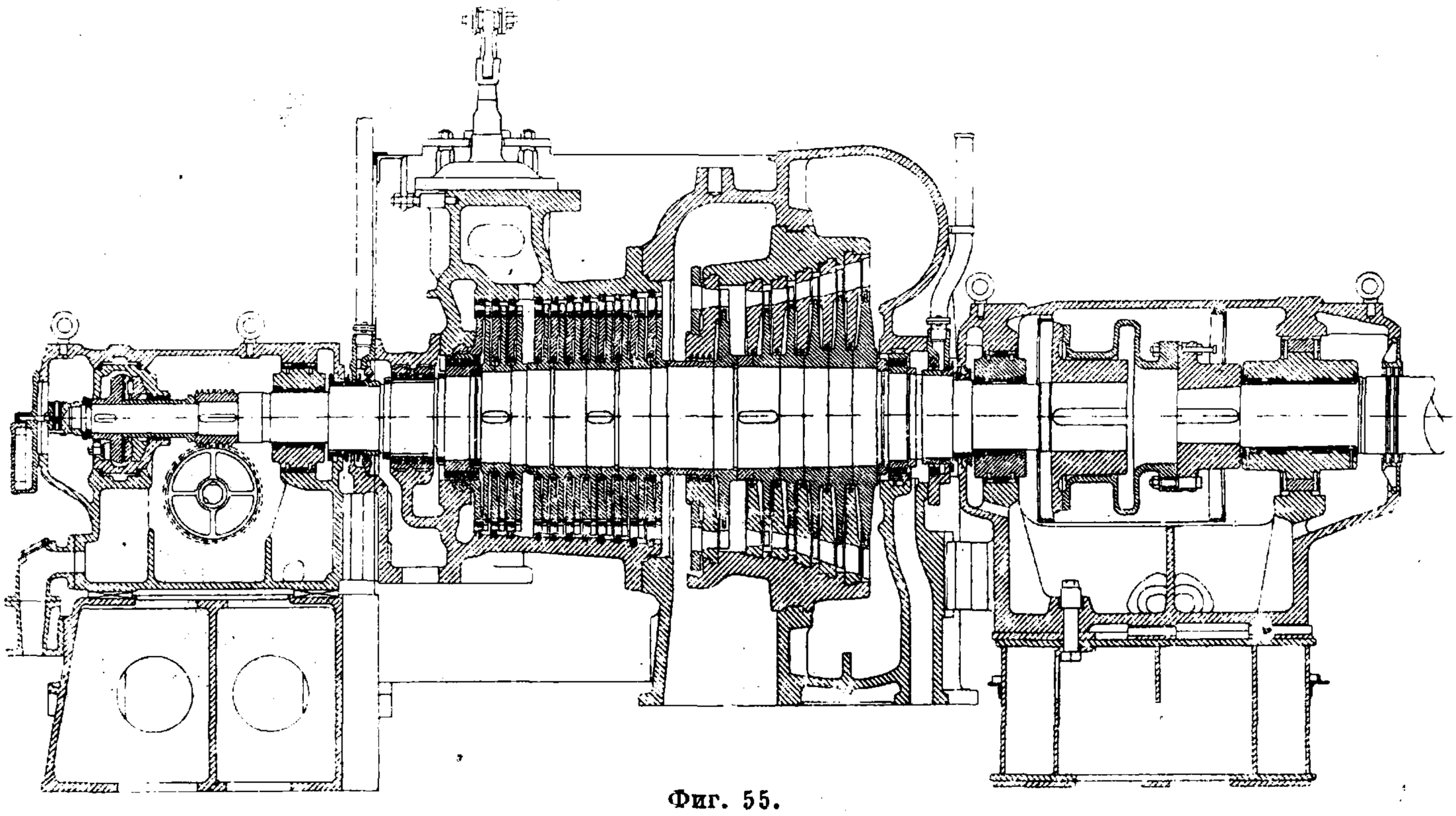
Фиг. 52.



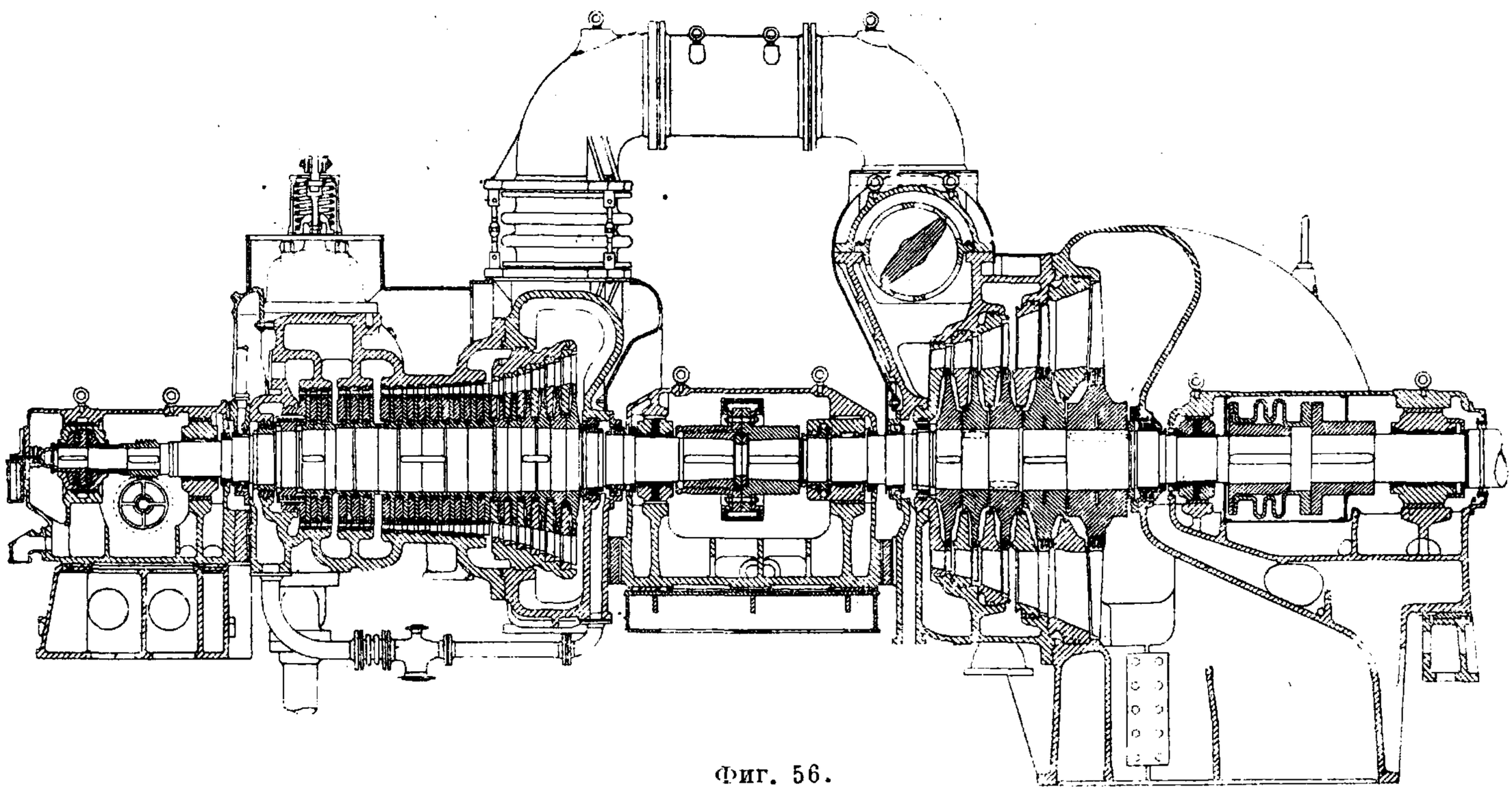
Фиг. 53.



Фиг. 54.

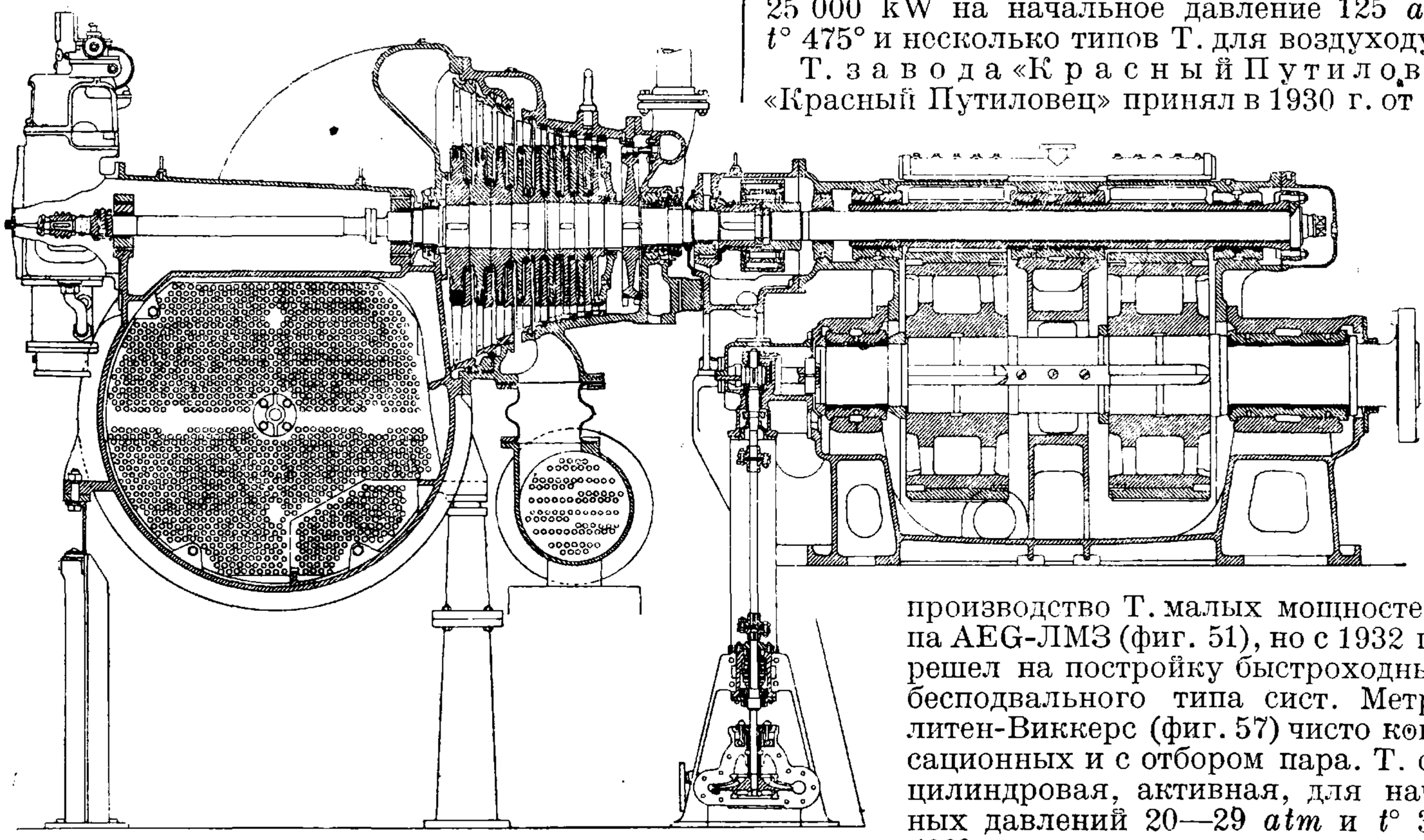


Фиг. 55.



Фиг. 56.

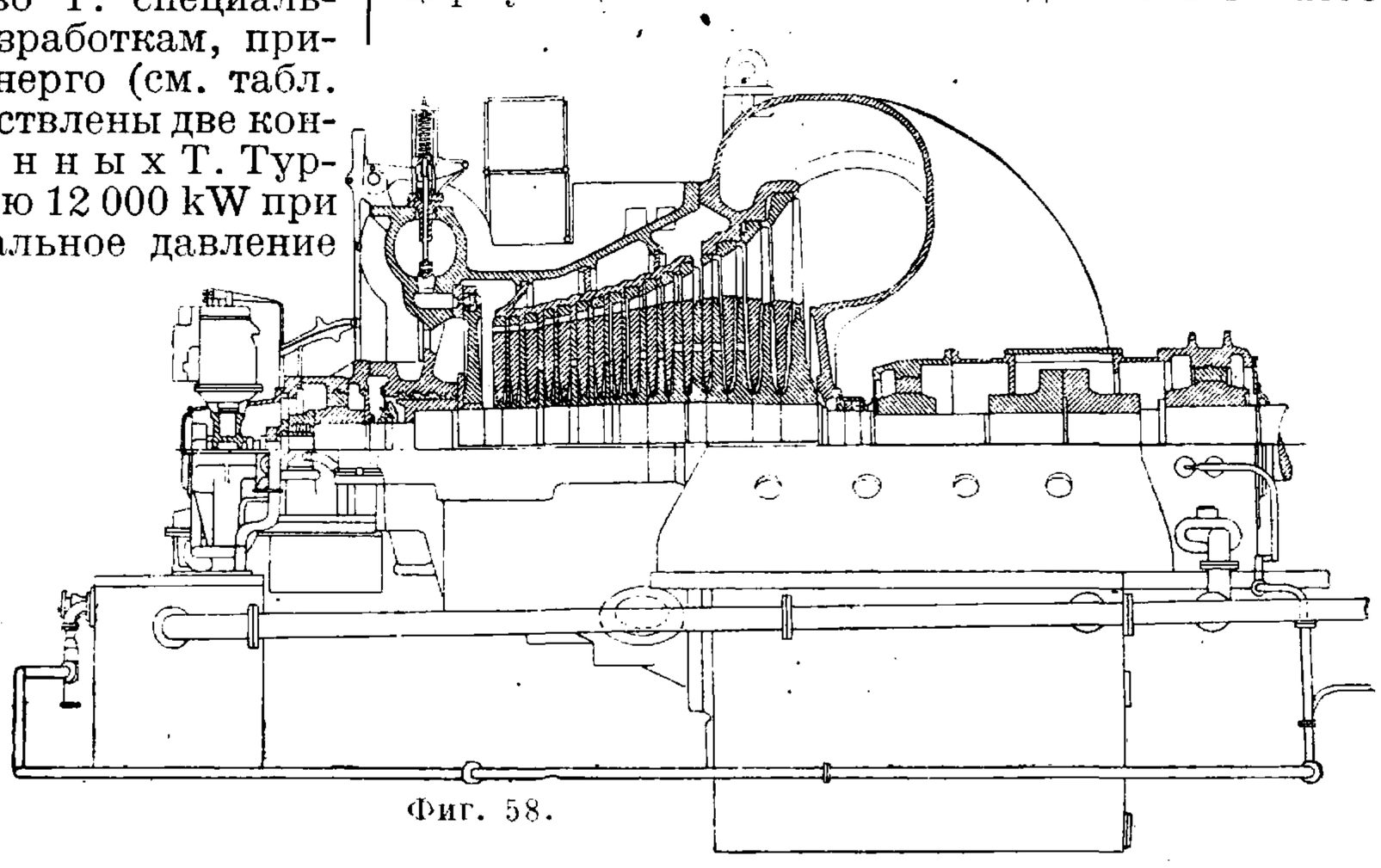
стороны низкого давления, упорные подшипники типа Мичелля и соединительные муфты полужесткого типа. Турбина МВ-ЛМЗ 50 000 kW при 1 500 об/м. (фиг. 54) также активная, чисто конденсационного типа с четырьмя нерегулируемыми отборами на регенерацию. ЦВД состоит из 24 ступеней, ЦНД—из 16 ступеней.



Фиг. 57.

Последняя ступень выполнена по системе Баумана. ЛМЗ разработан вариант этой конструкции для 3 000 об/м., что дает значительное уменьшение габаритов и веса машины. С 1930 г. ЛМЗ переходит исключительно на крупное турбостроение и наряду с производством мощных конденсационных Т. системы МВ начинает проектирование и производство Т. специальных типов по собственным разработкам, применительно к заданиям Главэнерго (см. табл. 1 и 2). На данный момент осуществлены две конструкции т е п л о ф и к а ц и о н н ы х Т. Турбина П—165 (фиг. 55) мощностью 12 000 kW при 3 000 об/м. построена на начальное давление 26 *atm* и *t*° 375°. Основной особенностью является регулируемый отбор при 6±1 *atm* в количестве 50 *т/ч* и регулируемое противодавление 0,7—1,2 *atm* с максимальным расходом 65 *т/ч*. Т. активная, одноцилиндровая с 17 ступенями давления, из к-рых 6 в части низкого давления. Регулирование части низкого давления производится перекрытием отдельных сопел в диафрагме перемещением особого кольца; регулирование в части высокого давления—дроссельное. Обе системы кинематически не связаны друг с другом. Турбина ДКО—185 (фиг. 56) мощностью 25 000 kW при 3 000 об/м. рассчитана на начальное давление 29 *atm*, *t*° 400° и отбор до 100 *т/ч* при давлениях 1,2—2,0 *atm*. Т. двухцилиндровая, активная с 21 ступенью в ЦВД и 5 ступенями в ЦНД; имеется конденсационное устройство и два нерегулируемых отбора на регенерацию. Регулирование части высокого давления производится одним дроссельным и двумя перепускными клапанами; регулирование части низкого давления—поворотной заслонкой в ресивере. В 1934/35 г. ЛМЗ выпустит также Т. мощностью 25 000 kW с отбором до 150 *т/ч* при 7 *atm*. Разработан проект Т. мощностью 25 000 kW на начальное давление 125 *atm* и *t*° 475° и несколько типов Т. для воздуходувок.

Т. з а в о д а «К р а с н ы й П у т и л о в е ц». «Красный Путиловец» принял в 1930 г. от ЛМЗ производство Т. малых мощностей типа AEG-ЛМЗ (фиг. 51), но с 1932 г. перешел на постройку быстроходных Т. бесподвального типа сист. Метрополитен-Виккерс (фиг. 57) чисто конденсационных и с отбором пара. Т. одноцилиндровая, активная, для начальных давлений 20—29 *atm* и *t*° 350—400°, состоит из двухвенечного диска Кертиса и 7—9 ступеней давления. Нижняя часть цилиндра и верхняя конденсатора составляют общую отливку; конденсатор является опорой для Т. Генератор приводится посредством зубчатой передачи (редуктора), дающей ему 1 000 об/м. при 5 000 об/м. Т. За генератором на том же валу помещены возбудитель и циркуляционный насос. Конденсатный насос



Фиг. 58.

приводится посредством вертикального валика от вала малой скорости редуктора. Зубчатая передача расположена со стороны высокого давления Т. Валовые уплотнения—гидравлич. типа. Регулирование сопловое, осуществляется двумя групповыми клапанами и отличается большой чувствительностью.

Т. Х а р ь к о в с к о г о т у р б о г е н е р а т о р н о г о з а в о д а. ХТГЗ в 1933—34 г.

выпускает первые турбины, которые строит по типу GEC. Турбина GE-ХТГЗ мощностью 50 000 kW при 1 500 об/м. (фиг. 58) активная, чисто конденсационная, одноцилиндровая, состоит из двухвенечного диска Кертиса и 16 ступеней давления. В отличие от европ. мощных современных Т. она имеет гребенчатый упорный подшипник и жесткую соединительную муфту. Регулирование количественное посредством групповых клапанов. Вся конструкция машины чрезвычайно солидная и надежная. В программе з-да имеются теплофикационные Т. той же мощности и чисто конденсационные мощностью 100 000 kW.

Лит.: Л о с е в С., Паровые турбогенераторы, ч. 1, Паровые турбины и конденсационные устройства, 3 изд., М.—Л., 1932; Ж и р и ц к и й Г., Паровые турбины, т. 1, 2 изд., Киев, 1930; Г р и н б е р г М., Крупное турбостроение в 1932 г., «Вестник всесоюзного объединения котлотурбинной промышленности», Л., 1933, *1*; е г о ж е, Советское энергооборудование к XV годовщине Октябрьской революции, «Тепло и сила», Москва, 1932, *10*.

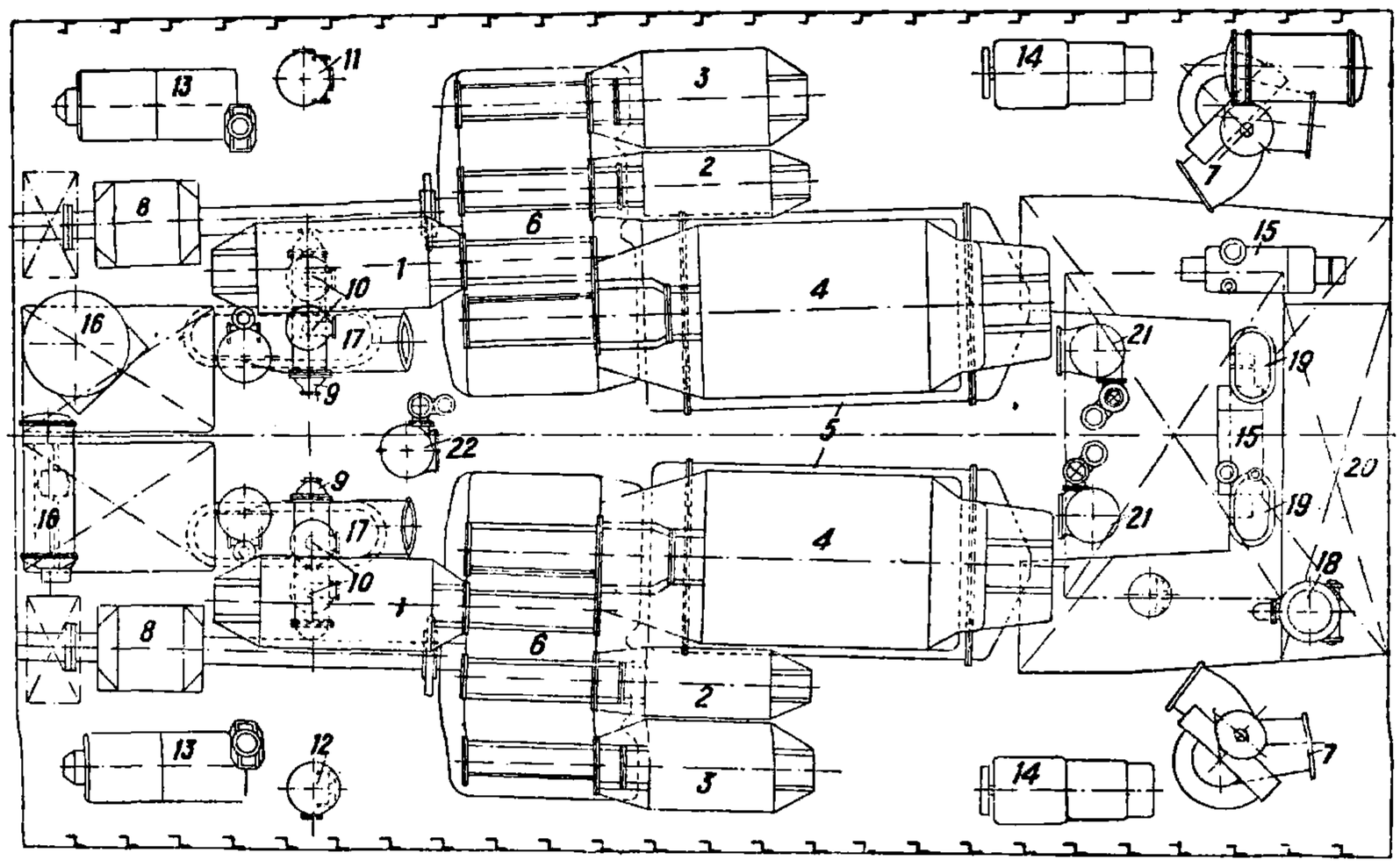
С. Лосев.

Т. судовые. В настоящее время паровые Т. находят применение в качестве главных двигателей на всех типах надводных судов при включении механической (зубчатой) или электрической передачи между Т. и гребным валом. В табл. 3 приведены числа оборотов Т. и гребных валов при полном ходе, характерные для различных типов судов.

Табл. 3.—Числа оборотов турбин и гребных валов.

Типы судна	Число гребн. валов и мощность агрегатов в HP	Число об/м. гребных валов	Число об/м. Т.
Колесный пароход	1× 1 500	45	7 500—5 800
Буксир	1× 1 000	125	7 000
Пором	2× 1 100	135	5 000
Грузов. пароход . .	1× 5 400	84	3 600
Пассаж. » . .	2×11 000	124	1 580
Эскадр. миноносец	2×20 000	480	4 200—3 200
Легкий крейсер . .	4×22 500	370	2 525
Линейный крейсер	4×36 000	210	1 500—1 100

Судовые передачи в большинстве случаев ставятся механические (зубчатые), т. к. они имеют следующие преимущества по сравнению с электропередачей: 1) потеря на трение в зубчатых передачах, применяемых для передаточных чисел не свыше 26 : 1, составляет не более 2% и в двойных—не свыше 4%, тогда как потеря в электрич. генераторах и моторах достигает ок. 10%; 2) отдельные части Т. при передаче редуктором м. б. спроектированы на более выгодные условия благодаря возможности выбора для них разных чисел оборотов, чем Т. для электрич. генератора, рассчитываемая на заранее заданное число оборотов; 3) вес и место, занимаемое передачей посредством редуктора, получаются меньшими, чем при электропередаче. Последняя имеет преимуществом отсутствие отдельных Т. для заднего хода, отнимающих на работу вхолостую при полном переднем ходе ок. 2% мощности, а кроме того и гибкость управления, так как при наличии нескольких гребных винтов любой генератор может работать в случае аварии на любой мотор. При малой мощности установки судно получает один турбинный агрегат, при средней—два и при большой (до 200 000 HP)—четыре; применение 3 агрегатов встречается сравнительно редко. На коммерч. судах Т. с редукторами располагают возможно ближе к корме для уменьшения длины промежуточных валов. На военных кораблях часто применяется из тактич. соображений поочередное размещение котельных и турбинных отделений. В каждом отделении располагают не более двух агрегатов. На судах с электропередачей Т. с генераторами размещают возможно ближе к котлам, а моторы—в корме судна. На фиг. 58а показано расположение турбинной установки на англ. эскадренном миноносце «Acheron» с вспомогательными механизмами, где *1*—Т. высокого давления, *2*—первая промежуточная Т. среднего давления, *3*—вторая промежуточная Т. среднего давления, *4*—Т. низкого давления, *5*—главный конденсатор, *6*—коробка редуктора, *7*—главный циркуляционный насос, *8*—упорные подшипники, *9*—охладитель для масла, *10*—масляный фильтр, *11*—насос морской воды для хозяйственных целей, *12* — пожарный насос, *13* — турбогенераторы, *14*—воздушные компрессоры, *15*—главный питательный насос, *16*—опреснитель, *17*—кингстоны, *18*—деаэратор, *19*—воздушный эжектор, *20*—бак питательной воды, *21*—воздушный турбонасос, *22*—воздушный насос с мотором.



Фиг. 58а.

В установках с зубчатыми передачами каждый турбинный агрегат обычно делится в настоящее время на 3 части: высокого давления ВД, среднего давления СД и низкого давления НД, реже на 2, при применении же пара высокого давления (а иногда из других соображений) встречается разделение на четыре части (фиг. 58а). Этим достигается помимо лучших условий работы отдельных частей значительное уменьшение размеров зубчатой передачи и повышение надежности действия в случае частичной аварии. При большом числе корпусов в одном агрегате не всегда удается разместить их все с одной стороны зубчатой передачи; тогда приходится одну из частей расположить с другой стороны или вынести вперед по сравнению с другими цилиндрами, удлинив соответственно вал Т. Для повышения экономичности работы

при уменьшенных ходах в Т. коммерч. судов довольствуются разбивкой насадок первой ступени, выполняемой обычно в виде 2-венечного колеса Кертиса, на несколько групп с закрываемыми в отдельности клапанами. На военных кораблях, к-рые ходят при уменьшенных скоростях значительно чаще, чем коммерч. суда, применяются кроме того отдельные, т. н. крейсерские, элементы. Они м. б. выполняемы в виде: 1) отдельной крейсерской Т., работающей обычно через особую зубчатую передачу на вал Т. высокого давления ВД и вращающейся вхолостую при полном ходе, будучи сообщенной в это время с холодильником; 2) крейсерских ступеней, установленных впереди или позади первого колеса Кертиса в корпусе Т. ВД и выключаемых из действия при полном ходе; 3) крейсерских ступеней, установленных в корпусе ВД позади первого колеса Кертиса и пропускающих при малом ходе весь пар и при полном ходе только часть общего расхода пара (ок. $^1/_6$); остальная часть пара минует при этом крейсерские ступени и, совершив работу в соответствующем числе главных ступеней, соединяется с паром, прошедшим через крейсерские ступени (последовательный и параллельный протоки).

Т. заднего хода обычно выполняются в виде двух активных ступеней, часто с двумя ступенями скорости, или в виде колеса Кертиса и короткой реактивной части. Они развивают до 50% мощности на полный передний ход на военных кораблях и до 75% этой же мощности на коммерч. судах. Части Т. заднего хода располагают в тех же корпусах, что и соответствующие по давлению части Т. переднего хода, но обычно Т. заднего хода делят на меньшее число частей, чем Т. переднего хода. Давление пара при впуске в Т. доходит весьма часто до 35—40 *atm* и темп-ра его до 400°. Разрежение в холодильниках обычно не превышает 93%. Холодильники применяются почти исключительно поверхностные с протоком циркуляционной воды внутри трубок один или несколько раз. Если позволяет высота турбинного отделения, то холодильник помещают под Т. НД с расположением его оси перпендикулярно или параллельно оси Т.; в последнем случае требуется специальное устройство фундаментов Т. для возможности выема трубок. При недостатке в высоте турбинного отделения холодильник располагают рядом с Т. НД. Охлаждающая поверхность холодильников на военных кораблях обычно не превышает 0,04 $м^2$ на 1 HP, на коммерч. судах она делается несколько большей. Главнейшими вспомогательными механизмами турбинных установок являются нижеследующие: 1) масляные насосы для подшипников Т. и зубчатых передач с фильтрами для очистки и охладителями для понижения $t°$ циркулирующего масла; 2) циркуляционные насосы для прокачивания забортной воды через трубки холодильников. Иногда холодильники устраиваются проточными, т. е. с использованием скорости хода корабля для циркуляции воды в холодильнике, и тогда требуются только небольшие насосы для малых скоростей и для заднего хода; 3) конденсационные насосы для удаления конденсирующегося в холодильниках пара, забираемого ими снизу при возможно высокой $t°$; 4) воздушные насосы для удаления попадающего в холодильники воздуха, забираемого из отдельной секции трубок при возможно низкой температуре.

Веса Т. с зубчатыми передачами и холодильниками изменяются на военных кораблях в зависимости от мощности агрегата согласно данным табл. 4.

Табл. 4.—Вес турбин военных кораблей.

Мощность турбинного агрегата, HP	10 000	20 000	30 000	40 000	50 000
Вес, *кг*/HP	6,8	5,7	4,7	3,9	3,4

Изменение веса Т. и редукторов в зависимости от мощности установок на коммерч. судах приведено в табл. 5.

Таб. 5.—Вес турбинных установок коммерческих кораблей.

Мощность установки, HP	1 500	3 000	6 000	10 000
Вес турбин, *кг*/HP	14,0	9,0—9,5	7,0—9,5	7,0—7,5
Вес зубчатых передач, *кг*/HP	17,0—17,5	13,5—14,5	10,5—13,5	10,0—11,0

Вес холодильников составляет в этом случае 30—40 *кг* на 1 $м^2$ поверхности охлаждения. Площадь пола турбинных отделений составляет на военных кораблях от 4 $м^2$ на 1 000 HP в установках с агрегатами средней мощности до 2,2—2,5 $м^2$ при агрегатах большой мощности; для коммерческих судов она указана в табл. 6, где приведены также габаритные размеры нескольких турбинных установок.

Табл. 6.—Габаритные размеры турбинных установок.

Тип судна	Мощность установки, HP	Габаритная длина: собств. турб., *м*	Габаритная длина: редуктора, *м*	Габаритная длина: общая длина установки, *м*	Наибол. габар. ширина установки без холодильн., *м*	Площ. пола, $м^2$ на 1 000 HP
Колесный пароход . . .	1× 1 500	2,60	4,40	7,00	5,15	64,1
Грузовой »	1× 1 660	2,95	0,75	6,70	3,90	75,6
Пассаж. »	2× 4 750	3,04	2,52	5,56	4,56	26,9
Пассаж. электроход . .	1× 4 750	4,45	генерат. 3,60 мотора 4,00	—	3,00 3,60	25,7
Грузовой пароход . . .	1× 8 000	3,00	5,07	8,07	5,55	11,9
Пассаж. » . . .	2×10 000	4,70	3,35	8,05	6,30	18,1
» » . . .	2×15 000	5,53	3,57	10,16	7,06	15,2
» » . . .	1×25 000	7,87	3,37	11,24	5,75	8,8
Сторожевое судно . . .	2× 1 750	3,15	1,59	4,74	2,50	26,3
Эскадр. миноносец . . .	2×17 000	5,27	2,34	9,79	3,80	4,6
Легкий крейсер	4×47 500	6,20	4,00	10,20	5,00	2,3

На судах паровая Т. применяется также в комбинированных установках при использовании отходящего пара цилиндра НД поршневой машины при работе на общий вал последней. При этом мощность установки повышается на 20—25% при том же расходе пара вследствие возможности расширения его в Т. до разрежения в 93% вместо 86%, достижимых в поршневых машинах. В установках этого типа Т. изготовляют быстроходной с небольшим числом реактивных ступеней и соединяют с валом паровой машины помощью двойной зубчатой передачи со включением в нее гидравлич. (в системе Bauer-Wach'a) или гибкой механич.

(в системах Парсонса и Броун-Бовери) муфты для устранения ударов в зубцах, могущих иметь место вследствие неравномерности вращающего момента поршневой машины. При заднем ходе судна Т. мятого пара автоматически выключается, и пар из машины поступает непосредственно в холодильник. В других системах Т. мятого пара используется на выработку электрич. энергии для компрессора, сжимающего пар, к-рый забирается из цилиндра ВД и направляется затем в цилиндр СД.

Лит.: Яновский М., Морские паровые турбины, Л., 1925; его же, Современные достижения в турбостроении, Л., 1926; его же, Современное состояние машинного дела, «Морской сборник», Л., 1922, *1—2*; его же, Зубчатая или электропередача, там же, 1922, *8—9*; его же, История развития судовой турбины и зубчатой передачи, там же, 1925, *10*; его же, Комбинированная паровая установка системы Bauer-Wach'a, там же, 1928, *7—8*; его же, Современное морское турбостроение, там же, 1932, *6*; Сурвило В., Энциклопедия судовых механизмов, Турбины, Л., 1931; Шестопалов Е., Судовые паровые турбины, Л., 1928; Sothern J., Marine Steam Turbine, 1926; Bauer G., Der Schiffsmaschinenbau, B. 2, Mch.—B., 1927; Stodola A., Dampf- u. Gasturbinen, B., 1924; Belluzzo G., Steam Turbines.

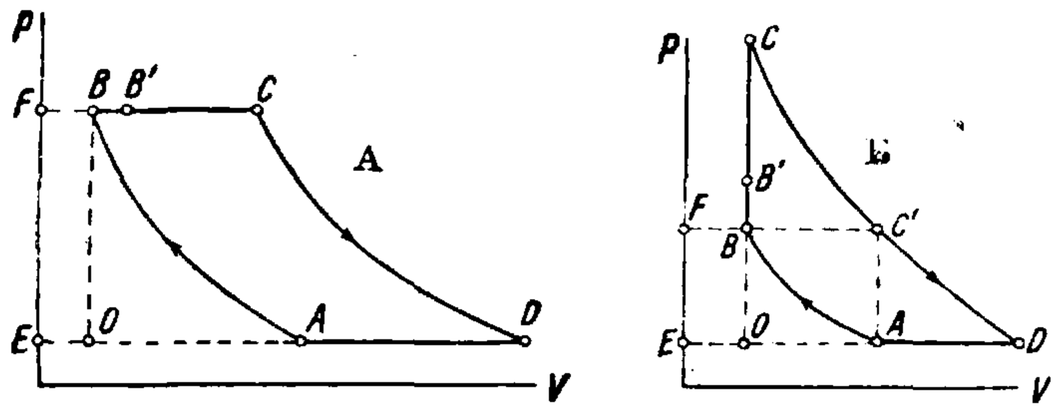
М. Яновский.

Т. газовые. Принцип действия и основной способ работы. В газовых Т., как в поршневых двигателях внутреннего сгорания, энергия горючего возможно прямым путем преобразуется в полезную механическую работу. Топливо м. б. при этом в газообразном, жидком или в порошкообразном состоянии (т. к. в газовых Т. ни рабочий заряд ни продукты сгорания не соприкасаются со смазанными поверхностями, то в этом отношении на пути осуществления Т., работающей на угольной пыли, меньше препятствий, чем у поршневого двигателя, работающего на угольной пыли). По сравнению с паровыми двигателями получается то преимущество, что отпадает котельная установка. По сравнению же с двигателями внутреннего сгорания можно ждать, по крайней мере при больших мощностях, таких же преимуществ, какие имеет паровая Т. по сравнению с поршневой паровой машиной, в особенности в отношении большого числа оборотов, совершенно равномерного и спокойного хода, а следовательно возможности установки на более легком фундаменте, достижения более высокой предельной мощности в отдельном агрегате, большей простоты в обслуживании и значительной экономии в расходе смазки. Напротив, другие значительные преимущества паровых Т. по сравнению с поршневой машиной, как то: значительно меньший вес и меньшие габаритные размеры и (при больших мощностях) лучший термич. кпд, в газотурбинной установке б. ч. невелики или же совсем недостижимы. Несмотря на все усилия до настоящего времени не удалось осуществить надежно действующую, экономичную в эксплоатации газовую Т. (исключая построенные в последнее время небольшие Т., работающие на отходящих газах двигателей внутреннего сгорания). Причины заключаются гл. обр. в трудностях подбора материалов в виду высоких $t°$ и вследствие неполучения до сего времени удовлетворительного термич. кпд. До тех пор пока нет твердой уверенности в том, что газовая Т. так же экономична (включая проценты на капитал и амортизацию основного капитала), как и паровая Т. или двигатель внутреннего сгорания (что от газовой Т. вероятно требует термич. кпд по крайней мере в 30%), особых побуждений для развития этого трудного типа машин не имеется; но достижение этой цели можно считать вероятным, даже не предъявляя слишком повышенных требований к $t°$-ной устойчивости материалов. В наст. время не осталось почти сомнений, что газовая Т. для успешной конкуренции с двигателем внутреннего сгорания и паровой Т. при полном использовании тепла должна в установке соединяться с паровой Т.

1. Превращение энергии. При полезной мощности N_t (в Нр; все другие величины, поскольку не оговорено, даются по системе *м, кг*, ск., а количества тепла в Cal), часовом расходе горючего G_h и низшей теплотворной способности топлива H_n величина термич. кпд двигателя внутреннего сгорания определяется по ф-ле:

$$\eta_t = \frac{632\,N_t}{G_h \cdot H_n}. \qquad (76)$$

В газовой Т. потенциальная энергия переходит в полезную работу таким же образом, как и в паровой Т., т. е. по крайней мере в одной рабочей ступени, состоящей из направляющего аппарата и рабочего колеса; при этом венец рабочего колеса может, как и в паровой Т., работать как ступень равного или избыточного давления. Расширение происходит или при установившемся движении потока, как в паровой Т., или же протекает при б. или м. сильных равномерных пульсациях давления и скорости. Для получения перепада давлений необходимо, как и у поршневых двигателей, горючее и воздух подвергнуть сжатию (и притом у газовых турбин всегда отдельно, для предупреждения появления преждевременных вспышек). При последующем горении наступает значительное увеличение объема, т. ч. работа расширения превышает работу сжатия и дает избыток для полезной работы. Для решения этой задачи предлагалось очень много рабочих схем, к-рые в основном можно подразделить на две группы. Группа с раздельными сжатием

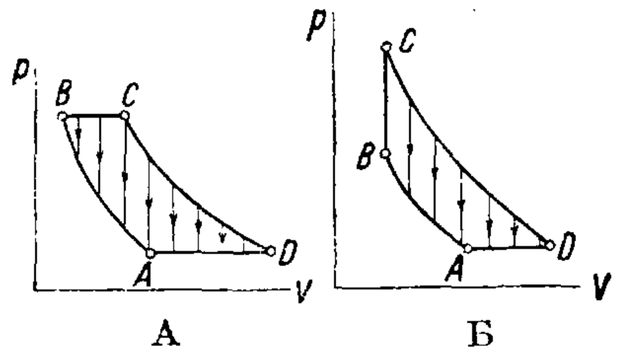


Фиг. 59.

и расширением. На фиг. 59 даны диаграммы процесса работы Т. в координатах pV: А—процесс с постоянным давлением и Б—процесс с постоянным объемом сгорания (p—давление, $V = g \cdot v$—объем, g—вес рабочих газов, v—уд. объем; линия AB изображает процесс сжатия, BC—сгорания, CD—расширения). В случае сжатия без потерь площадь $ABFEA$ представляет работу сжатия N_{k_0}. Действительная работа сжатия N_k с учетом кпд η_k составляет $\frac{N_{k_0}}{\eta_k}$. Площадь $BCDEFB$ при расширении без потерь соответствует работе N_{e_0} (в поршневых машинах работа сжатия соответствовала бы площади $ABOA$, а работа расширения—площади $BCDOB$. При равной разности этих площадей следовательно все превращения энергии, вместе взятые, становятся меньше, а условия работы в виду уменьшения потерь выгоднее). Действительная работа расширения при кпд η_e получается $N_e = \eta_e N_{e_0}$. В качестве полезной работы тогда остается

$$N_t = \eta_e N_{e_0} - \frac{N_{k_0}}{\eta_k}. \qquad (77)$$

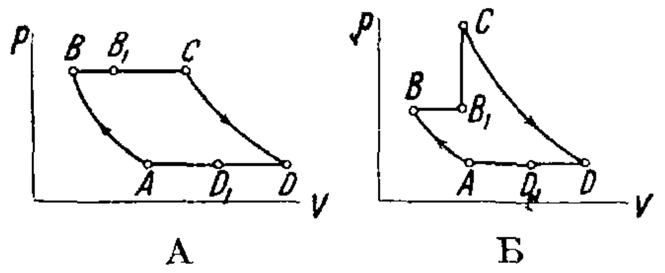
Группа с повышенным сжатием воздуха и горючего газа газами сгорания. Самым идеальным был бы очевидно такой способ, при к-ром газы сгорания могли бы расширяться соответственно вертикальным стрелкам (фиг. 60, А — сгорание при постоянном давлении, Б — сгорание при постоянном объеме) и устремляться непосредственно в наполненные зарядом камеры; при этом камеры более высокого и низкого давления могут соединяться и другим способом, как отмечено на фиг. 81 стрелками, что однако менее целесообразно. В то время как у первой группы (с раздельными сжатием и расширением) вся энергия площадей $ABFEA$ и $BCDEFB$ (фиг. 59) переходит из механической в потенциальную форму или наоборот, причем потери по сравнению с остающейся полезной работой будут относительно высоки, у второй группы с потерями связана только работа расширения соответственно площади $ABCDA$, и сжатие происходит без потерь, т. ч. кпд должен быть выше, чем у первой группы. Полезная отдача исчисляется в этом случае в



А Б
Фиг. 60.

$$N_t = \eta_e (N_{e_0} - N_{k_0}). \qquad (78)$$

При этом здесь, как и у 1-й группы, буквой N_{e_0} обозначается работа, соответствующая площади $BCDEFB$ на фиг. 59, хотя теперь истинная теоретич. работа расширения $N_{e_0} - N_{k_0}$ соответствует площади $ABCDA$ на фиг. 59. Сознавая б. или м. ясно связанные с последним способом выгоды, делали разные, пока безуспешные, попытки использовать газы сгорания хотя бы для частичного сжатия заряда (например Т. сист. Бетца [2, 8, 21]). Обычно при этом способе между газами сгорания и зарядом включается еще вспомогательное рабочее тело, которое может иметь форму газа или жидкости (напр. воздух или вода). В последнем случае для сжатия заряда часто пользуются еще силой инерции движущегося столба жидкости, аналогично насосу Гемфри (напр. предложение Штаубера). Недостаток всех этих способов состоит в том, что вследствие необходимости быстрого переключения соединительных трубок проводов между камерами высокого и низкого давления постоянно происходят резкие изменения как давлений, так и скоростей, причиняющие весьма крупные скоростные потери. В обеих группах сгорание может происходить или непрерывно при неизменяющемся давлении (метод постоянного давления, фиг. 59, А, фиг. 60, А) или же с перерывами, всякий раз при постоянном объеме (метод постоянного объема, или взрывной метод, фиг. 59, Б или 60, Б). Были предложены и смешанные способы с непрерывным сгоранием при периодически меняющейся интенсивности и соответственно меняющемся давлении. Особенное значение для газотурбины приобретает использование отходящего тепла в виду высокой $t°$ отходящих газов. Использовать его можно или для предварительного нагревания, идущего для горения сжатого воздуха (этот процесс изображен на фиг. 61, А, Б, где BB_1 — подогрев заряда выхлопными газами, B_1C — сгорание, DD_1 — охлаждение выхлопных газов зарядом), или же для образования пара в котле, причем пар расширяется в Т. низкого давления. В последнем случае установка значительно утрачивает простоту и принципиальное превосходство над обычными паровыми устройствами. Но так как регенераторы тепла благодаря размерам и высоким $t°$ представляют большие трудности и т. к., с другой стороны, частичное водяное охлаждение является вероятно неизбежным, то газотурбинные установки с использованием тепла в паровых Т. могут обещать наибольший успех. Газовые Т., не использующие тепла отходящих газов, на современном уровне развития машиностроения в области тепловых двигателей могут уже заранее считаться неспособными выдержать конкуренцию.

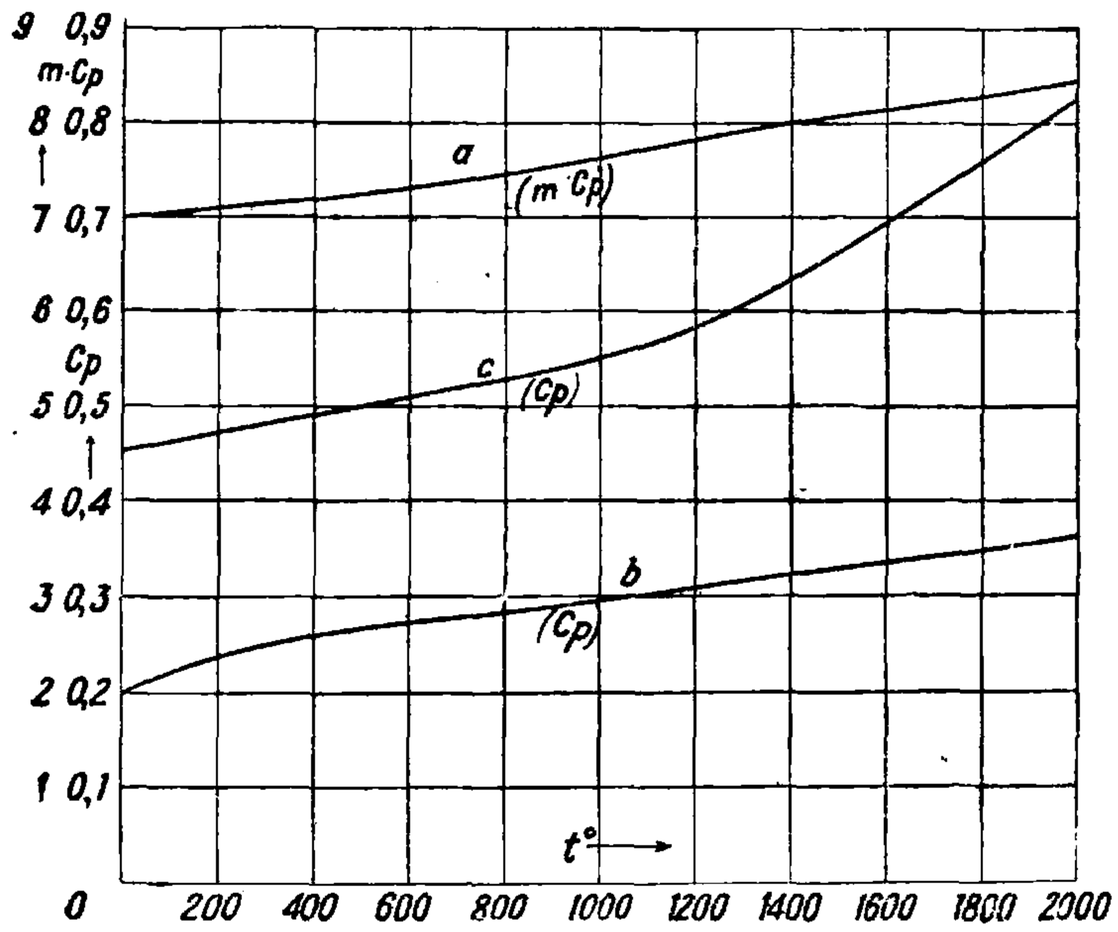


А Б
Фиг. 61.

Регулировка $t°$. Важным моментом является возможность ограничивать $t°$ нагрева материалов, подвергающихся воздействию со стороны продуктов сгорания. Этого можно прежде всего добиться путем ограничения $t°$ сгорания: а) с помощью большого избытка воздуха, б) посредством последовательного (ступенями) сжигания (т. е. после первого сжигания и частичного расширения подводится свежий горючий материал, после сгорания к-рого наступает дальнейшее расширение), в) посредством наружного охлаждения стенок водой или паром, г) внутренним охлаждением, т. е. введением воды или пара в камеру сгорания. Далее, при данной $t°$ сгорания можно $t°$ лопаток рабочего колеса, как рабочих частей, находящихся в наиболее опасном положении, держать на возможно низком $t°$-ном уровне посредством сильного расширения газов сгорания (в силу этого расширение должно происходить в одной ступени, для того чтобы получить при первоначальном небольшом давлении большую степень расширения; последнее можно вести до вакуума, причем охлажденные отходящие газы необходимо снова сжать до внешнего давления); посредством внутреннего охлаждения (водой, паром или рабочим воздухом) лопаток, сделанных пустотелыми (конструкция сложная, а потому дорогая и в работе ненадежная); с помощью наружного омывания охлаждающими средствами, причем через одну часть рабочего венца протекают горячие газы, а через остальную часть — охлаждающие средства (охлаждающий воздух или газ, а также пар). В этом случае имеется принципиальная возможность уменьшать $t°$ нагрева не только средней части лопаток, но и $t°$ кромок, к-рые подвергаются в этом отношении особенной опасности. Разумеется та же цель достигается и тогда, когда к рабочему венцу последовательно подводятся то газы сгорания то охлаждающие средства. Для многих рабочих схем возникают затруднения с регулировкой газовых Т. и пуском их в ход, но в это мы здесь глубже вникать не будем. При агрегатах, представляющих комбинацию газовых и паровых Т., нужно особое внимание обращать на то, чтобы при всяких условиях была обеспечена согласованность их в работе. Проблемы механич. прочности, вибраций и т. п. остаются совершенно те же, что и у паровых Т., однако затруднения в решении этих вопросов вследствие сильных влияний $t°$ возрастают.

2. Тепловая диаграмма газов. Теплоемкость. Расчет превращения

энергии в Т. газовых, как и в паровых, лучше всего производить с помощью энтропийной диаграммы. Последняя вычерчивается на основании теплоемкостей при постоянном давлении c_p. Строго говоря, теплоемкость изменяется в зависимости от рода газа, давления и $t°$, так что при газовых смесях переменного состава точное вычисление превращения энергии оказывается сложным. Но в двух отношениях допустимы



Фиг. 62.

значительные упрощения: во-первых, в области имеющих практич. значение давлений зависимость от них теплоемкости всегда настолько незначительна, что ею можно пренебречь и считать, что c_p и c_v меняются в зависимости только от $t°$. Во-вторых, все важные для газовых Т. двухатомные газы так мало разнятся между собой в отношении $m \cdot c_p$ или $m \cdot c_v$ (где m—мол. вес), что можно принять, что эта группа газов подчиняется общим законам. На фиг. 62 представлена зависимость c_p от $t°$ для важнейших составных частей продуктов сгорания [5,6]: кривая a—для двухатомных газов, b—для CO_2, c—для водяного пара.

Главнейшие изменения состояния. Из основных ур-ий:

$$pv = RT;\ c_p = c_v + AR = \frac{1{,}985}{m} \qquad (79)$$

(R—газовая постоянная, T—абс. $t°$, $A = {}^1/_{427}$ *кгм*/Cal—механич. эквивалент тепла) и ур-ия

$$dq = du + Ap\,dv = di - Av\,dp;$$
$$ds = \frac{dq}{T}$$

(для обратимых процессов), где dq—сообщенное тепло, u—внутренняя энергия, s—энтропия, также отнесенная к единице веса, а также и из ур-ий для газов, имеющих общее значение:

$$du = c_v \cdot dT;\ di = c_p \cdot dT,$$

вытекает напр. для изотермич. изменения состояния, для к-рого $dT = 0$, а следовательно:

$$i = \text{Const}, \qquad (80a)$$

$$s - s_1 = \frac{q}{T} = AR \cdot \ln\frac{p_1}{p} = AR \cdot \ln\frac{v}{v_1} \qquad (80b)$$

и для адиабатич. изменения состояния, для к-рого $dq = ds = 0$,

$$i - i_1 = \int_{T_1}^{T} c_p \cdot dT; \qquad (81a)$$

$$\ln\frac{p}{p_1} = \ln\frac{v_1}{v} - \ln\frac{T}{T_1} = \frac{1}{AR} \cdot \int_{T_1}^{T} \frac{c_p}{T}\,dT. \qquad (81b)$$

По этим данным можно вычертить энтропийную диаграмму. Т. к. i вместе с c_p также представляют ф-ию от T и т. к. p и v в приведенных выше ур-иях входят как отношения, то достаточно взять любую линию адиабаты и согласно фиг. 63 построить шкалы для i, t и p; из них первые две (для i и t) сохраняют значение и тогда, когда шкала для p множится на любой фактор пропорциональности. На фиг. 63: a—диаграмма для газов с двухатомными молекулами (m—молекулярный вес), b—для CO_2, c—для водяного пара. Для изменения состояния при постоянном давлении p тепло должно конечно подаваться в количестве

$$Q = i - i_1, \qquad (82a)$$

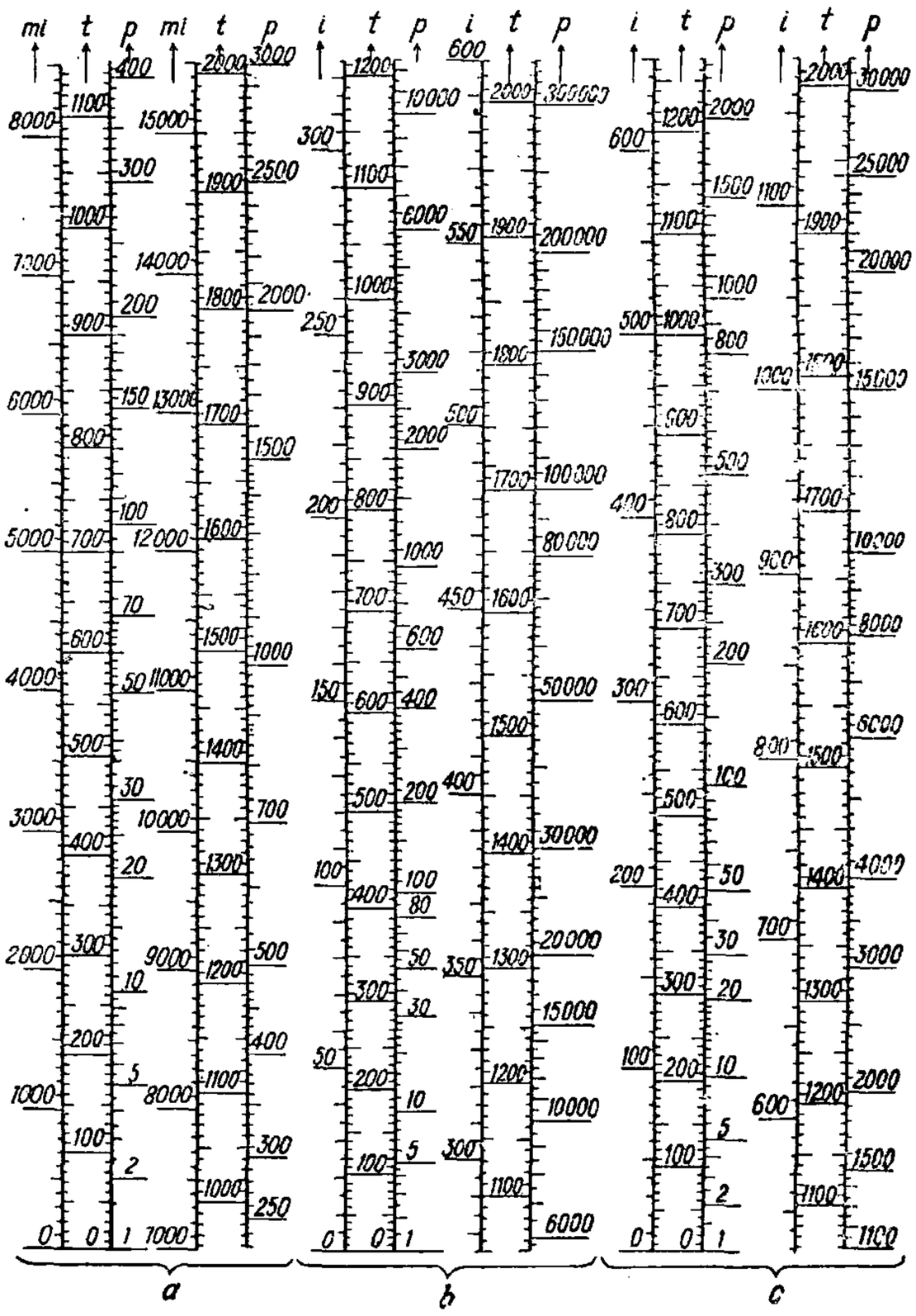
в то время как при постоянном объеме оно составит

$$Q = \int_{T_1}^{T} c_v \cdot dT = \int_{T_1}^{T} (c_p - AR)\,dT =$$
$$= i - i_1 - AR\,(T - T_1). \qquad (82b)$$

Согласно закону Авогадро $m \cdot v$ (где m—мол. в.) при равных $t°$ для всех газов одинаково, отсюда также

$$m \cdot R = \text{Const} = 848.$$

Для всех двухатомных газов величина $m \cdot c_p$ (или также $m \cdot c_v$) может считаться при равных



Фиг. 63.

$t°$ одинаковой; поэтому можно получить энтроп. диаграмму, одновременно пригодную для всех этих газов, если положить в основу диаграммы фиг. 63 (ср. также ур-ия 80a, 80b и 81a, 81b) не простые величины i, v, s, а вместо них величины $m \cdot i$, $m \cdot v$ и $m \cdot s$.

Газовые смеси. Как известно, для газовых смесей действует закон Дальтона, по к-рому общее давление p смеси складывается из

парциальных давлений отдельных газов, следовательно

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots$$

Если через n обозначить весовую долю, через n'—объемную долю для единицы смеси, то действуют известные соотношения (если в данном случае индексом $1, 2, \dots, i, \dots$ обозначать каждый раз вид газа):

$$R = n_1 R_1 + n_2 R_2 + \dots = \frac{848}{m}, \quad (83a)$$

$$c_p = n_1 c_{p_1} + n_2 c_{p_2} + \dots, \quad (83b)$$

$$c_v = n_1 c_{v_1} + n_2 c_{v_2} + \dots, \quad (83c)$$

$$m = \frac{848}{R} = n_1' m_1 + n_2' m_2 + \dots, \quad (83d)$$

$$n_i = n_i' \frac{R}{R_i} = n_i' \frac{m_i}{m}, \quad (83e)$$

причем $\sum n_i = \sum n_i' = 1$.

Содержащиеся в газовой смеси двухатомные газы всего лучше сводить в одну общую группу в виду одинаковой зависимости от темп-р их теплоемкостей.

Диссоциация. Все многоатомные газы при достаточно высокой $t°$ диссоциируют, т. е. распадаются на более простые составные части. Это явление возникает при тем более низких $t°$, чем больше атомов содержится в газовой молекуле. У двухатомных газов в пределах встречающихся на практике $t°$ сгорания диссоциация еще не замечается. При сгорании газов, имеющих более двух атомов, практически диссоциация может иметь место только у водяных паров и углекислоты, у к-рых распад начинается приблизительно при $t° = 1\,500°$, первые разлагаются на водород и кислород, последняя на окись углерода и кислород; однако степень разложения и при 2 000° очень мала как для первых, так и для вторых. Степень разложения регулируется химич. законом массового действия и зависит следовательно при данной $t°$ еще и от давления, концентрации газа и состава газовой смеси. Т. к. в Т. газовых из-за бережного отношения к материалам $t°$ свыше 1 500° ни в коем случае недопустима, то при расчетах трансформации энергии нет необходимости учитывать диссоциацию.

Стодола [1] и Шюле [6], опираясь на несколько различающиеся данные, составили энтропийные диаграммы, к-рые пригодны для всякого состава газа, имеющего практич. значение. Недавно Лютц [10] и Флаум [9] издали подробно проработанные диаграммы (последний уделил много внимания диссоциации).

3. Сжатие заряда. Потребное количество работы. Воздух [13,14] и горючий газ сжимаются или без охлаждения (в идеальном случае, следовательно адиабатически) или с охлаждением при постоянной $t°$. Т. к. при сжатии изменения $t°$ незначительны, то теплоемкость c_p, c_v (вместе с этим и $k = c_p/c_v$) может каждый раз считаться неизменной, и работа сжатия для секундного расхода $G = V_1\gamma_1$ определяется следующими выражениями: для адиабатич. сжатия

$$N_{k_0} = N_{a_d} = \frac{1}{75\,A} \cdot G\,(i_2 - i_1) = \frac{1}{75\,A} \cdot G c_p\,(t_2 - t_1)\ \text{HP}, \quad (84a)$$

повышение температур

$$t_2 - t_1 = (T_2 - T_1)_{ad} = T_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right]; \quad (84b)$$

для изотермич. сжатия (причем отводимая теплота соответствует затраченной работе)

$$N_{k_0} = N_{i_s} = \frac{1}{75} GRT_i \cdot \ln\frac{p_2}{p_1} = \frac{1}{75} p_1 V_1 \cdot \ln\frac{p_2}{p_1}. \quad (85)$$

Действительно, потребная работа сжатия

$$N_k = N_{k_0}/\eta_k.$$

Если через T_m обозначить среднюю абсолютную $t°$, около к-рой колеблются в различных ступенях темп-ры T, а через η_s средний кпд ступени (к-рый при не слишком узких колесах колеблется от 0,70 до 0,80), а величину, учитывающую трение колеса, потери на неплотность в уплотняющих сальниках высокого давления и механич. сопротивление, обозначить через ε—обычно $\varepsilon = 0{,}06 \div 0{,}10$,—то для действительной работы сжатия N_k имеет место и следующее соотношение:

$$N_k = \frac{GRT_m}{(1-\varepsilon)\cdot\eta_s} \cdot \ln\frac{p_2}{p_1}. \quad (86)$$

При большой степени сжатия требуется всегда охлаждение, т. к. иначе поднялась бы $t°$, и работа сжатия слишком возросла бы. При этом кпд составляет для турбокомпрессоров приблизительно $\eta_k = \eta_{is} = 0{,}60 \div 0{,}65$, а для поршневых компрессоров соответственно 0,70—0,75 (к-рые однако при газовых Т. в расчет почти не идут). При меньших отношениях сжатия ($p_2/p_1 < 2$) и сжатии без охлаждения за кпд можно принять при турбокомпрессорах приблизительно $\eta_k = \eta_{ad} = 0{,}70 \div 0{,}75$ (чем сильнее сжатие, тем меньше) и при поршневых компрессорах $\sim 0{,}80$, причем действительное нагревание составляет

$$T_2 - T_1 \cong (T_2 - T_1)_{ad} : \eta_{ad}.$$

При жидком горючем к работе сжатия нужно присчитать также работу, расходуемую на насос для горючего. Но в виду незначительности последней ею всегда можно пренебречь, и поэтому термич. кпд достигается более высокий, чем при газообразном горючем. Наконец к работе N_k относится еще расход энергии по приведению в действие необходимых вспомогательных машин (напр. промежуточная, циркуляционная и отсасывающая воздуходувки).

Определение главных размеров компрессора. В поршневом компрессоре с цилиндром двойного действия ежесекундно всасываемый объем составляет

$$V_1 = G \cdot v_1 = 2\lambda \cdot \frac{n}{60} \cdot V_z, \quad (87)$$

при этом V_z означает рабочий объем цилиндра, n—число об/м. и λ—коэф. подачи (при цилиндре простого действия всасывается конечно вдвое меньшее количество). Коэф. подачи тем меньше, чем сильнее сжатие в цилиндре (при слабом сжатии $\lambda = 0{,}90 \div 0{,}95$, при степени сжатия $p_2/p_1 = 4$ приблизительно $\lambda = 0{,}80 \div 0{,}85$; при $p_2/p_1 = 8$ коэф. подачи λ приблизительно равен $0{,}72 \div 0{,}76$). Если дан всасываемый объем V_1 и число оборотов n, то вышеуказанное ур-ие позволяет определить размеры цилиндра. При степенях сжатия p_2/p_1, начиная с 6, рекомендуется переходить к двухступенчатой конструкции компрессора, причем целесообразно выбирать для каждого цилиндра приблизительно одинаковое отношение сжатия. Для центробежных компрессоров, о к-рых, по крайней мере при большой производительности, единственно может итти речь, для всасываемого в секунду объема V_1 имеется следующее соотношение:

$$V_1 = \xi d_0^2 \frac{\pi}{4} \cdot c_0.$$

(В нем d_0 означает диам. входа первого рабочего колеса, c_0—скорость потока в этом месте и ξ—коэф. сужения, учитывающий сужение поперечного сечения втулкой и валом.) Это ур-ие можно выразить и в другой форме:

$$V_1 = \frac{\pi}{4} \cdot \xi \cdot \left(\frac{d_0}{d}\right)^2 \cdot \left(\frac{d}{D_1}\right)^2 \cdot \frac{c_0}{u_1} \cdot u_1 \cdot D_1^2, \qquad (88)$$

где d означает диам. при входе, D_1—диам. при выходе из первого колеса, $u_1 = D_1 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60}$ — соответствующую окружную скорость и n—число об/м. У первого колеса можно обычно считать, что $\xi = 0{,}85 \div 0{,}90$;

$$\frac{d_0}{d} = 1; \quad \frac{d}{D_1} = \sim 0{,}6; \quad \frac{c_0}{u_1} = \sim 0{,}30;$$

для полного числа оборотов окружную скорость u_1 обычно принимают равной *200—220 м/ск*. Тогда вышеуказанным уравнением определяется D_1, а тем самым и соответствующее u_1 число оборотов n. При подаче очень больших количеств воздуха компрессоры конструируются со всасыванием с двух сторон. При данном отношении сжатия p_2/p_1 конечный объем V_2 известен; для него можно записать соотношение

$$V_2 = D_2 \pi B \cdot c_{r_2} = \frac{\pi^2}{60} \cdot nB \cdot \frac{c_{r_2}}{u_2} \cdot D_2^2, \qquad (89)$$

где D_2 означает диаметр, B—ширину выхода последнего рабочего колеса, c_{r_2}—радиальную скорость выхода и $u_2 = D_2 \cdot \pi \cdot n/60$—окружную скорость. Для последней ступени выбирают обычно $c_{r_2}/u_2 = 0{,}15 \div 0{,}20$ (меньшие величины при сильном сжатии). Так как число оборотов n обычно известно, то при выбранной ширине B колеса можно с помощью вышеприведенного соотношения вычислить диам. D_2, и наоборот. Для того чтобы при сильном сжатии не слишком падал кпд в высоких ступенях давления, ширина B последнего рабочего колеса по возможности не должна быть ниже 20 *мм*. Если мы примем, что h—высота напора в одной ступени, u—окружная скорость, g—ускорение силы тяжести, μ—т. н. число давления, к-рое колеблется у наиболее распространенных видов рабочих колес ок. 1,2, c_u—касательная слагающая скорости выхода из рабочего колеса, η_s—кпд ступени, то имеет место следующее соотношение:

$$h = \mu \cdot \frac{u^2}{2g} = \eta_s \cdot \frac{c_u \cdot u}{g}. \qquad (90)$$

По этому соотношению можно с помощью тр-ка скоростей выхода определить число давления. Далее для суммы всех последовательно включенных ступеней имеет место следующее ур-ие:

$$\Sigma h = \frac{\mu_m}{2g} \cdot \Sigma u^2 = RT_m \cdot \ln \frac{p_2}{p_1} \qquad (91)$$

(в к-ром μ_m является средней величиной от μ и T_m представляет вышеупомянутую среднюю $t°$ ступени). Здесь можно определить T_m на основании приблизительной оценки из ур-ия (86), задавшись η_k, и тогда произвести определение величины Σu^2. Т. к. величины u_1, u_2 для первой и последней ступеней уже известны, то для всех промежуточных ступеней диам. колес легко м. б. найдены; посредством Σu^2 определяем тогда число ступеней. После более точного расчета ступеней легко проконтролировать среднюю величину T_m с помощью соотношения:

$$T_m = \frac{\Sigma(hT)}{\Sigma h},$$

где T обозначает среднюю температуру каждой данной ступени.

4. Сгорание. Химические процессы [5, 11, 12]. Опыт котельных топок и двигателей внутреннего сгорания учит, что громадное значение для скорости сгорания имеет тонкость и равномерность в распределении горючего вещества, а также перемешивание его во время сгорания с воздухом. Чем полнее удовлетворяются эти требования, тем меньше при стационарном сжигании м. б. отопительная камера, тем быстрее могут при прерывистом сжигании следовать один за другим рабочие периоды, если нет других задерживающих влияний. При высоких $t°$ сгорания появляются благодаря явлениям диссоциации осложнения. Но уже в разделе 3 мы указывали, что в газовых Т. благодаря сравнительно низким $t°$ сгорания, обусловленным соображениями бережливого отношения к материалам, сколько-нибудь заметной диссоциации еще не появляется, так что можно ее здесь игнорировать. На основании ур-ий для происходящих при сгорании химич. превращений, напр.

$$CO + \frac{1}{2} O_2 = CO_2 \quad + 2\,440 \text{ Cal}, \qquad (92a)$$

$$C + O_2 = CO_2 \quad + 8\,050 \text{ Cal}, \qquad (92b)$$

$$H_2 + \frac{1}{2} O_2 = H_2O \quad + 34\,000 \text{ Cal}, \qquad (92c)$$

$$S + O_2 = SO_2 \quad + 2\,500 \text{ Cal}, \qquad (92d)$$

в которых числа обозначают количество выделенного тепла (при постоянном давлении), соответствующее 1 *кг* горючего, можно прежде всего вычислить низшую теплопроизводительность H_u горючего любого состава, напр. для твердого топлива и для нефти

$$H_u = 8\,050\ \text{C} + 28\,000 \left(\text{H} - \frac{\text{O}}{8}\right) + 2\,500\ \text{S} - 600\ \text{w}, \qquad (93a)$$

для обычных горючих газов

$$H_u = 2\,440\ \text{CO} + 28\,000\ \text{H} + 11\,900\ \text{CH}_4 + 11\,100\ \text{skw}. \qquad (93b)$$

В этих ур-иях C, CO, H и т. д. обозначают весовую долю соответствующего горючего, w—содержание воды, skw—содержание тяжелых углеводородов. Таким же образом можно на основании этих ур-ий найти для единицы веса с помощью молекулярного веса теоретически необходимый вес воздуха $g_{l_{min}}$ для сгорания C, CO, H и S, содержащихся в 1 *кг* топлива:

$$g_{l_{min}} = \frac{1}{0{,}23} \cdot \left[\frac{16}{28}\text{CO} + \frac{32}{12}\text{C} + 8\left(\text{H} - \frac{\text{O}}{8}\right) + \text{S}\right], \qquad (94)$$

причем содержащиеся в горючем соединения представляют расщепившимися, напр. CH_4 на C и H. Фактич. потребность в воздухе (g_l) всегда больше; в газовых Т. обыкновенно по меньшей мере вдвое больше. Точно так же количество (в *кг*) и состав продуктов сгорания, приходящихся на одну весовую единицу горючего, определяются из ур-ия

$$g_v = \left[\frac{28}{12}\text{CO} + \frac{44}{12}\text{C}\right]_{CO_2} + \left[\frac{18}{2}\text{H} + \text{w}\right]_{H_2O} + \left[\frac{64}{32}\text{S}\right]_{SO_2} + \left[0{,}23\,(g_l - g_{l_{min}})\right]_{O_2} + \left[0{,}77\,g_l\right]_{N_2} + b, \qquad (95)$$

где соединения, как и выше, должны считаться расщепленными. При этом b указывает количество содержащихся в топливе летучих инертных веществ (напр. азота), а индекс позади скобки—род газа. Сгорание может происходить при постоянном давлении или постоянном объеме; в соответствии с этим следует, строго

говоря, различать два рода теплопроизводительностей H_p и H_v, причем

$$H_p = H_v + Ap\,(V_1 - V_1'),$$

где V_1 представляет объем участвующих в сгорании составных частей до сгорания, V_1'—то же после сгорания, отнесенные к давлению и $t°$ перед сгоранием и к единице веса горючего. Но на практике можно пренебречь разницей в виду ее незначительности. Очень незначительную изменяемость теплоемкости при первоначальной темп-ре t_1' можно также оставлять без внимания.

Процесс сгорания [11]. Обыкновенно надо различать два рода химич. превращений, а именно: 1) состояние химич. равновесия, к-рое определяется законом действующих масс и при к-ром происходит длительное разложение и новообразование одинакового количества вещества, т. е. диссоциация-ассоциация, и 2) процессы, протекающие в одном направлении (необратимые), как например процесс сгорания. Ниже известных температур скоростью превращений можно пренебречь, но выше этих границ она обычно вместе с $t°$ б. или м. быстро нарастает. В односторонних превращениях с большим положительным выделением тепла последняя точка (граница) играет большую роль; в ней скорость превращения настолько велика, что выделение тепла превосходит отдачу тепла через соприкосновение и излучение, т. ч. вследствие обусловленного этим быстрого подъема температуры превращение резко ускоряется. В процессе сжигания эта точка называется точкой воспламенения. Скорость превращения можно повысить искусственно (в связи с чем понижается точка воспламенения): а) посредством теснейшего перемешивания находящихся во взаимодействии веществ, б) при помощи катализаторов, какими могут служить как твердые тела в виду их поверхностного действия, так и газообразные вещества (напр. водяной пар во время процесса сгорания). При горении прежде всего происходит быстрое и все же минующее многие промежуточные ступени расщепление (первоначальных) соединений углерода на простейшие горючие составные части — C, CO и H. При этом едва ли подлежит сомнению, что уголь, сгорая, никогда не переходит непосредственно в CO_2, но всегда первоначально в CO (соединяясь с кислородом воздуха). В то время как водород вследствие своей способности к интенсивным реакциям (быстрота воспламенения) сгорает всегда легко и без остатка, CO еще до момента своего окисления в CO_2 вследствие много меньшей скорости превращения всегда может охладиться ниже $t°$ точки воспламенения. При сгорании углерода в CO отделяются обычно тончайшие частицы пыли и на лету соединяются с кислородом. Образуется светящееся пламя, но и здесь может наступить преждевременное охлаждение ниже точки воспламенения и связанное с этим выделение сажи. Т. к. раскаленный уголь является прекрасным катализатором, то и при соприкосновении его поверхности с воздухом происходит интенсивное сгорание (без пламени, если не отрывается частиц угля, как напр. при сгорании кокса). При сжигании в топке действуют в качестве катализаторов (кроме самого раскаленного угля) гл. обр. металлич. стенки или шамотовая обмуровка топочного пространства (при условии достаточно высокой $t°$ катализатором мог бы служить всякий твердый материал сам по себе); действию при этом подвергаются исключительно газообразные составные части. К тому же чрезвычайно благоприятно действует на процесс сгорания обратным излучением тепла высокая $t°$ стенок топочного пространства и в случае кратковременного перерыва в подаче горючего способствует немедленному его воспламенению. Однако при некоторых условиях действие стенок в качестве катализаторов может иметь и очень нежелательные последствия, поскольку из летучих составных частей горючего отщепляется углерод, т. ч. в районах высокой $t°$ может возникнуть коксование, а в низкой—выделение сажи. В Т. трудности, препятствующие хорошему сгоранию, особенно велики: при прерывистом сгорании—вследствие кратковременности периодов горения, при непрерывном сгорании—вследствие малого объема камер сгорания. Поэтому приходится с особенной заботливостью активировать все способствующее горению, исключая в то же время помехи.

Конечное состояние. Чтобы определить конечное состояние после сгорания, прежде всего предполагают, что заряд, первоначально сжатый до давления p_2 при постоянной начальной темп-ре, сгорая, полностью превратился в продукты сгорания. При этом как следствие изменения газовой постоянной R_L заряда на R_V для продуктов сгорания при постоянном давлении p_2 устанавливается другой объем V_2' (соответственно шагу BB' на фиг. 59, А) или же при постоянном объеме V_2 другое давление p_2' (отрезок BB' на фиг. 59, Б). Эти изменения можно определить следующим ур-ием:

$$\frac{p_2 \cdot V_2}{p_2' \cdot V_2} = \frac{G_L \cdot R_L}{G_V \cdot R_V} \qquad (96)$$

(G_L—вес газообразных составных частей заряда, G_V—вес газообразных продуктов сгорания). Для определения величины изменения объема при сгорании можно пользоваться также уравнением (92). Конечное состояние получается, если принять, что к продуктам сгорания, находящимся в данном первоначальном состоянии (точка B'), подведено количество тепла, соответствующее теплопроизводительности; тогда на основании первого закона термодинамики согласно ур-ию, действительному и для случая сгорания при постоянном давлении и для случая сгорания при постоянном объеме, имеем:

$$G_b \cdot H_u - Q_t + AV \cdot (p_2 - p_1) = G \cdot (i_2 - i_1) + G' (i_2' - i_1') + G'' \cdot (i_2'' - i_1'') + \ldots \qquad (97)$$

При этом G_b представляет использованное горючее, Q_t — количество тепла, отведенного наружу теплопроводностью или излучением (различное в зависимости от обстоятельств и оцениваемое первоначально приблизительно); в правой части член, содержащий G, относится к двухатомным, члены G' и G''—к различным многоатомным составным частям смеси. При этом всего лучше принять конечную темп-ру $t_{20} = t_2 + \Delta t$ первоначально на основании приблизительной оценки (t_{20} представляет истинную конечную $t°$), чем определяются соответствующие значения p_{20}, i_{20} и c_p. Т. к. $di = c_p \cdot dt$, то из вышеприведенного ур-ия вытекает соотношение:

$$\Delta t \cdot \left[G \cdot c_p + G' \cdot c_p' + G'' \cdot c_p'' + \ldots - \frac{AV \cdot p_{20}}{T_{20}}\right] = G_b \cdot H_u - Q_t + AV \cdot (p_{20} - p_1) - G \cdot (i_{20} - i_1) - G' \cdot (i_{20}' - i_1') - G'' \cdot (i_{20}'' - i_1'') - \ldots, \qquad (97a)$$

по к-рому можно вычислить возможную ошибку в оценке Δt. При постоянном давлении в этих ур-иях члены с V естественно отпадают.

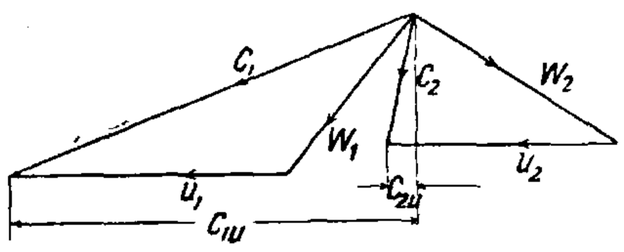
5. Расширение продуктов сгорания. Образование скорости и преобразование энергии. В газовых Т. встречаются самые различные возможности расширения. Законы расширения те же, что и в паровых Т. Если H_d обозначает адиабатич. теплопадение, соответствующее падению давления p_a (перед соплом) до p_1 (позади такового), которое берется из i—s-диаграммы, а c_a—скорость выпуска из предыдущей (смежной) ступени (следовательно $c_a = 0$, когда скорость выпуска не используется), то скорость c_1 выхода из сопла вычисляется из ур-ия:

$$c_1 \varphi = {}_1 \cdot \sqrt{\frac{2g}{A} \cdot H_d + c_a^2}, \qquad (98)$$

где $A = {}^1/_{427}$—механич. эквивалент тепла, g—ускорение силы тяжести, причем следовательно $2g/A = 8\,380 = 91{,}5^2$. Коэф. скорости φ составляет обычно от 0,85 до 0,95; при потоке, не имеющем потерь, φ равно 1. Скорость w_2 выхода из рабочего канала определяется ур-ием:

$$w_2 = \psi \cdot \sqrt{\frac{2g}{A} \cdot H_r + w_1^2}, \qquad (99a)$$

где H_r означает адиабатич. теплопадение, использованное в рабочем колесе, соответственно падению давления с p_1 (перед рабочим колесом) до p_2 после рабочего колеса, w_1—относительную скорость входа в рабочее колесо (к-рая получается из тр-ка скоростей при входе, фиг. 64), где ψ— коэф. скорости; это ур-ие при ступенях равного давления упрощается (т. к. $H_r = 0$) и примет вид:



Фиг. 64.

$$w_2 = \psi \cdot w_1. \qquad (99b)$$

Поперечные сечения канала (особенно при выходе у сопел и рабочих каналов) можно тогда вычислить по ур-ию неразрывности, если дано секундное весовое количество:

$$G = F_d \cdot c \cdot \gamma_d = F_r \cdot w \cdot \gamma_r, \qquad (100)$$

где F_d, F_r означают площади поперечного сечения сопла или рабочего канала, а γ—уд. вес для этого состояния; уд. вес γ или объем $v = \frac{1}{\gamma}$ можно для данного состояния определить из i—s-диаграмм. Если скорость c_1 больше скорости звука, то следует так же, как и в паровых Т., применять расширяющиеся сопла (Лаваля), причем в наименьшем поперечном сечении устанавливается скорость газа, равная скорости звука, и давление, приблизительно вдвое меньшее по сравнению с первоначальным давлением p_a перед соплом. Действующие на рабочие лопатки силы потока создают согласно теории Эйлера момент вращения

$$M = \frac{G}{g}(c_{1u} \cdot R_1 - c_{2u} \cdot R_2), \qquad (101)$$

где скорости c_{1u}, c_{2u} являются касательными слагаемыми абсолютных скоростей входа или выхода из рабочего колеса (c_{1u}, c_{2u} берут из тр-ков скоростей, фиг. 64), а R_1, R_2—средние радиусы рабочего венца в этих местах. Т. к. обычно $R_1 = R_2 = R$, то при угловой скорости ω (если $u = R\omega$ является окружной скоростью) мощность колеса составляет (в Р):

$$N_u' = \frac{1}{75} \cdot \frac{G}{g} \cdot u\,(c_{1u} - c_{2u}). \qquad (102)$$

Если $H' = H + \frac{A}{2g}(c_a^2 - c_2^2)$ означает фактически использованное теплопадение, где $H = H_d + H_r$ представляет адиабатич. теплопадение в ступени, H_d—адиабатич. теплопадение в сопле, H_r—адиабатич. теплопадение в рабочем колесе, c_a—скорость выпуска из предыдущей ступени, c_2—абсолютную скорость выхода из рабочего венца (берется из тр-ка скорости выхода), $A = {}^1/_{427}$—механич. эквивалент тепла, то мощность работающей без потерь машины составляет (в Р)

$$N_0 = \frac{1}{75} \cdot \frac{1}{A} \cdot G \cdot H'. \qquad (103)$$

Если $H' = A/2g \cdot c_0^2$ (следовательно $c_0 = 91{,}5\sqrt{H'}$ и представляет соответствующую теплопадению H' адиабатич. скорость), то кпд определяется соотношением:

$$\eta_u = \frac{N_u'}{N_0'} = 2u \cdot \frac{c_{1u} - c_{2u}}{c_0^2}. \qquad (104)$$

Отношение скоростей $\nu = u : c_0$ характеризует как скорость ступени, так и ее кпд. В зависимости от ν кпд η_u протекает по параболе и достигает своего наивысшего значения η_u при $\nu \cong \frac{1}{2}$ (при ступенях равного давления всего целесообразнее взять ν несколько ниже, а при ступенях с большей степенью реактивности—немного выше). Наилучший кпд будет иметь место тогда, когда скорость выхода c_2 приблизительно перпендикулярна к окружной скорости. Если дано H—теплопадение в одной ступени, то выбором $\nu = u/c_0$ определяется окружная скорость u и при данном числе оборотов, тем самым также и диам. колеса ступени. Общая мощность на окружности колеса группы ступеней составляет $N_u = \Sigma N_u'$. Фактич. мощность машины выразится тогда ур-ием

$$N_e = \frac{N_u}{1+\varepsilon} = \frac{\eta_u}{1+\varepsilon} \cdot N_{e0} = \eta_e \cdot N_{e0}, \qquad (105a)$$

где благодаря коэф-ту ε учтены дополнительные потери в силу неплотности сальников, трений колеса и механич. сопротивлений в подшипниках и где $N_{e_0} = \frac{1}{75} \cdot \frac{1}{A} \cdot G \cdot H_0$ представляет мощность машины без потерь, H_0—общее теплопадение всей группы ступеней и η_e—кпд машины. Если машина работает в условиях, для к-рых комплект лопаток стал неподходящим (вследствие изменения нагрузки, первоначального состояния или конечного давления или же числа оборотов), то сохраняют значение те же соотношения, как и в паровых Т., в к-рые мы здесь глубже вдаваться не будем (см. ниже Т. паровые).

Расчет мощности при переменных начальном и конечном давлениях; i—G-диаграммы. В настоящем изложении предполагалось, что господствует установившееся состояние потока. Если таковой временно изменяется, то, строго говоря, появляются дополнительные силы ускорения, влияющие на скорость. На практике это влияние однако всегда настолько незначительно, что им можно пренебречь и можно вычислять скорость по теплопадению с помощью вышеприведенных ур-ий с достаточной точностью. Протекающее количество газа м. б. тогда определено по приближенному (в виду изменения γ по времени τ), но все же достаточно точному ур-ию:

$$dG = F_d \cdot c \cdot \gamma_d \cdot d\tau = F_r \cdot w \cdot \gamma_r \cdot d\tau. \qquad (105b)$$

Момент вращения вычисляется в этом случае из уравнения:

$$M = \frac{1}{g} \cdot \frac{dG}{d\tau} \cdot (c_{1u} \cdot R_i - c_{2u} \cdot R_2),$$

и взамен определения мощностей N'_u или N'_o лучше определять диференциал работы

$$dE_0 = \frac{1}{A} \cdot dG \cdot H',$$

$$dE = \frac{dG}{g} \cdot u\,(c_{1u} - c_{2u}) = \eta_u \cdot dE_0.$$

Т. к. при переменном состоянии потока возникает непрерывный ряд совершенно одинаковых рабочих периодов, то для полного рабочего периода превращение энергии составит:

$$E_0 = \frac{1}{A} \cdot \int H' \cdot dG, \qquad (106a)$$

$$E = \frac{1}{A} \cdot \int \eta_u \cdot H' \cdot dG. \qquad (106b)$$

Следовательно при z рабочих периодах в ск. мощность составит

$$N_{e_0} = \frac{z \cdot E_0}{75}, \qquad (107a)$$

$$N_e = \eta_e \cdot N_{e_0}. \qquad (107b)$$

Чтобы получить общее представление, достаточно следовательно произвести расчет превращения энергии для машины, работающей без потерь, т. е. вычислить выражение $\int H' dG$ для одного рабочего периода, а также помножить соответствующую полезную мощность N_{e_0} на величину η_e, соответствующую среднему отношению скорости газа и окружной скорости рабочего колеса для данной Т.

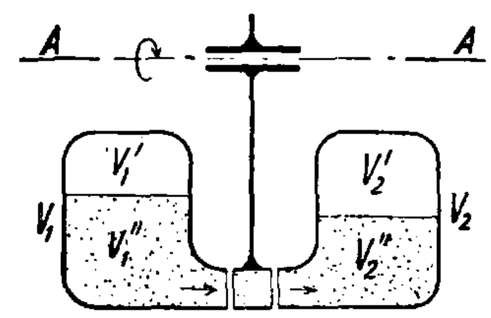
В обычном случае газы при выхлопе от объема V расширяются до постоянного конечного давления p_b. Изменение состояния в камере происходит при этом адиабатически, и с помощью энтропийной диаграммы можно при данном первоначальном состоянии (давление p_a) определить находящееся в камере количество $G' = V/v$ (G'_a означает первоначальную величину при давлении p_a) для всякого более низкого давления p и тем самым величину $\int H\,dG$ (предполагая, что превращение энергии происходит без потерь). Т. к. вытекшее количество $G = G'_a - G'$ и т. к. при адиабатическом расширении $di = A \cdot v \cdot dp$ [отсюда $\int_{p_a}^{p} G'\,di = -AV\,(p_a - p)$], то вместо вышеуказанного ур-ия можно использовать и другое:

$$\int_{p_a}^{p} H\,dG = \int_{p_a}^{p} (i - i_b)\,dG = i\,(G'_a - G') -$$

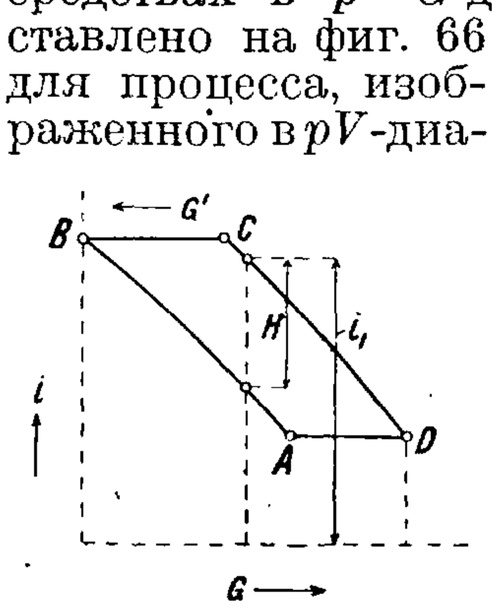
$$- \int_{p_a}^{p} (G'_a - G')\,di - i_b\,(G'_a - G') = G'_a \cdot (i_a - i_b) -$$

$$- G' \cdot (i - i_b) - AV\,(p_a - p). \qquad (108)$$

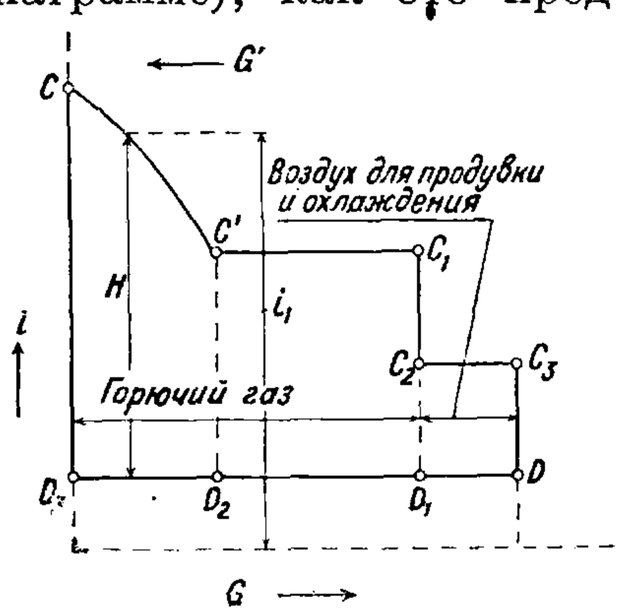
В другом типичном случае газы сгорания расширяются согласно фиг. 65 в пространстве, имеющем объем $V_1 = V'_1 + V''_1$ (V'_1 означает частичный объем горящих газов), вытесняя вспомогательное средство в пространство $V_2 = V'_2 + V''_2$ (где V'_2 представляет частичный объем заряда), заполненное зарядом более низкого давления; при этом вспомогательное средство разрежается, сообщая работу рабочему колесу. Изменения количеств в камерах при наличии предпосылки, что состояние адиабатически или иным образом меняется, определяются в зависимости от давлений по энтропийной диаграмме, причем для перетекающего количества остается всегда действительным условие непрерывности (уравнение 100а), и скорости протекания c и w в устьях каналов вычисляются, как и у паровых Т., посредством ур-ий (80а). При этом камеры сгорания со своими устьями (соплами) обыкновенно расположены неподвижно, и переход происходит через рабочее колесо, однако им можно с таким же успехом придавать форму вращающихся частей с неподвижно расположенными соединительными каналами (фиг. 80). При подобных способах работы Т. предусматривается в качестве вспомогательного средства жидкость—вода («мокрые» газовые Т. в противоположность Т. в собственном смысле слова, или «сухим» Т.). Тогда для вычисления производительности тепловой напор H заменяется напорной высотой p, а в ур-ии (106) вместо H/A должна быть поставлена величина p/γ—уд. в. жидкости. При перетекании вспомогательной жидкости вместо понижения имеет место повышение давления, которого можно достигнуть не только силами инерции масс жидкости, но и конструкцией рабочего колеса в виде насоса. В тех случаях, когда условия потока подвержены во время рабочего периода сильным изменениям, становится целесообразным изображение процесса расширения (или и всего процесса в целом) в i—G-диаграмме (при жидких вспомогательных средствах в p—G-диаграмме), как это представлено на фиг. 66 для процесса, изображенного в pV-диаграмме на фиг. 60, А, и на фиг. 67 для процесса расширения CD цикла, изображенного на фиг. 59, Б, где G—количество, заключенное в камере сжатия, G'—вытекающее количество. Очерченная площадь представляет тогда согласно уравнению (106) идеальную полезную работу. Этот род изображения имеет еще то большое преимущество, что он с полной четкостью показывает изменения теплового перепада $H = c_0^2 A/2g$, а тем самым и величины отношения $c_0 : u$ (которое, как и в паровых Т., имеет решающее значение для качества превращения энергии).



Фиг. 65.



Фиг. 66.



Фиг. 67.

Определение адиабатического теплопадения. Пусть H представляет тепловой перепад и t_b—конечную темп-ру при адиабатическом расширении газовой смеси от первоначального состояния p_a, t_a до конечного давления p_b. Для непосредственного определения этих величин следует собственно для каждого рода смеси вычерчивать отдельную i—s-диаграмму, что до настоящего времени всегда и делалось (хотя и в практически упрощенной

форме). Но величину перепада можно также определять, предполагая, что расширение всех двухатомных газов идет совместно, а прочие расширяются адиабатически—каждый отдельно до конечного давления p_b. Тогда если H' означает имеющийся тепловой перепад, а t'_b—конечную $t°$, к-рая всегда несколько отличается от t_b, то перепад H можно с достаточным приближением вычислить по ур-ию:

$$H = \Sigma nH', \qquad (109)$$

где n—весовая доля данного газа в смеси, в то время как общая конечная темп-ра t_m после окончательного смешения составных частей определяется из ур-ия:

$$\Sigma nc'_p (t'_b - t_m) = 0. \qquad (110)$$

Если принять ориентировочно конечную температуру равной $t'_m = t_m + \Delta t$ для того, чтобы иметь возможность вычислить теплоемкости c_p, то допущенная при ориентировочном определении ошибка определится из ур-ия:

$$\Delta t = \frac{\Sigma nc'_p (t'_b - t_m)}{\Sigma nc'_p}. \qquad (110a)$$

Это определяет также и конечный объем такой расширяющейся смеси. Сделанную при этом вычислении небольшую ошибку можно выявить сл. обр.: при адиабатич. расширении газовой смеси с первоначального давления p_a до конечного давления p_b устанавливается конечная темп-ра t_b. При адиабатич. расширении каждого газа в отдельности конечная темп-ра t'_b, как уже было замечено, была бы несколько иной; происходящее затем при конечном давлении p_b смешение этих газов, приводящее к темп-ре смеси t_m, представляет необратимый процесс, к-рый неоспоримо связан с увеличением энтропии, т. ч. темп-ра смеси t_m необходимо д. б. несколько больше действительной конечной темп-ры t_b. Верное значение t_b получилось бы очевидно в том случае, если бы при смешении энтропия не изменялась, т. е. если было бы выдержано условие:

$$\sum \int_{t'_b}^{t_b} n \cdot c'_p \cdot \frac{dT}{T} = 0,$$

где n означает весовую долю какого-нибудь газа в смеси, а c'_p—его удельную теплоемкость. Иначе это условие выражается также сл. обр.:

$$\sum \int_{t'_b}^{t_m} n \cdot c'_p \cdot \frac{dT}{T} + \sum \int_{t_m}^{t_b} n \cdot c_p \cdot \frac{dT}{T} = 0.$$

Т. к. интегрировать приходится только на малом интервале темп-ры, то с введением соответствующих средних величин для c'_p и T можно довольно точно положить:

$$\sum \left[n \cdot c'_p \frac{t_m - t'_b}{\frac{1}{2}(T_m + T'_b)} \right] + \sum \left[n \cdot c'_p \frac{t_b - t_m}{\frac{1}{2}(T_b + T_m)} \right] = 0,$$

$$\frac{1}{T_m} \cdot \sum \left[n \cdot c'_p \cdot (t_m - t'_b) \left(1 + \frac{t_m - t'_b}{2T_m} \right) \right] +$$

$$+ \frac{t_b - t_m}{T_m} \cdot \left(1 - \frac{t_b - t_m}{2T_m} \right) \cdot \Sigma n \cdot c_p = 0.$$

Т. к. вследствие теплообмена при смешении $\Sigma n \cdot c'_p \cdot (t_m - t'_b)$ д. б. равным нулю, то разница темп-р $t_m - t_b$ вычисляется по упрощенному уравнению

$$t_m - t_b = \Phi \cdot \left(1 - \frac{\Phi}{2T_m} \right) \cong \Phi, \qquad (111)$$

где для сокращения принято

$$\Phi = \frac{\Sigma [n \cdot c'_p \cdot (t_m - t'_b)^2]}{2T_m \cdot \Sigma n \cdot c'_p}.$$

После этого можно следовательно вычислить точно и темп-ру t_b. В виду большого избытка воздуха, с к-рым газовая Т. должна всегда работать, можно не учитывать влияния вышеуказанной разницы темп-р на практике вследствие ее незначительности. Т. к. все встречающиеся в технике горючие газы практически состоят только из двухатомных газов, окиси углерода и водяного пара, то после всего вышеизложенного совершенно достаточно для решения всех подобных задач диаграммы фиг. 63, на к-рой даны значения молярного теплосодержания mi для двухатомных газов (диаграмма a) с соответствующими значениями t и p, а также теплосодержания i для углекислоты (диаграмма b) и водяного пара (диаграмма c). Давления p, соответствующие адиабатич. изменениям состояний, выражены в относительных числах и следовательно пригодны для любого сжатия или расширения.

6. Охлаждение. Теплопередача. Уже указывалось, какими мероприятиями можно защитить от чрезмерного нагревания материал, подвергающийся воздействию высоких $t°$. При этом нужно прежде всего различать внутреннее и наружное охлаждение лопаток. При внутреннем охлаждении водой или введением пара охлаждающее действие можно рассчитать по уравнению (97). Т. к. водяной пар при его высокой теплоте парообразования отводится в данном случае еще и при высокой $t°$ выхлопа, то из-за больших тепловых потерь внутреннее охлаждение более интенсивно влияет на снижение термич. кпд по сравнению с другими способами охлаждения. При наружном охлаждении, имеющем практич. интерес, стенки картера можно сравнительно легко и верно держать всегда на уровне достаточно низкой $t°$. Но уже гораздо труднее дается охлаждение подвергающихся влиянию горящих газов направляющих лопаток (к-рые в случае нужды должны строиться полыми) и всего труднее условия охлаждения лопаток рабочего колеса. В обоих последних случаях можно считать, что всего целесообразнее удерживать низкую $t°$ охлаждением, действующим периодически, что подробнее описано ниже. При наружном охлаждении камеры сгорания отнятая теплота расходуется обыкновенно на образование или перегрев пара. При установившемся состоянии количество отведенного тепла определяется из ур-ия:

$$Q_t = \int k \cdot \Delta t \cdot dF \qquad (112)$$

(где Δt—разница темп-р между газом и средством охлаждения, F—охлаждаемая поверхность); при периодически меняющихся состояниях вместо k и Δt следует поставить средние величины. Коэф. теплопередачи k определяется при этом ур-ием.

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1 + \alpha_s} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta}{\lambda}, \qquad (113)$$

где α_1 и α_s означают коэф. теплопередачи от горящих газов к стенкам от соприкосновений или излучения, α_2—ту же величину от стенок к средству охлаждения, δ и λ—толщину и теплопроводность стенок.

Охлаждение периодически действующими средствами. Если лопат-

ки рабочего колеса попеременно подвергаются воздействию то горячих газов сгорания то охлаждающих средств, то мгновенная средняя темп-ра t_s лопаток определяется из ур-ия:

$$k \cdot F (t - t_s) \cdot d\tau = G \cdot c \cdot dt,$$

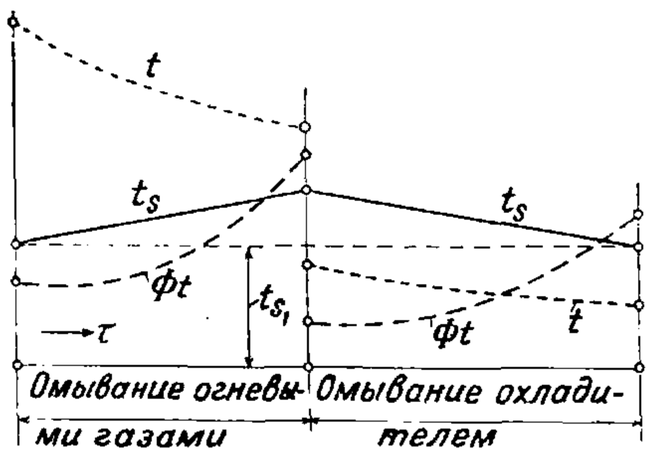
где t представляет мгновенную темп-ру газов или охлаждающей среды, омывающей поверхность F лопаток, G—вес лопаток, c—теплоемкость материала лопаток, $d\tau = \frac{ds}{u}$—элемент времени $\left(\text{следовательно } \tau = \frac{s}{u}\right)$, u—окружная скорость и ds—путь, пройденный лопатками рабочего колеса. Если коэфициент теплопередачи k рассматривать с достаточной точностью как постоянную, то интегрирование этого уравнения дает

$$t_s = \frac{1}{\Phi_1}\left(t_{s_1} + \frac{kF}{Gc}\int_0^{\tau} \Phi_1 \cdot t \cdot d\tau\right), \quad (114)$$

где

$$\Phi_1 = e^{\frac{kF}{Gc}\cdot\tau}.$$

Первоначальное значение t_{s_1} вытекает из того условия, что после интегрирования полного рабочего периода t_s должно снова быть равным t_{s_1} (фиг. 68). Чтобы вычислить k, является целесообразным брать среднюю величину t_s сначала ориентировочно. Если лопатки по ходу процесса попеременно омываются двумя различными газами, как предположено на фиг. 68, и значение k колеблется вследствие этого между двумя величинами, то в ур-ии (114) при переходе из одной области в другую вместе с k меняется разумеется и Φ. Если темп-ра t в какой-нибудь момент в разных местах поверхности лопаток различна, то приведенное ур-ие действительно также и для любого отрезка лопаток, если пренебречь внутренней теплопроводностью лопаток. Благодаря этому можно наивысшие точки $t°$ лопаток в наиболее опасных местах приблизительно определить сравнительно простой графической интеграцией. О более точном способе расчета охлаждения см. [1].



Фиг. 68.

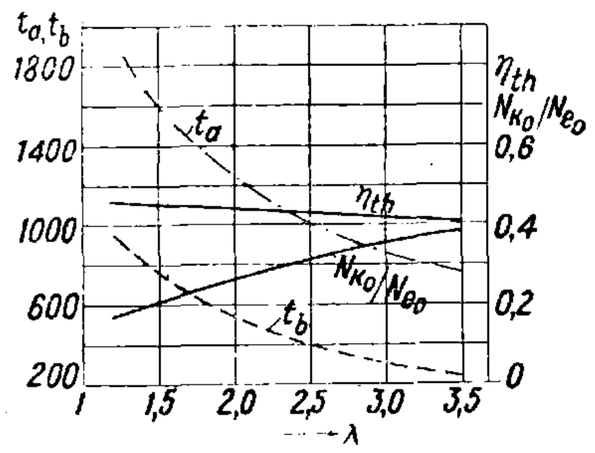
7. Т. с сгоранием по циклу постоянного давления. На основании вышеизложенных термодинамич. принципов можно различные способы работы Т. проверить путем вычисления термич. кпд (что будет изложено в последующем).

Т. постоянного давления без использования уходящего тепла. Для отдельных моментов этого способа можно необходимые соотношения вычислить при помощи фиг. 59, А. В виду желательности ограничения $t°$ сгорания и $t°$ уходящих газов избыток воздуха [теоретически он определяется по ур-ию (94) на основании состава горючей смеси] необходимо всегда брать достаточно большим. Для процесса AB работа сжатия определяется ур-ием (85) и равенством $N_k = N_{k_0}/\eta_k$ (в виду повышенной компрессии производится всегда охлаждение). Для процесса BC (сгорание при постоянном давлении согласно фиг. 59, А) необходимо определить конечное состояние, т. е. $t°$ сгорания и состав горючих газов. Для расширения (процесс CD) работу расширения двух- и многоатомных составных частей горючих газов, а также конечную $t°$ определяют на основе изложенного в разделе 5. Этим определяется вся работа расширения N_e, а вместе с тем полезная работа $N_t = N_e - N_k$; термич. кпд м. б. вычислен по ур-ию (76).

Турбины постоянного давления с использованием уходящего тепла. Уходящее тепло сгоревших газов м. б. использовано или для предварительного нагревания заряда или для парообразования. Предварительное нагревание воздуха является особенно желательным, т. к. дает возможность добиться хорошего кпд без добавления подвижных частей, как в предыдущем случае. Однако в виду высокой $t°$ уходящих газов и очень большого объема регенераторов тепла постройка таких Т., надежных в эксплоатации, представляет большие трудности. Кроме того предварительный подогрев воздуха имеет тот недостаток, что при неменяющемся избытке воздуха повышается $t°$ горения или же при постоянстве последней увеличивается избыток воздуха, а вместе с тем и потери уходящего тепла. При использовании уходящего тепла для предварительного нагрева уходящими газами воздуха сначала согласно фиг. 61 нагревается сжатый заряд (процесс BB_1). Принимая во внимание материал стенок, $t°$ предварительно нагретого заряда не д. б. допущена слишком высокой—максимально ок. 500°. При этом разница между конечной $t°$ подогретого заряда и начальной $t°$ уходящих газов должна для сохранения интенсивного обмена теплоты быть не менее 100°. причем для снижения $t°$ стенок предполагается, что обмен тепла происходит по прямоточному процессу. В остальном ход вычислений такой же, как при способе постоянного давления без использования тепла уходящих газов. Если теплом уходящих горящих газов пользуются для образования пара, к-рый, расширяясь до вакуума, дает полезную работу в паровой Т., то применимо следующее ур-ие:

$$\eta_K \cdot G_v \cdot (i_b - i_c) + Q_t = G_d \cdot (i_d - i_w), \quad (115)$$

при этом G_v означает количество уходящих газов, $i_b - i_c$—количество взятой от них на единицу веса теплоты (i_b—теплосодержание означенных газов при выходе из турбины, i_c—теплосодержание, соответствующее конечной $t°$ приблизительно в 200°), Q_t—количество тепла в случае его притока из каких-либо других источников, G_d—количество образованного уходящими газами пара, i_d—теплосодержание этого пара, i_w—то же питательной воды, η_K—кпд котла, работающего от отходящих газов. Полезная мощность N_e' (в HP), получаемая от количества пара G_d (в *кг/ск*),



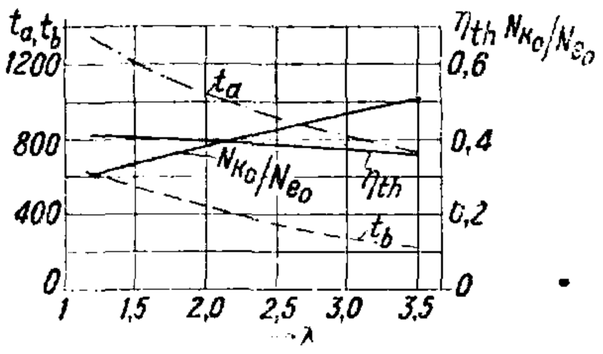
Фиг. 69.

$$N_e' = \frac{\eta_e}{75 \cdot A} \cdot G_d \cdot H_t', \quad (116)$$

где H_t' означает адиабатич. теплопадение, а η_e—кпд паровой Т., д. б. прибавлена к работе расширения газов сгорания. Уходящие газы

не д. б. охлаждаемы ниже 200° в виду вредного влияния конденсации (возможность коррозии).

Числовой пример. Фиг. 69 и 70 дают значения главнейших величин для идеальных условий (изотермическое сжатие и адиабатич. расширение) Т. постоянного давления, работающих на неочищенной нефти (фиг. 69) и на колошниковом газе (фиг. 70), при давлении горения $p_2 = p_a = 16$ *atm* абс. в зависимости от избытка воздуха λ. На фиг. 69 и 70 обозначают: кривые t_a и t_b—темп-ру горения и конечную $t°$ расширения, η_{th}—термич. кпд, $\frac{N_{k_0}}{N_{e_0}}$—отношение работ сжатия и расширения при начальном давлении сжатия p_1, равном конечному давлению расширения $p_b = 1{,}036$ *atm* абс. Если термич. кпд для известной величины λ по такой диаграмме составляет η_{th}, то истинный кпд исчисляется напр. для действительной машины с раздельным сжатием заряда, при прочих равных условиях, с помощью ур-ий (59) и (60) как



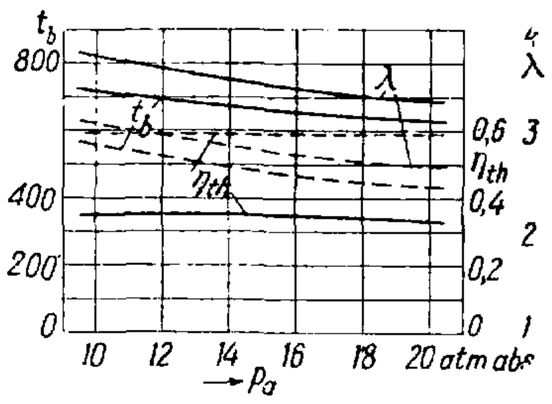
Фиг. 70.

$$\eta'_{th} = \eta_{th} \cdot \frac{\eta_e - \frac{1}{\eta_k} \cdot \frac{N_{k0}}{N_{e0}}}{1 - \frac{N_{k0}}{N_{e0}}},$$

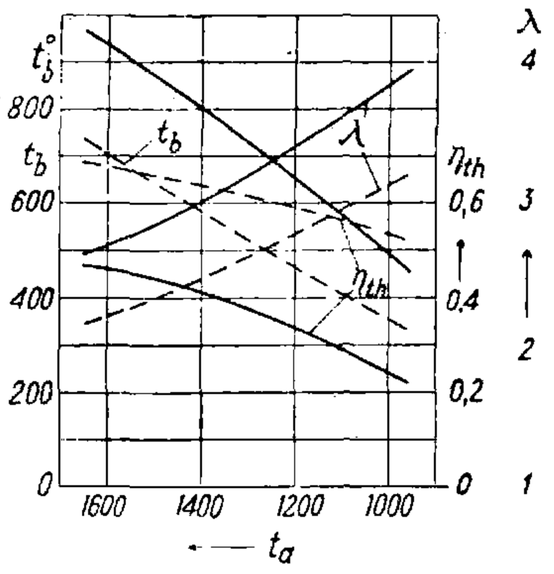
причем несколько более высокая конечная t_b тоже легко отыскивается. В машине же со сжатием заряда посредством отходящих газов он исчислялся бы как

$$\eta'_{th} = \eta_{th} \cdot \eta_e.$$

Фиг. 71 и 72 дают значения наиболее важных величин для нефтяных Т. с использованием уходящего тепла для подогрева воздуха для горения. Числовые величины находятся в зависимости от давления горения p_a при постоянной $t°$ горения $t_b = 1\,200°$ (фиг. 71) или темп-ры горения t_a при постоянном давлении горения $p_a = p_2 = 16$ *a m* абс. и притом относятся как к идеальной машине (пунктирные кривые), так и к действительной машине с раздельным сжатием (сплошные кривые) и следующими значениями для кпд: $\eta_k = \eta_{is} = 0{,}65$; $\eta_e = 0{,}75$. С помощью диаграмм фиг. 69 и 70, пользуясь уравнениями (115) и (116), можно легко определить также и общий термич. кпд, если тепло уходящих горящих газов применяется для получения пара, производящего в паровой Т. дополнительную работу.



Фиг. 71.



Фиг. 72.

8. Т. с быстрым сгоранием. В Т. с быстрым сгоранием, пригодных гл. обр. только для газообразных горючих, можно в общем довольствоваться сравнительно незначительным сжатием, т. к. существенная часть всего сжатия в целом производится с помощью процесса сгорания. Это обстоятельство представляет значительное преимущество перед сгоранием при постоянном давлении, поскольку приходится затрачивать значительно меньшую работу сжатия.

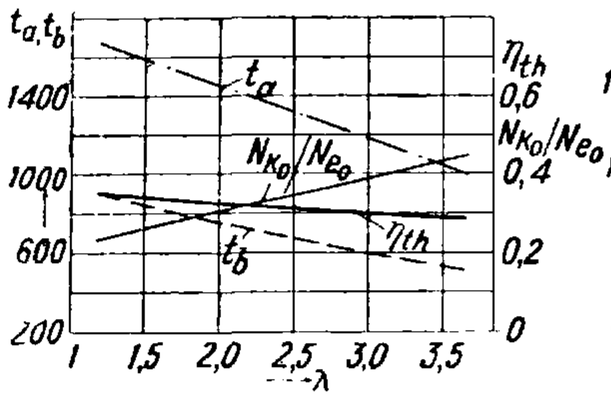
Т. с быстрым сгоранием без использования уходящего тепла. При обыкновенном способе (напр. как в Т. сист. Гольцварта) сжатие до давления p_2 (процесс AB, фиг. 59, Б) происходит в отдельной стационарной установке. Каждый раз после зарядки камера сгорания на бо́льшую часть времени горения (участок кривой BC) запирается. Она опоражнивается непосредственно через сопла, пока давление не упадет снова до величины p_2 (участок CC'). Потом открывается впуск (сначала для воздуха, потом для горючего), и давление в топочном пространстве остается нек-рое время неизменным; при этом проникающий воздух вытесняет сначала через сопла газы сгорания, а затем для продувки камеры сгорания и особенно для охлаждения лопаток протекает еще известное количество воздуха (на фиг. 67 эти процессы выражены яснее, чем на фиг. 59, Б). Наконец с непосредственно к этому примыкающей вспышки начинается новый рабочий цикл. Ясно, что в силу больших рабочих скоростей и вследствие трудностей, связанных с высокими $t°$, постройка надежной в эксплоатации Т. с быстрым сгоранием, у к-рой процесс управляется клапанным распределением, почти невозможна. Поэтому изобретатели стремились к созданию конструкции с автоматически действующим золотниковым распределением.

Т. к. здесь вследствие сравнительно незначительного повышения давления во время сжатия охлаждения обыкновенно не требуется, то на основании ур-ия (84а) мощность сжатия исчисляется в $N_k = \frac{N_{k_0}}{\eta_k}$. Во время начального периода расширения (процесс CC' фиг. 59, Б и фиг. 67) теплопадение H вследствие понижения давления в камере сгорания изменяется; работа расширения отдельных составных частей газа исчисляется или на основании ур-ия (106) путем определения величины площади $CC'D_2D_3C$ (фиг. 67) или же, в идеальном случае, более простым образом с помощью уравнения (108). Остальные части работы расширения в виду постоянства соответственного теплопадения отыскиваются легко. В виду переменного теплопадения H кпд будет конечно ниже, чем при однообразном состоянии потока, т. к. лопатки данного рабочего колеса рассчитаны только на один определенный перепад тепла (на данную скорость). Как уже упоминалось выше, в турбинах с быстрым сгоранием имеется тоже возможность вместо раздельного сжатия и разрежения устроить сжатие заряда посредством газов сгорания и при этом по мере возможности стремиться к достижению идеального процесса, указанного на фиг. 60, Б.

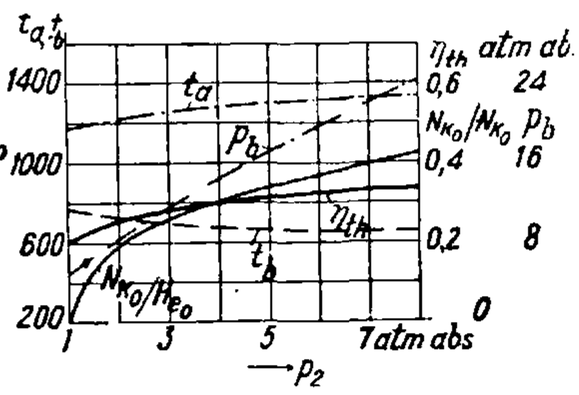
Т. с быстрым сгоранием с использованием уходящего тепла. При подогревании заряда отходящими газами наступает прежде всего согласно фиг. 61, Б увеличение объема, соответствующее участку кривой BB_1, а к нему примыкает сгорание B_1C. В отношении $t°$ при использовании уходящего тепла действуют те же условия, что при процессе с постоянным давлением. При использовании уходящего тепла для образования пара

дополнительная мощность исчисляется так же, как для турбин постоянного давления.

Ч и с л о в ы е п р и м е р ы. На фиг. 73 и 74 даны кривые, изображающие зависимость максимальной темп-ры сгорания t_a, темп-ры в конце расширения t_b, термич. кпд η_{th}, мак-

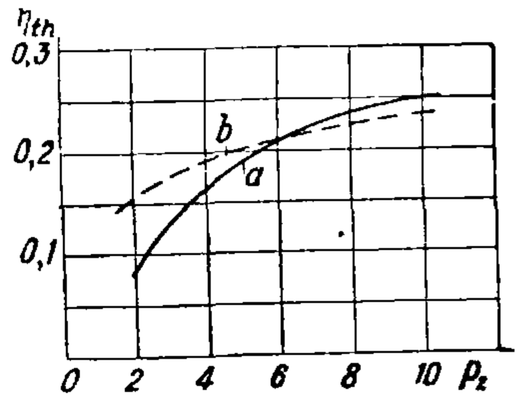


Фиг. 73.

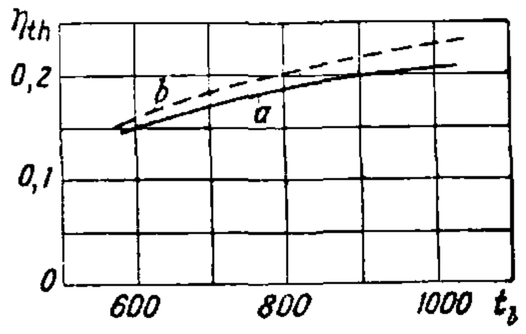


Фиг. 74.

симального давления сгорания p_b и отношения мощности адиабатич. сжатия и адиабатич. расширения N_{k_0}/N_{e_0} для идеальной (адиабатич. сжатие и адиабатич. расширение) газовой Т. с быстрым сгоранием, работающей на колошниковом газе при начальном давлении сжатия p_a, равном конечному давлению расширения $p_b = 1{,}036$ *atm* абс. При этом на фиг. 73 дана зависимость указанных величин (за исключением p_b) от коэф. избытка воздуха λ при давлении сжатия $p_2 = 5$ *atm* абс. = Const, а на фиг. 74—зависимость от p_2 при $\lambda = 2{,}5 = \text{Const}$. Эти кривые могут быть применены, как было указано выше на фиг. 71 и 72, для вычисления достижимого на практике термического кпд при данных значениях η_e и η_k. Фиг. 75 и 76 дают нек-рое представление об изменении термич. кпд при двух почти исключительно имеющих значение на практике случаях: при использовании уходящего тепла для нагрева заряда (кривые *a*) или образовании рабочего пара для конденсационной турбины (кривые *b*), а именно как в отношении влияния конечного давления сжатия p_2 при приблизительно наивысшей допустимой конечной $t°$ расширения $t_b = 800°$ (фиг. 75), так и в отношении влияния различных



Фиг. 75.

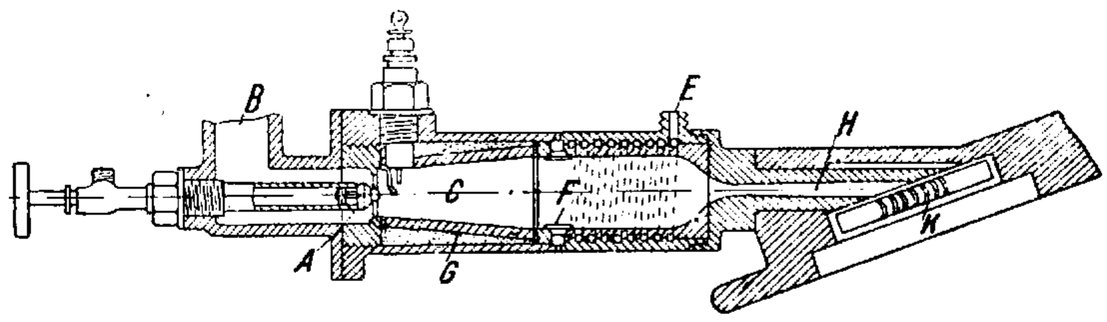


Фиг. 76.

конечных темп-р t_b при постоянном давлении сжатия $p_2 = 5$ *atm* абс. (фиг. 76). При построении кривых приняты следующие значения кпд: $\eta_e = 0{,}70$, $\eta_k = \eta_{is} = 0{,}65$. Термич. кпд при газообразном горючем конечно не так высок, как при жидком горючем вследствие требующейся для горючего газа работы сжатия.

9. П о с т р о е н н ы е г а з о в ы е Т. На решение проблемы газовой Т. уже затрачена громадная умственная работа и не только изобретателями и учеными, но и производственными фирмами; для развития этого типа машин принесены также громадные финансовые жертвы, но пока не достигнуто никакого практич. результата. Многие неудачные попытки осуществления газовой Т. до сведения общественности несомненно не дошли; из числа ставших известными в дальнейшем приведем только наиболее важные.

Т. Л е м а л ь-А р м а н г о [1,30]. Эта машина является вероятно первой серьезной попыткой осуществления газовой Т.; она была построена Обществом турбомоторов в Париже в 1909 г. после долгих предварительных опытов в виде Т. постоянного давления (конструктивное оформление камеры сгорания и сопла видно из фиг. 77) и приводилась в действие керосином. На фиг. 77: *A*—подвод жидкого горючего, *B*—воздушный канал, *C*—зажигание, *E*—впуск охлаждающей воды, *F*—клапан для ввода по желанию воды в полость сгорания, *G*—карборундовая футеровка, *H*—сопло, *K*—часть ротора. Давление перед соплами было сравнительно очень низким, 3—4 *atm* абс. Чтобы защитить лопатки рабочего колеса от коррозии, приходилось сгоревшие газы перед соплами охлаждать приблизительно до 650°. Мощности Т. ок. 400 HP едва было достаточно для приведения в действие ее компрессора. На основании этих испытаний перешли от способа приведения в действие торпедных двигателей посредством сжатого воздуха, исключительно до того времени применявшегося, к приведению их в действие от газовой Т.; при этом к сжатому



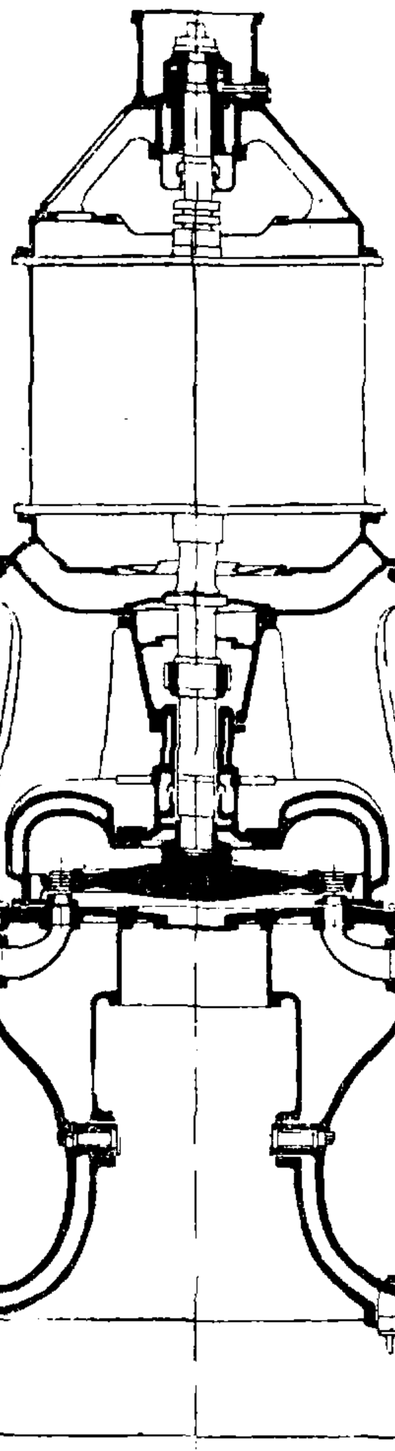
Фиг. 77.

воздуху стали прибавлять жидкое топливо и достигли значительного повышения аккумулированного в торпеде запаса энергии.

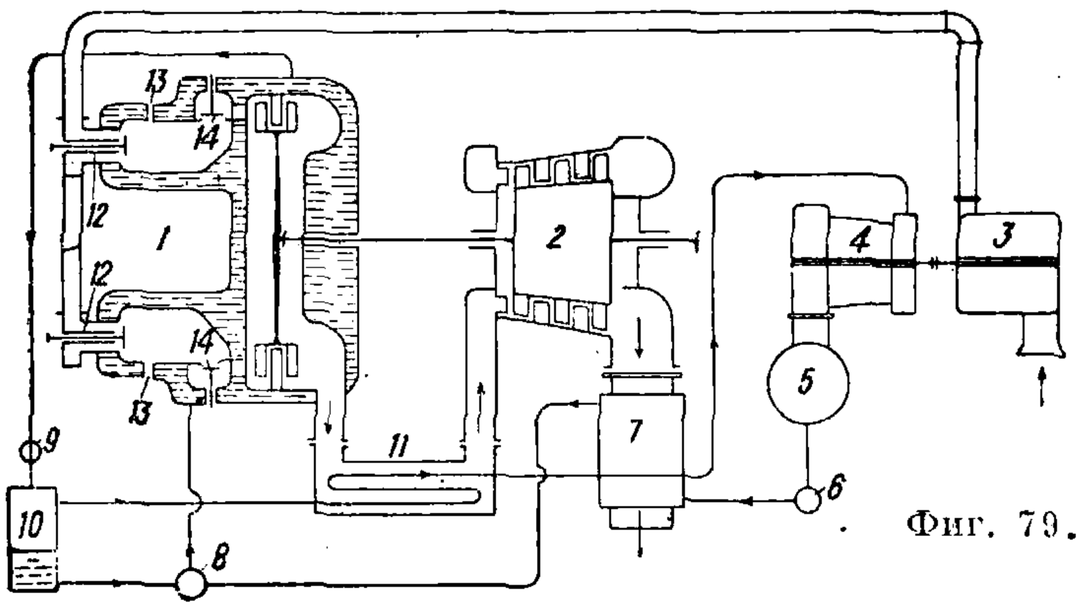
Т. с и с т е м ы Г о л ь ц в а р т а [1,19]. После различных предварительных испытаний между 1914 и 1920 гг. машиностроительный з-д Тиссен в Мюльгейме (Рур) построил по чертежам Гольцварта сначала газовую Т. в 1 000 HP, а позже нефтяную Т. в 500 HP; обе работали по принципу быстрого сгорания при довольно слабом сжатии воздуха до 2—3 *atm* абс. соответственно фиг. 59, Б. У этих машин имеется небольшое число продолговатых камер сгорания, круглых в поперечном сечении и расположенных, как показано на фиг. 78, концентрически вокруг оси газовой Т. (последняя устанавливалась сначала вертикально, а в позднейших опытах — горизонтально); выпускное отверстие каждой камеры сгорания, снабженное замыкающим клапаном, оканчивается соплом. Позади сопел помещается рабочее колесо с одним или двумя венцами. Каждая камера сгорания имеет еще кроме того два впускных клапана для воздуха и горючего. Способ работы был уже в основном описан выше. В пределах примененных здесь незначительных сжатий рабочего заряда термич. кпд сильно повышается по мере увеличения конечного давления. При сжатии приблизительно в 2 *atm* абс. он составлял ок. 13% (при этом уходящее тепло было использовано для образования пара, приводящего в действие турбокомпрессор Т.). При употреблении жидкого горючего запал при условии достаточно высокой $t°$ д. б. очень интенсивным и происходить одновременно в нескольких местах камеры сгорания. Выход охлаждающего воздуха был связан еще с некоторыми нежелательными побочными явлениями, гл. обр. потому, что его скорость сравнительно со средней скоростью газа была очень мала и потому плохо подходила к лопаткам. В качестве материала для лопаток рабочего колеса

хорошо зарекомендовало себя по возможности чистое мягкое электрожелезо. Результаты, достигнутые с Т. в 5 000 kW (построена в 1920 г. для ж.-д. силовой станции Мульденштейн), не

Фиг. 78.



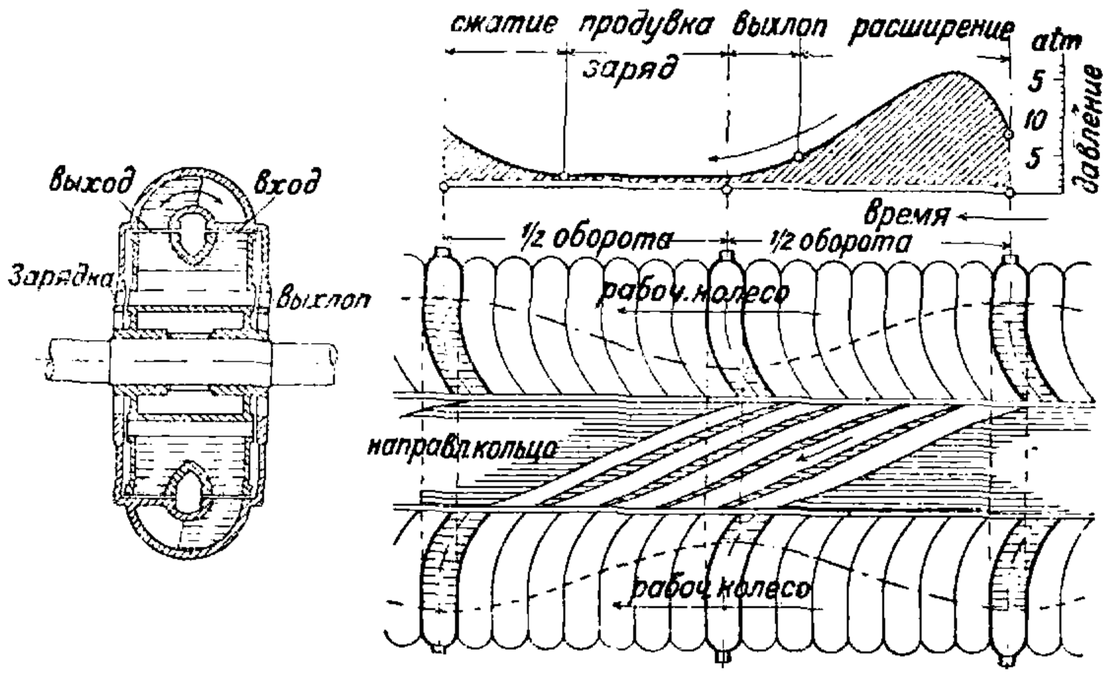
были опубликованы. Над дальнейшим развитием Т. сист. Гольцварта, показавшей при испытаниях из всех известных конструкций наиболее хорошие качества, все еще работают. Говорят, что строилась также компаундная установка газопаровой турбины согласно схеме фиг. 79, в к-рой уходящее тепло газовой Т. использовано для образования пара, потребляемого паровой Т. для приведения в действие компрессора. На фиг. 79 обозначают: *1*—газовая Т. быстрого сгорания высокого давления с охлаждаемыми горячей водой камерами сгорания и кожухом, являющимися паровым котлом, *2*—прямоточная газовая Т. низкого давления, *3*—турбокомпрессор для рабочего воздуха, а в случае нужды и для газа, *4*—паротурбина для привода компрессора, *5*—конденсатор, *6*—насос для конденсата, *7*—подогреватель,



Фиг. 79.

8—насос для давлений (питательный и циркуляционный), *9*—дроссельный клапан для частичного испарения циркуляционной воды, *10*—паросборник, *11*—пароперегреватель, *12*—распределение впуска горючего и воздуха, *13*—зажигание, *14*—управляемые клапаны сопел. Результаты, достигнутые с этой установкой, также остались неизвестны [16].

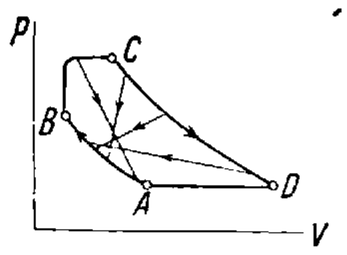
Т. системы Штаубера [1,21]. В основу этого двигателя, первая модель которого была построена и испытана фирмой AEG в 1920—1925 гг., положена мысль насоса Гемфри (см. *Насосы*). В последнем рабочие процессы в камере сгорания протекают совершенно так же, как внутри цилиндра двигателя внутреннего сгорания, работающего по циклу Отто (фиг. 59, Б), с той лишь разницей, что вместо обыкновенного поршня действует колеблющийся водяной столб. Если две камеры сгорания V_1' и V_2' (фиг. 65), находясь во взаимодействии, работают со сдвигом фаз рабочих циклов на 180°, то кинетическая энергия воды, приведенной в движение избыточным давлением газа, может, как и в водяных Т., благодаря включенным между покоящимися камерами V_1 и V_2 вращающимся соединительным каналам переходить в механич. работу. Однако у водяной массы должно при этом сохраняться столько силы инерции, чтобы в той камере, в к-рую она устремляется, она могла производить еще достаточно сильное сжатие заряда. Правда, в Т. сист. Штаубера камеры V_1 и V_2 вращаются вокруг оси A—A, в то время как соединительные каналы (кольцо с направляющими лопатками) остаются в покое, но принцип от этого не изменяется. Благодаря этому мероприятию склонность к разбрызгиванию на свободных водяных поверхностях вследствие гораздо большей величины центробежного ускорения по сравнению с земным ускорением значительно уменьшается, и тем самым достигается возможность значительного повышения рабочих циклов скорости. Фиг. 80 показывает



Фиг. 80.

схематически развернутый цилиндрич. разрез комплекта лопаток первой пробной машины и эскиз разреза по оси. Последовательность включения каналов покоящегося кольца такова, что в них практически господствует равномерное состояние потока. Распределение впуска заряда и воздуха для продувки, как и выпуска отходящих газов, происходит на торцовой стороне (содержащего камеры сгорания) рабочего колеса с помощью соответствующим образом расположенных в прилегающем кожухе отверстий [17]. В противоположность моделям, упомянутым выше, рабочий процесс этой машины относится к процессам равного давления. Однако при первоначально осуществленной конструкции перетекание происходило не так, как при идеальном способе по фиг. 60, Б, а совершалось вследствие сильных колебаний напора между очень большими положительными и отрицательными величинами очевидно менее выгодным образом, как это показано стрелками на

фиг. 81 (в последнее время характер распределения изменен). При этом сгорание должно было происходить непрерывно по смешанному способу, промежуточному между постоянным давлением и быстрым сгоранием; вращающиеся камеры сгорания проходили мимо зажигательной камеры фиг. 82 так, что заряд последующей ячейки зажигался пламенем предыдущей. Вслед-



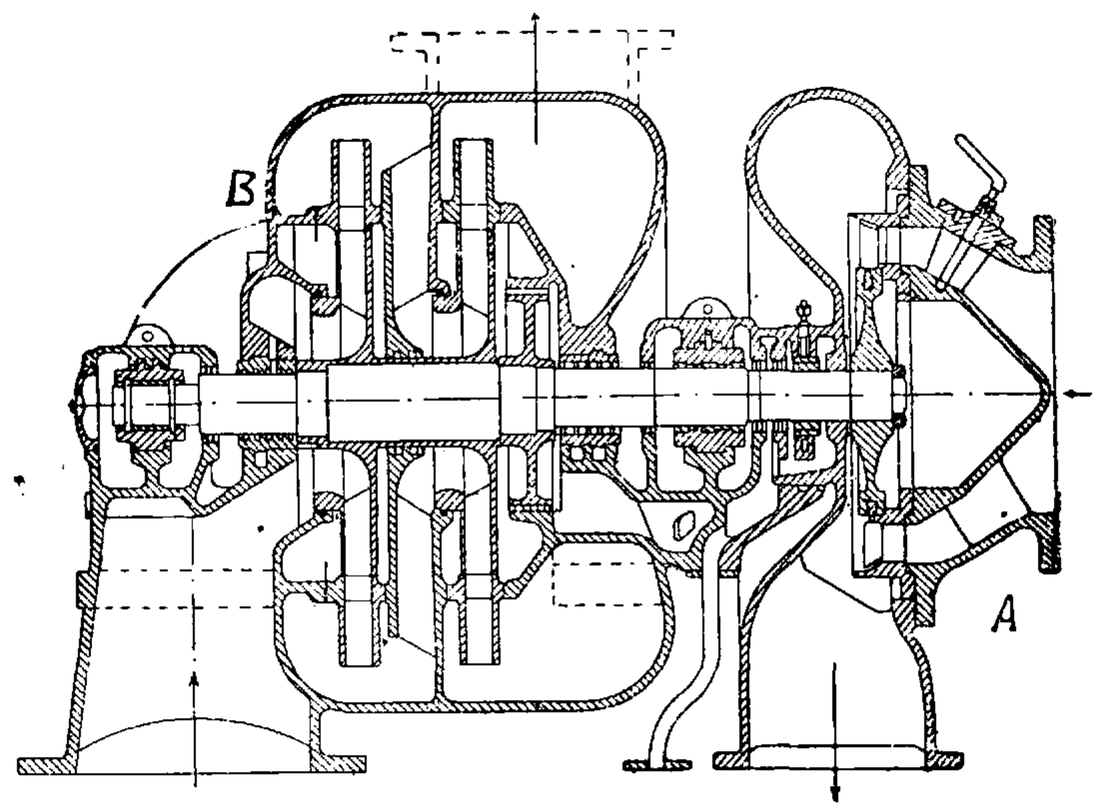
Фиг. 81.

Фиг. 82.

ствие этого на практике линия сгорания BC претерпевает сильное искривление согласно фиг. 81, где AB—сжатие, BC—сгорание, CD—расширение. Правда, осуществление этого принципа на практике встретило очень крупные препятствия. При позднейших опытах зажигание происходило обычным порядком—отдельно в каждой камере посредством электрич. зажигательных свечей. Результаты, достигнутые первой опытной машиной, оказались очень неудовлетворительными; машине нехватало собственной силы даже для того, чтобы вращаться на холостом ходу. Вследствие различных непредусмотренных влияний намеченный характер работы не был достигнут, в особенности весьма несовершенно происходил процесс сгорания. Об успехе позднейших попыток пока ничего неизвестно; изыскания над дальнейшим развитием машины все еще продолжаются.

Газовые Т. итальянского общества Эрнесто Бреда [17]. Эта маленькая опытная машина разработана в период времени между 1920—1925 гг. Речь идет о Т., работающей по способу быстрого сгорания, с четырьмя камерами сгорания и восемью рабочими колесами (из к-рых 2 первых представляют собой ступени скоростей, а остальные—ступени давления); она работала при давлении в 15 *atm* и была снабжена охлаждаемыми водой полыми направляющими и рабочими лопатками и промежуточными днищами. Вода для охлаждения рабочих лопаток подавалась из пустотелого вала через диск ротора к высверленным рабочим лопаткам и затем отводилась обратно в вал. При температуре сгорания более 1 000° машина работала безупречно.

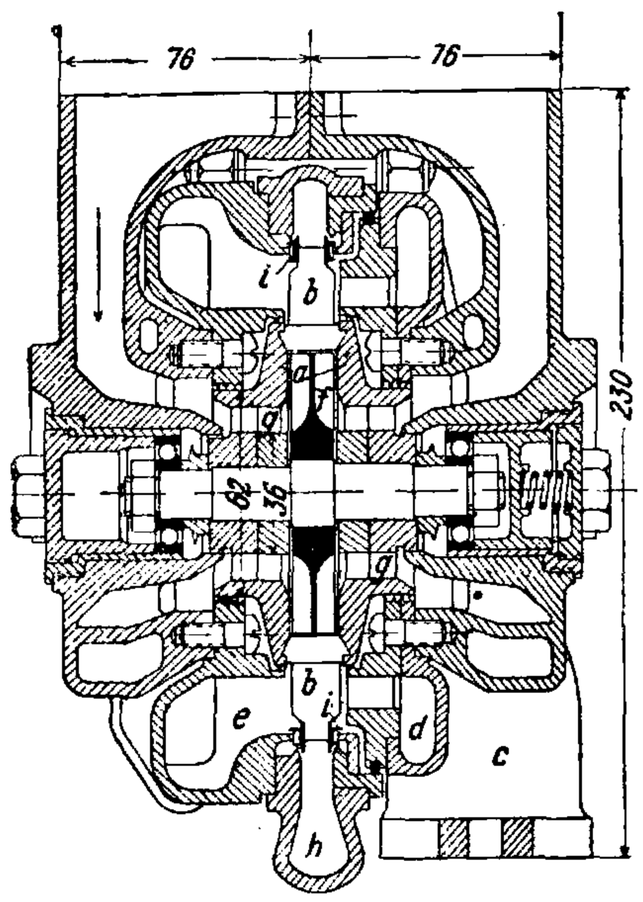
10. Т., работающие на отходящих газах. А. Т., работающие на отходящих газах двигателей внутреннего сгорания. В то время как осуществление самостоятельно действующей газовой Т. встречает такие большие препятствия, что до сего времени цель даже приблизительно не может считаться достигнутой, Т., работающие на отходящих газах двигателей внутреннего сгорания, благодаря меньшим темп-рным трудностям получили с некоторого времени большое практич. значение. В виду сравнительно малых используемых при этом теплопадений машины получаются сравнительно простой конструкции. Газовые Т. этого типа применялись для высотных аэропланов уже во время мировой войны [1,40], причем для того, чтобы препятствовать потере мощности мотора, обусловленной падением наружного воздушного давления, необходимый мотору воздух приводился посредством турбокомпрессора к почти нормальному атмосферному давлению и тогда подводился к цилиндрам (т. ч. последние работали с почти неизменяющимся количеством воздуха и потому мало меняющейся мощностью); в то же время газы сгорания расширялись в Т. от давления, несколько большего чем атмосферное, до наружного давления, обеспечивая потребную мощность для работы компрессора. При этом Т. и компрессор всегда располагаются на общем валу. С растущей высотой полета автоматически все больше увеличивается и количество оборотов Т., т. ч. компрессор вопреки падению наружного давления работает с почти неменяющимся конечным давлением. В послевоенное время тот же принцип был использован на практике также и для повышения мощности нефтяных двигателей: для этого центробежная воздуходувка, приводимая в действие Т., работающей на отходящих газах, сжимает подаваемый в цилиндры воздух до 0,2—0,5 *atm* избыточного давления (см. также *Наддув*), что вызывает повышение мощности до 80% [22, 24, 28, 34]. Вследствие этого конечное давление расширения повышается, и в отходящих газах остается неиспользованное теплопадение, к-рое используется в Т. и, как показывает опыт, вполне достаточно для приведения в действие воздуходувки. Фиг. 83



Фиг. 83.

показывает такой агрегат, состоящий из Т. A, работающей на отходящих газах, и из воздуходувки B. На практике такая Т. работает при многоцилиндровых четырехтактных моторах как Т. постоянного давления; колебания давления перед соплами тем сильнее выражены, чем меньшее количество цилиндров снабжает Т. отходящими газами и чем меньше размер включенного перед соплами коллектора для горючих газов. Конечная $t°$ отходящих газов составляет 300—400°, поэтому требования, предъявляемые к материалу, едва ли выше, чем при новейших паровых Т. высокого давления [18]. Двухтактные машины м. б. наддуваемы таким же образом, как и четырехтактные. Т. к. однако давление продувки, до которого воздуходувка должна сжимать воздух, больше конечного давления в цилиндре, т. е. больше, чем давление отходящих газов перед соплами Т., то мощность Т. для приведения в действие воздуходувки здесь не вполне достаточна, и д. б. предусмотрен добавочный двигатель (напр. электромотор). Кроме того тепловая нагрузка цилиндров у двухтактных машин, и без того значительно бо́льшая, чем у четырехтактных, вследствие наддува повысилась бы еще больше. В силу этих причин наддув у двухтактных машин до сего времени еще не применялся. Пытались также использовать для приведения в действие

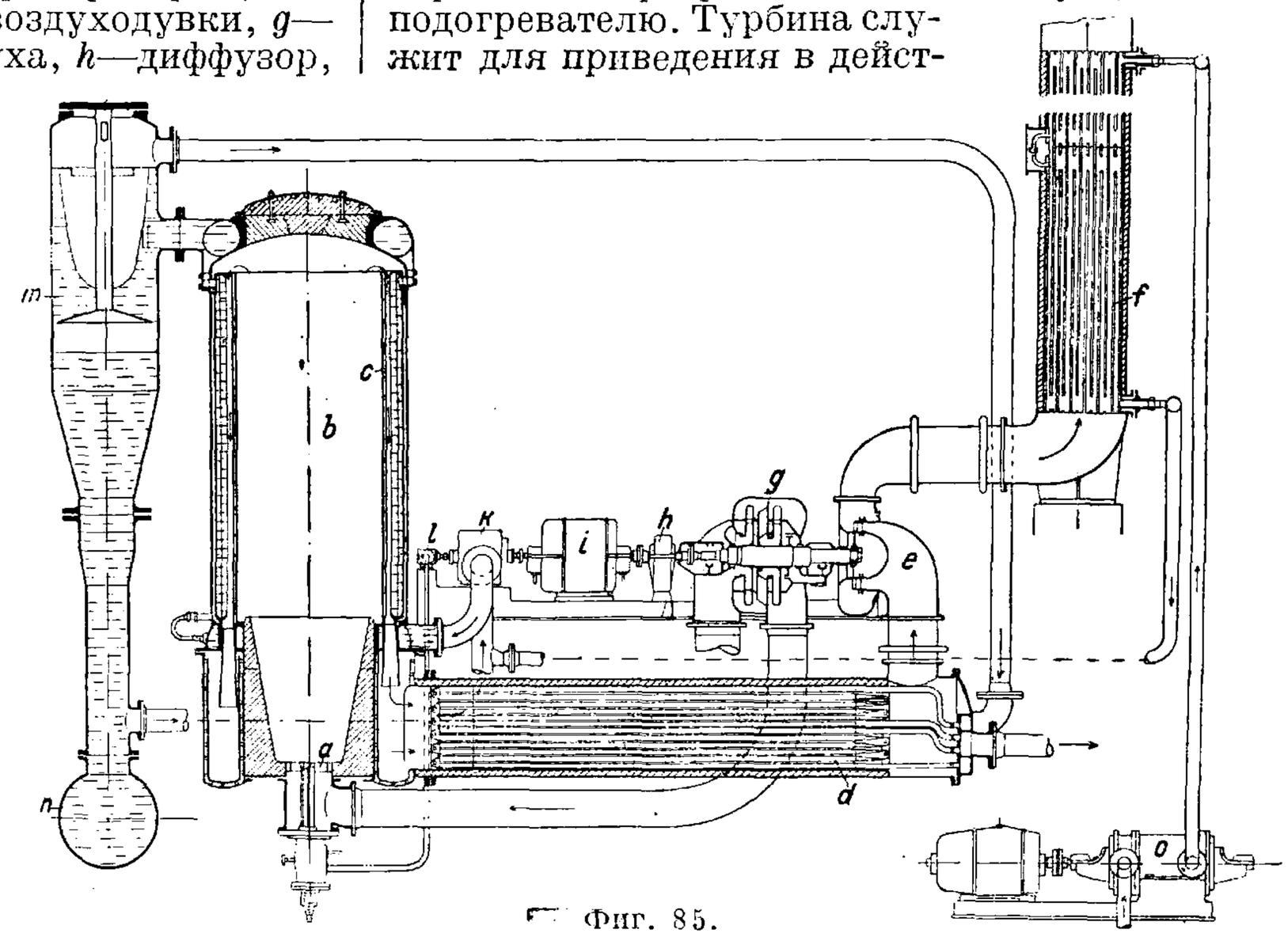
Т., работающих на отходящих газах, сравнительно высокое давление в цилиндрах двигателей внутреннего сгорания, имеющееся в момент открытия выпуска; при этом как двигатель, так и Т. работают с конечным давлением в 1 *atm* абс. Каждый цилиндр, чтобы исключить возможность взаимных нарушений в работе, должен был бы тогда подавать отходящие газы в отдельную группу сопел. Т. должна была бы следовательно в виду толчкообразного поступления отходящих газов работать по принципу быстрого сгорания. Т. к. условия для перетекания отходящих газов от цилиндров к Т. очень неблагоприятны и обусловливают наличие больших потерь, то в этом направлении на практике пока не делалось никаких опытов. Здесь могли бы прежде всего быть использованы двухтактные машины. Также и в отношении автомобильных двигателей стали известны попытки наддува цилиндров.



Фиг. 84.

Особым типом выполнения является здесь Т. Лоренцена (1927 г.), работающая на отходящих газах (фиг. 84, где *a*—ротор Т. с двумя стальными дисками, *b*—полые турбинные лопатки, *c*—впускной патрубок для сгоревших газов, *d*—газовая камера перед ротором, *e*—выхлопная камера, *f*—ротор воздуходувки, *g*—подводящие каналы для воздуха, *h*—диффузор, *i*—лабиринтовое уплотнение). Здесь ротор Т. одновременно служит в качестве колеса воздуходувки, причем подаваемый последней воздух совершает охлаждение рабочих лопаток Т. При этом воздух подводится сначала к колесу воздуходувки, а потом подается через полые турбинные лопатки *b* в диффузор *h*. С помощью этой Т., работающей на отходящих газах и приключенной к глушителю двигателя, были достигнуты кпд 12—16%. Эта—по сравнению с обыкновенным типом Т., работающих на отходящих газах,—гораздо более сложная конструкция задумана очевидно как предварительное испытание для применения к условиям большого расширения, в каковом направлении и ведется фактически работа по дальнейшему развитию этой машины. Наконец укажем на уже часто делавшиеся предложения строить газовые Т. для условий больших расширений с приключенным спереди двигателем внутреннего сгорания высокого давления с целью уменьшить трудности, связанные при эксплоатации Т. с темп-рой. Это было бы в известной степени дальнейшим развитием вышеописанных Т., работающих на отходящих газах двигателей внутреннего сгорания. Однако хотя темп-рные затруднения были бы тогда действительно перенесены гл. обр. на двигатель, все же преимущества, к-рые могли бы быть при этом достигнуты, являются повидимому в виду сложности устройства недостаточно значительными.

Б. Т., работающие на отходящих газах топок паровых котлов с дутьем под давлением. Значительный шаг к разрешению проблемы газовой Т. благодаря развитию своих котлов «Велокс» сделала в новейшее время фирма Броун-Бовери в Бадене (Швейцария) [26, 27, 39]. В этих устройствах, работающих по принципу постоянного давления (фиг. 85), воздух для горения прогоняется под давлением центробежным компрессором в топочную камеру котла (при газообразном горючем конечно требуется еще второй компрессор для горючего). При этом сгоревшие газы, как и в обыкновенных котлах, но со значительно большей скоростью (ок. 200 *м/сек*), последовательно устремляются в испаритель, перегреватель и подогреватель, проходя по пути через газовую Т. На фиг. 85: *a*—горелка, *b*—топочное пространство, *c*—трубы испарителя, *d*—пароперегреватель, *e*—газовая Т., *f*—подогреватель питательной воды, *g*—турбокомпрессор, *h*—зубчатая передача, *i*—вспомогательный электромотор для пуска в ход и регулировки, *k*—циркуляционный насос, *l*—насос для горючего, *m*—центробежный пароотделитель, *n*—отстойный сосуд, *o*—питательный насос. Горючие газы, находящиеся под избыточным давлением, подводятся с достаточно высокой температурой из подогревателя к Т., работающей отходящими газами, где расширяются почти до атмосферного давления и либо отводятся обратно к перегревателю либо идут дальше к подогревателю. Турбина служит для приведения в действие компрессора, причем давление нагнетаемого в топку воздуха автоматически повышается с растущей нагрузкой котла вследствие увеличения скорости вращения Т., достигая максимально 2 *atm*. Вследствие потерь давления, обусловленных большими скоростями потока, мощность Т. не вполне достаточна для приведения в действие компрессора, т. ч. остающийся незначительный недостаток мощности д. б.



Фиг. 85.

покрыт электромотором, к-рый однако и без того нужен как для пуска в ход котла, так и для регулировки нагрузки. Вследствие большой плотности находящихся под избыточным давлением газов сгорания и в особенности в виду очень большой скорости их течения, а также значительно повышенной скорости циркуляции воды и пара теплопроводность стенок настолько превосходит таковую обыкновенных котлов, что необходимая поверхность нагрева, а вместе с тем и место, требующееся для установки, составляют лишь небольшую часть обычного. Поэтому такие установки легко помещаются в машинном отделении, что значительно уменьшает стоимость строений. В то время как в комбинированных газо-паротурбинных установках газовую Т. рассматривали как основной агрегат, а паровую Т. как служащую исключительно для использования отходящего тепла, в данном случае главной целью является парообразование, что позволяет избежать больших трудностей, встречающихся при конструировании газовых Т. Для жидких и газообразных горючих такие установки выпускаются уже для продажи. Для отопления угольной пылью они повидимому скоро будут разработаны. Было бы возможно провести отопление таких котлов по принципу не постоянного давления, а быстрого сгорания. Это дало бы даже известные теплотехнич. выгоды, которые едва ли искупаются худшими условиями потока. Однако осуществление метода быстрого сгорания на практике провести много труднее, чем осуществление способа постоянного давления.

Лит.: [1]) Stodola A., Die Dampf- u. Gasturbinen, B., 1924; [2]) Eyermann u. Schulz, Die Gasturbinen, ihre geschichtliche Entwicklung, Theorie u. Bauart, B., 1920; [3]) Flügel G., Die Dampfturbinen, ihre Berechnung u. Konstruktion; mit einem Anhang über Gasturbinen, Lpz., 1931; [4]) Moyer I. A., Steam Turbines, Including a Discussion of Mercury a. Gas-Turbines, N. Y., 1929; [5]) Schüle W., Technische Thermodynamik, B., 1925; [6]) Schüle W., Neue Tabellen u. Diagramme f. technische Feuergase, B., 1929; [7]) Gentsch W., Untersuchungen über die Gas- u. Oelgleichdruckturbine, Halle a/S., 1924; [8]) Baetz K., Ein neues Prinzip f. Dampf- u. Gasturbinen, Lpz., 1920; [9]) Pflaum W., IS-Diagramm f. Verbrennungsgase u. ihre Anwendung auf die Verbrennungsmaschine, B., 1932; [10]) Lutz O., PV-Tafel, Tabellen u. Diagramme zur thermischen Berechnung d. Verbrennungskraftmaschinen, B., 1932; [11]) Aufhäuser D., Brennstoff u. Verbrennung, B., T. 1, 1926, T. 2, 1928; [12]) Hütte, Des Ingenieurs Taschenbuch, 26 Aufl., B., 1931; [13]) Ostertag P., Kolben- u. Turbokompressoren, B., 1923; [14]) Eck B., Kearton W., Turbo-Gebläse u. Turbo-Kompressoren, B., 1929; [15]) Grober H., Die Grundgesetze d. Wärmeleitung u. des Wärmeüberganges, B., 1921; [16]) Gesamtbericht der 2 Weltkraftkonferenz, B. 5, Wärmekraftmaschinen, B., 1930; [17]) Festschrift Prof. Dr. A. Stodola zum 70 Geburtstag, Zürich, 1929; [18]) Jahrbuch d. Brennkrafttechnischen Gesellschaft, 1931, B. 12, Halle a/S., 1932; [19]) Holzwarth, Die Entwicklung d. Holzwarth-Turbine seit 1914, «Z. d. VDI», 1920, p. 197; [20]) Hoff H., Die Entwicklungslinien d. Dampfkraftmaschinen u. die Aussichten des Gasmaschinenbetriebes, «St. u. E.», 1924, p. 1567; [21]) Stauber G., Nasse Gasturbinen, «St. u. E.», 1925, p. 1957; [22]) Oppitz A., Die Abgasturbinen hinter Dieselmaschinen, «Werft-Reederei-Hafen», B., 1927, p. 380; [23]) Heller A., Die Gasturbine von C. Lorenzen, «Z. d. VDI», 1928, p. 1869; [24]) Büchi A., Dieselmotoren mit Büchi-Abgasturbinen-Aufladung, «Die Wärme», B., 1929, p. 125; [25]) Baetz K., Neue Vorschläge zur Lösung des Gasturbinenproblems, ibid., 1929, p. 781; [26]) Noack W., Druckfeuerung von Dampfkesseln in Verbindung mit Gasturbinen, «Z. d. VDI», 1932, p. 1033; [27]) Der Brown-Boweri Dampferzeuger, «BBC-Nachrichten», Lpz., 1932, p. 3; [28]) Oppitz A., Die Leistungssteigerung von Viertakt-Verbrennungskraftmaschinen durch Vorverdichten d. Verbrennungsluft, «Schiffbau», B., 1932, p. 279; [29]) Dollin F., The Gas-Turbine, «Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers», L., 1923, v.2, p. 1121; [30]) Dollin F., The Gas-Turbine in Theory a. Practice, «The Engineer», 1923, v. 135, p. 466; [31]) König M., Gas-Turbines, «North-East Coast Institution of Engineers a. Shipbuilders», 1925, v. 41, p. 347; [32]) Marks L., Gas-Turbines, «Mechanical Engineering», N. Y., 1925, v. 47, p. 462; [33]) Goudie W., The Internal Combustion Engine, «Transactions of the Institution of Engineers a. Shipbuilders», 1925, v. 66, p. 642; [34]) Moss, Centrifugal Compressors for Diesel Engines, «Mechanical Engineering», N. Y., 1925, v. 47, p. 1075; [35]) Liston, «Electrical Review», L., 1925, v. 28, p. 4; [36]) Goudie W., The Determination of Standard Efficiencies of Internal Combustion Engines by the Energy Chart, «Engineering», 1928, v. 126, p. 695; [37]) Moss a. Smith, Engineering Computations for Air a. Gases, «Transactions of the American Society of Mechanical Engineers», N. Y., 1932, v. 52, p. 93; [38]) Lorenzen Ch., The Lorenzen Gas-Turbine a. Supercharger for Gasoline a. Diesel Engines, ibid., 1931, v. 53, *6*, p. 1; [39]) Noack W., The Velox Boiler, «Engineering», 1933, v. 135, p. 52; [40]) Stern W., The Internal Combustion Engine, «Aeronautical Research Committee», Rep., *54*.

Флюгель (Германия).

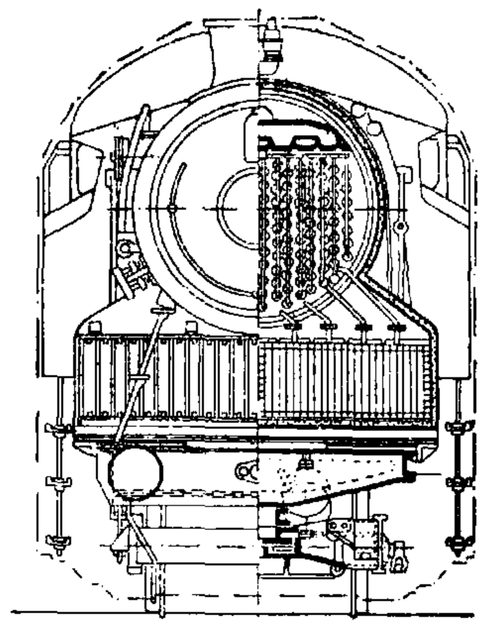
ТУРБОВОЗЫ, турболокомотивы, турбопаровозы, паротурбовозы, турбинные паровозы, паровозы, имеющие в качестве главного тягового двигателя паротурбину. Последняя применяется без конденсации и с конденсацией. Отработанный пар от турбин без конденсации при давлении немного выше атмосферного направляется в конус и создает нужную для горения топлива тягу. В конденсационных турбинах благодаря наличию конденсатора, в котором устанавливается давление ниже атмосферного, увеличивается используемый тепловой перепад. Т. без конденсации имеют одну или несколько турбин и передачу, связывающую вал турбины с движущими осями. По сравнению с обычными паровозами Т. без конденсации имеют преимуществом полное уравновешивание движущего механизма и в силу этого пониженное динамич. воздействие на путь. Теплотехнич. преимуществ эти Т. не дают. Недостатком их является повышенная начальная стоимость. Т. с конденсационной установкой имеет: одну или несколько турбин, передачу, связывающую вал турбины с движущими колесами (механическую или электрическую), побудитель тяги для продуктов сгорания, конденсатор (водяной или воздушный), устройство для охлаждения циркуляционной воды (градирня, поверхностный холодильник), приборы для подачи охлаждающей воды или воздуха, подогреватель воздуха (иногда) и другие детали.

Т. с конденсацией по сравнению с обычным паровозом имеет следующие преимущества: 1) при наивыгоднейшей скорости и сохранении расчетного вакуума расход топлива в $1^1/_2$—2 раза меньше; 2) замкнутый цикл рабочее тело—вода устраняет загрязнение котла, увеличивает срок его службы и удлиняет междупромывочные пробеги; 3) в Т. с замкнутым циклом циркуляционной воды или при чисто воздушном охлаждении значительно сокращается потребность в водоснабжении; 4) для Т. с передачей через отбойный вал (Blindwelle) динамическое воздействие на путь значительно уменьшается в виду полного уравновешивания вращающихся масс движущего механизма—отсюда возможность использования тяжелых и быстроходных Т. на путях с слабым верхним строением; 5) меньший расход металла и меньший эксплоатационный вес на единицу мощности за счет уменьшения расхода пара, запасов топлива и воды; 6) возможность при заданном весе и габарите увеличения мощности в виду возможности сильного форсирования работы котла вентиляторной тягой. Недостатками конденсационных Т. являются: 1) малая теплотехнич. выгодность при низких скоростях или при ухудшении вакуума; 2) отсутствие достаточной эксплоатационной проверки надежности и бесперебойности работы наиболее важных деталей — турбины, редуктора, конденсатора; 3) сложность управления многочисленными

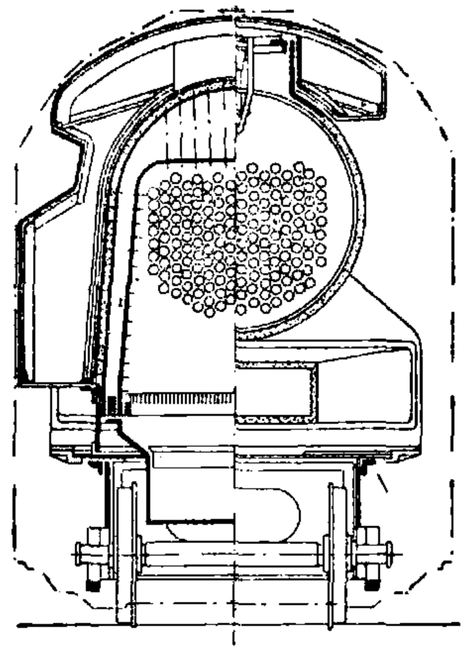
вспомогательными приборами (вентиляторами, конденсационными, циркуляционными, воздушными, масляными и питательными насосами); 4) высокая начальная стоимость, вызываемая наличием деталей, изготовляемых из специальных сталей и требующих тщательной термич. и механич. обработки (ротор турбины с лопатками, вал турбины, редуктор, вентилятор, конденсатор, центробежные насосы и др.); 5) неприспособленность ж.-д. мастерских к ремонту турбин, редукторов, конденсаторов и других деталей, отличных от паровозных.

Типы основных устройств в турбовозах. 1) Турбина. По условиям габарита и веса турбина должна быть быстроходной (6 000—10 000 об/м.), с небольшим числом ступеней (3—18). Существует взгляд, что активно-реактивные турбины в виду переменности чисел оборотов турбины при непосредственном сцеплении их с движущими колесами более выгодны. 2) Передача редко осуществляется электрическая, чаще непосредственная, при посредстве редуктора, постоянно связанного с валом турбины и движущими колесами. Первая позволяет иметь небольшое колебание чисел оборотов турбины (т. е. использовать в тепловом отношении ее наиболее выгодно), но имеет большой вес и высокую начальную стоимость. Вторая вызывает переменность числа оборотов турбины от нуля до максимума. При скоростях ниже и выше расчетной экономичность турбины уменьшается и параметры отработанного пара изменяются. При венце турбины, стоящем неподвижно в момент трогания турбовоза с места, весь пар проходит через турбину при I=Const. Благодаря этому режим работы конденсатора резко изменяется в зависимости от скорости хода Т. 3) Реверсирование осуществляется путем установки на одном валу главной турбины в общем кожухе особой турбины заднего хода или путем переключения зубчатой передачи. Первый способ более прост, но менее экономичен из-за больших потерь на вентиляцию, вызываемую постоянным вращением турбины обратного хода в вакууме вогнутостью лопаток вперед. Второй способ более экономичен, но более сложен в виду необходимости ряда добавочных устройств для включения и выключения паразитных шестерен. Наличие переключений вызывает сомнения в бесперебойности работы редуктора. 4) Конденсация. Охлаждающим телом является вода или воздух. В ряде случаев применяется и то и другое. Водяные конденсаторы применяются в Т. гл. обр. поверхностные, в единственном случае был применен конденсатор смешения. *В случае чисто водяного охлаждения* возможна установка турбины и конденсаторов на главной раме локомотива. При чисто воздушном или смешанном охлаждении благодаря большой поверхности конденсатора последний приходится помещать на тендере. Вследствие трудности выполнения надежно работающего гибкого соединения трубопровода между главным экипажем и тендером главную турбину также приходится устанавливать на тендере. Комбинированный способ конденсации производится путем впрыскивания или омывания водой охлаждаемой поверхности, к-рая кроме того обдувается воздухом, подаваемым вентиляторами. 5) Холодильник. Охлаждающая вода из конденсатора поступает в холодильник типа градирни с принудительным током воздуха или в поверхностный холодильник. Первое устройство проще и легче, но требует постоянного возобновления запаса охлаждающей воды, интенсивно испаряющейся при продувании воздуха. Второе устройство более сложное и тяжелое, но требует пополнения только естественных утечек. При этом способе охлаждающая вода, предварительно дистиллированная, попав через неплотности конденсатора в рабочую сеть, не загрязняет ее. 6) Тяга в котле осуществляется в большинстве случаев при помощи вентиляторов, поставленных в дымовых камерах и приводимых в движение с помощью турбин небольшой мощности.

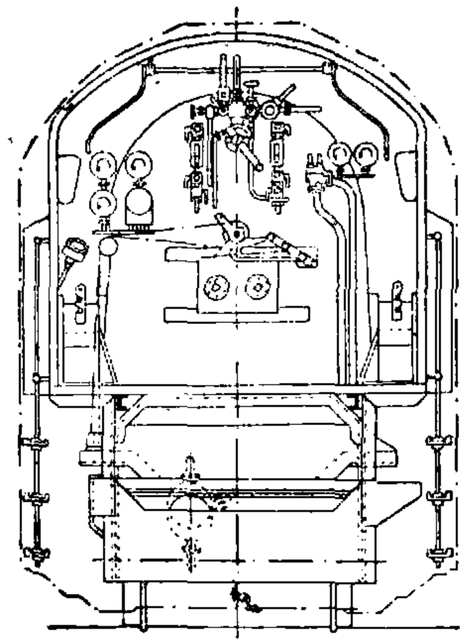
Построенные Т. и их основные характеристики. 1) Т. сист. Беллуццо (Belluzzo), год постройки (г. п.) 1908, Италия, Милан. Тип—маневровый, танк 0–2–0. Вес общий 26 *т*. Без конденсации; 4 отдельные последовательно работающие турбины Кертис (3-венечные) связаны с каждым колесом при помощи зубчатой передачи с передаточным числом 1 : 8. Реверсирование производится турбинами обратного хода, сконструированными в венцах турбин переднего хода. Число оборотов турбин 2 400. 2) Т. сист. Рейд и Рамзай (Reid, Ramsay), г. п. 1909, Англия, Глазго, Сев. Британ. Локом. К°. Тип — пассажирский 2–2–0+ +0–2–2. Передача электрическая. Конденсатор водяной эжекционного типа. Охлаждающая вода в смеси с конденсатом охлаждается воздухом в поверхностном холодильнике, причем воздух, нагретый в нем, частично используется для топочного дутья. 3) Т. сист. Рейд и Мак Леод (Reid, McLeod). Переделан из описанного выше в 1924 г. в Англии на з-де Сев. Брит. Локом. К°. Тип—пассажирский 2–2–0+ +0–2–2, предельная скорость 96 *км/ч*. Максимальное тяговое усилие 7 000 *кг*. Т. имеет две компаундированные трехступенчатые активные турбины мощностью 500 HP каждая при 8 000 об/м. Турбины помещены внутри тележек в одном кожухе с редуктором при передаточном отношении 1 : 8 и 1 : 2,8. Оси турбин и редукторов параллельны продольной оси локомотива. Каждый редуктор соединяется с двумя движущими осями. Реверсирование производится путем пуска одноступенчатых турбин заднего хода, помещенных в общих кожухах и на общих валах с главными турбинами. Конденсатор установлен поверхностный, воздушный, с применением разбрызгивания на охлаждаемую поверхность воды для усиления теплообмена испарением. 4) Турбовоз сист. Рамзай (Ramsay), г. п. 1922, Англия, з-д Армстронг, Витворт К°. Тип —пассажирский, 1–3–0 + 0–3–1. Мощность ~1 250 HP. Максимальная скорость 96 *км/ч*. Вес всего Т. в рабочем состоянии 132,6 *т*. Сцепной вес 110,2 *т*. Передача электрическая. Турбина активная 9-ступенчатая. Генератор 3-фазного тока 890 kW при напряжении 600 V. Две пары сдвоенных моторов, по 275 HP каждый, передают мощность двумя отбойными валами через зубчатую передачу 1 : 2,8. Каждый отбойный вал обслуживает три движущие оси. Конденсатор воздушный ротативного типа с применением смачивания охлаждаемой поверхности водой для усиления теплообмена испарением. Конденсатор расположен на раме тендера, турбина и генератор—на экипаже котла, что вызвало необходимость в устройстве гибкого турбопровода для отработанного пара. 5) Т. сист. Цёлли, г. п. 1921, Швейцария, з-ды Винтертур и Эшер-Висс. 6) Т. з-да Крупп с



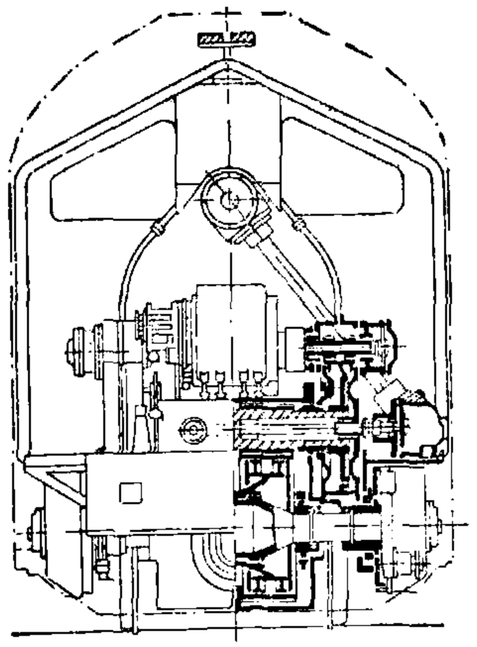
По AB



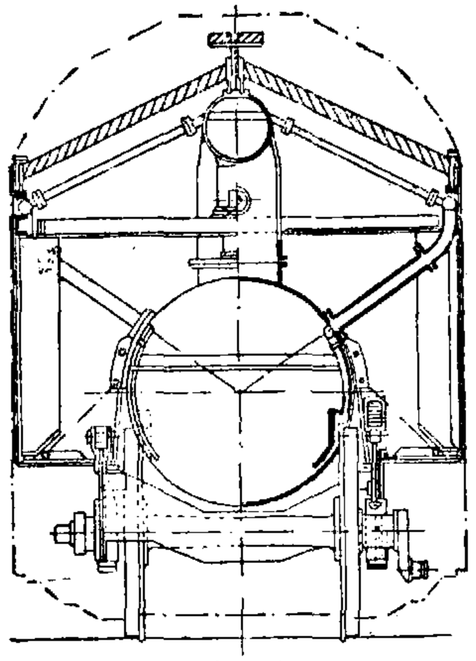
По CD



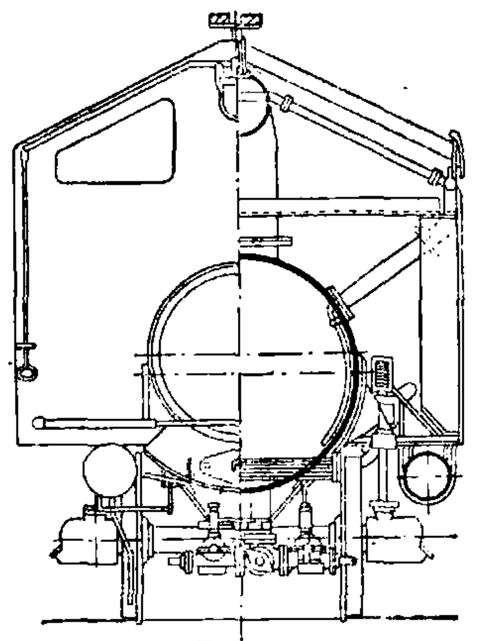
По EF



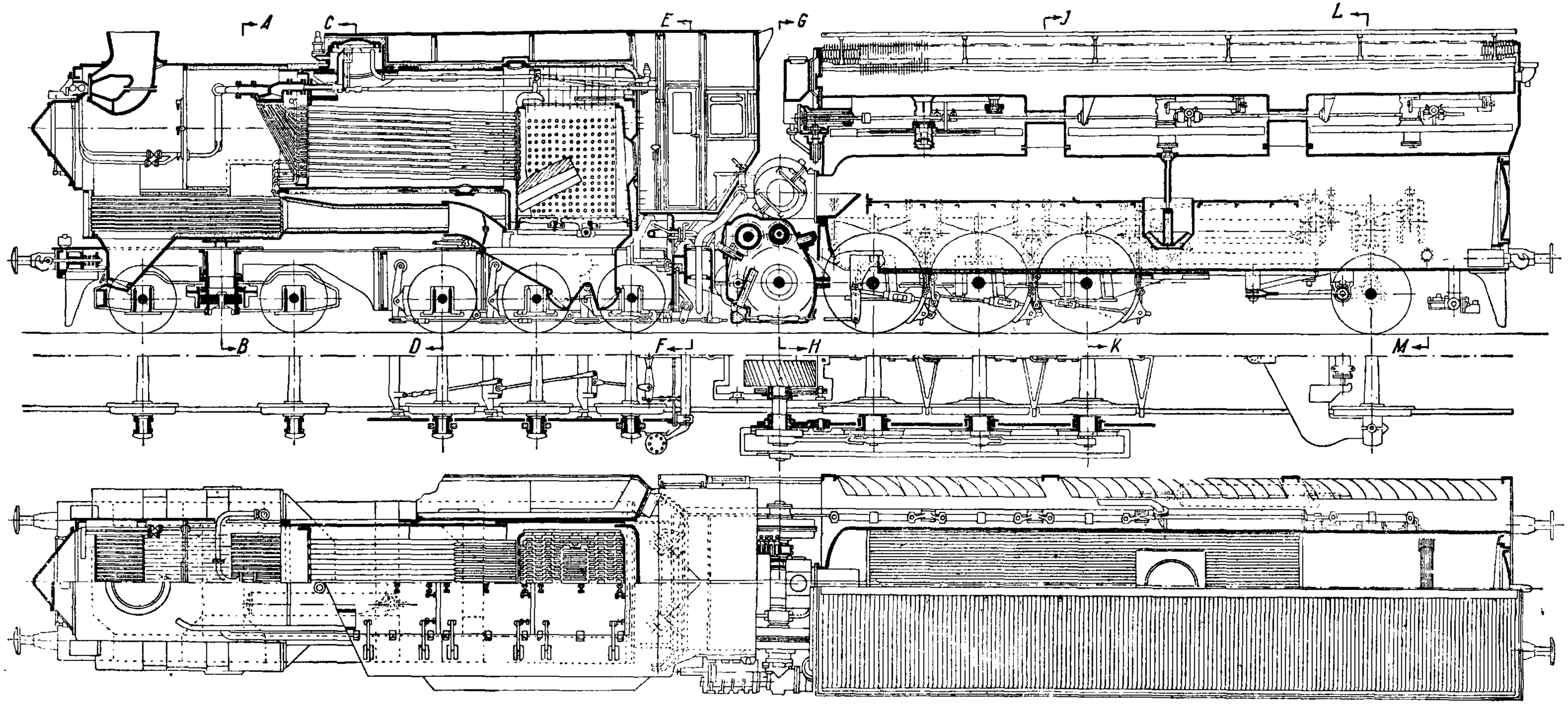
По GH



По JK



По LM



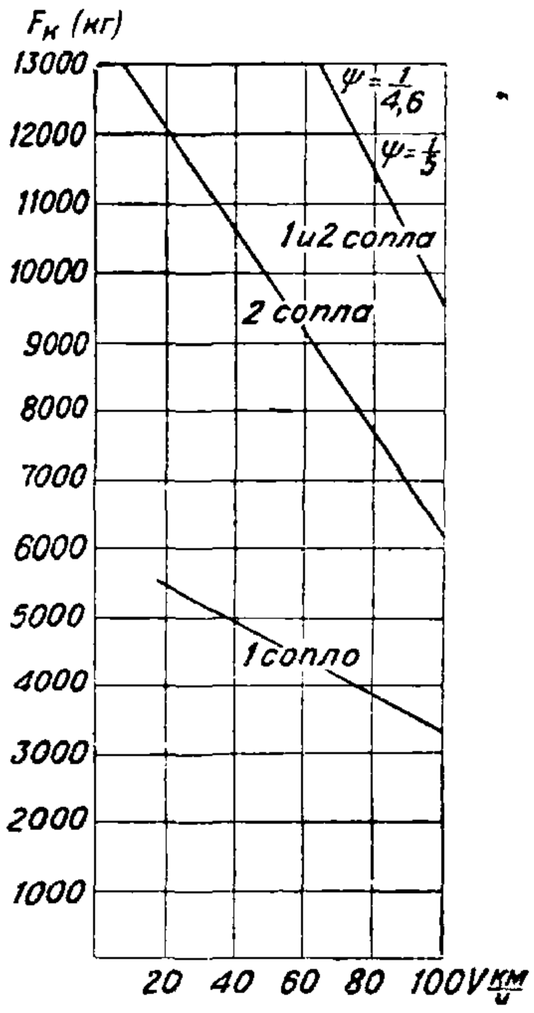
Фиг. 1.

участием Цёлли, г. п. 1924, Германия, Эссен. 7) Т. з-да Геншель, запроектирован в 1924 г., Германия, Кассель. Проект осуществлен не был. 8) Т. з-да Маффей, г. п. 1924, Германия, Мюнхен. Т., указанные в пп. 5, 6, 7, 8, по принципам устройства и расположения основных деталей однотипны, за исключением того, что три первых имеют чисто активные турбины, а последний активно-реактивную. Устройство их таково: турбины переднего и заднего ходов, размещенные в общем кожухе, располагаются поперек рамы локомотива над передней тележкой. Отработанный пар поступает в водяные конденсаторы, расположенные под цилиндрической частью котла или по бокам ее. Охлаждающая вода подается центробежными насосами в оросительный холодильник на тендере, где через образующийся дождь или мелко раздробленные струи воды, стекающие по кольцам, вентиляторами (мощностью 20—40 HP) продувается охлаждающий воздух. Часть воды испаряется и уносится с воздухом, а часть стекает вниз, смешиваясь с запасом охлаждающей воды в баке тендера, и вновь поступает в конденсатор. Расход охлаждающей воды на испарение примерно равен расходу пара главной турбиной. Передача выполнена зубчатая, двойная. Реверсирование производится турбиной обратного хода. Регулирование качественное и количественное. На фиг. 1 даны поперечные и продольные разрезы турбовоза. В табл. 1 представлена характеристика Т. указанных систем. График фиг. 2 дает предположительные касательные силы тяги в ф-ии скорости для Т. сист. Крупп-Цёлли. На фиг. 3 представлен график предположительных касательных сил тяги в ф-ии скорости для Т. типа Маффей.

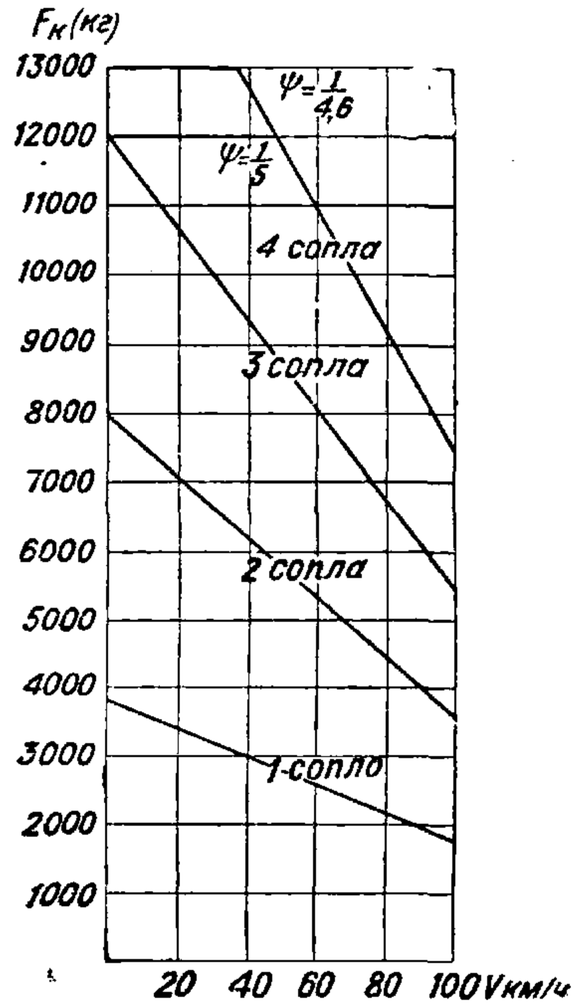
Табл. 1.—Характерист ка турбовозов.

Показатели	Цёлли	Крупп-Цёлли	Маффей	Геншель (проект)
Колесн. характеристика	2–3–0	2–3–1	2–3–1	2–4–2 (танк)
Проектная мощность, HP	1 000	2 000	2 000	2 000
Пред. скорость, км/ч	75	110	120	
Предельное число об/м. турбины	7 600	8 000	8 800	
Тип турбины	Активная	Активная	Акт.-реакт.	Активная
Число ступеней турбины переднего хода: Кертис	—	—	2-вен.	
активных	6	6	1	
реактивных	—	—	5	
Тип турбины обратного хода	2-вен. Кертис	3-ступ. акт.	3-вен. Кертис	
Передаточное число	1 : 7; 1 : 4,1	—	1 : 24	
Поверхность конденсатора, м²	—	220	220	
Давление пара в котле, кг/см²	14	15	23	15
Площадь колосниковой решетки, м²	2,3	3,1	3,5	3,1
Поверхность нагрева, м²	106,4	155	159,7	143,5
Поверхность нагрева перегревателя, м²	37,8	66	51	56,8
Вес локомотива в рабочем состоянии, т	65,0	112,4	104,0	
Вес тендера в рабочем состоянии, т	39,5	67,5	68,0	
Сцепной вес, т	45,6	60,0	60,0	

9) Т. системы Юнгстрем, опытный, г. п. 1921, Швеция, з-д Юнгстрем в Стокгольме. 10) Т., инж. Юнгстрем для Аргентинских ж. д., г. п. 1925, Швеция, з-д Нидквист и Гольм в Тролльгеттане. 11) Т. сист. Юнгстрем для англ. ж. д., г. п. 1926, Англия, з-д Бейер-Пикок в Манчестере. 12) Т. сист. Юнгстрем для шведских ж. д., г. п. 1927, Швеция, з-д Нидквист и Гольм. 13) Т. сист. Юнгстрем для шведских ж. д., без конденсации, г. п. 1929, Швеция. За исключением последнего все Т. сист. Юнгстрем по принципам устройства и расположения основных деталей однотипны и различаются по колесным характеристикам, весу и нек-рым конструктивным вариациям. Устройство этих Т. таково: главный экипаж локомотива, состоящий из двух тележек, поддерживающих котел, будку машиниста, бункер и баки с водой. Экипаж тендера является главным—он имеет движущие оси и поддерживающую тележку. Турбина активно-реактивного действия располагается на раме тендера и имеет выхлопной патрубок, выведенный в воздушный конденсатор,



Фиг. 2.



Фиг. 3.

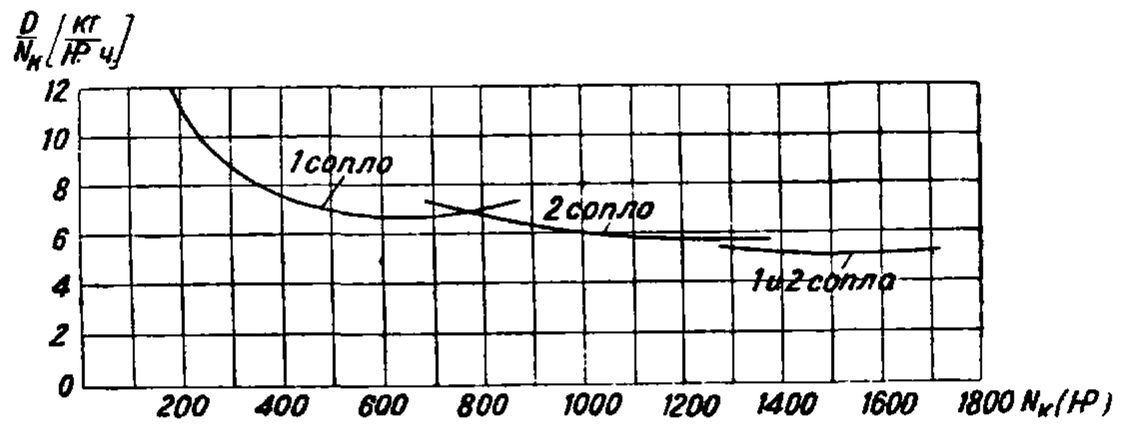
занимающий главную часть тендера. Конденсатор состоит из большого числа плоских ребристых труб. Охлаждающий воздух прогоняется тремя или четырьмя вентиляторами (ок. 300 HP). Конденсат насосом подается в подогреватель, а затем в котел. Передача—зубчатая с передаточными отношениями около 1 : 30. В первом опытном Т. передача была двойная с отбойным валом, в последующих, за исключением Т. без конденсации, тройная, причем третий зубчатый венец упруго поставлен на ведущей оси. Вся передача создана эластичной путем введения упругих элементов—листовых рессор, рессорных спиц, полых валов и т. п. Реверсирование производится путем включения промежуточной шестерни посредством ряда специальных устройств, обеспечивающих совпадение впадин и зубцов, а также не позволяющих сделать переключение во время хода. Все указанные Т. имеют подогреватели воздуха. Первый опытный Т. имел пластинчатый воздухоподогреватель, последующие—ротативные. В табл. 2 дана характеристика Т. сист. Юнгстрем, имеющихся на аргентинских, шведских и английских ж. д. 14) Т. сист. Беллуццо, г. п. 1931, Италия, з-д Бреда. Тип 1–4–1. Турбина, состоящая из части высокого, части среднего и 2 частей низкого давления, расположена поперек рамы локомотива по обеим сторонам котла между 2 и 3 сцепными колесами. Двойная зубчатая передача расположена между рамами и передает движение движущим колесам через отбойный вал и спарники. Водяной конденсатор расположен между рамными листами над первой

Табл. 2.—Характеристика турбовозов аргентинских, английских и шведских.

Основные показатели	Опытный, постройки 1921 г.	Аргентин. ж. д.	Шведск. ж. д.	Англ. ж. д.	Шведск. ж. д. без конденсат.
Колесная характеристика	2—3—3—1	2-3-4-1	2—3—3—2	2—3—3—2	1—4—0
Проектная мощность на ободе, Hp	1 750	1 750	1 800	2 000	1 500
Предельная скорость, *км/ч*	90	65	90	120	60
Предельное число об/м. турбины	9 200	7 150	10 000	10 500	10 000
Тип турбины	Кертис реакт.	Актив.-реакт.	Актив.-реакт.	Актив.-реакт.	
Число ступеней	1—15	—	—	1—18	
Тип передачи, передаточное число	Двойн., 1 : 22,5	Тройн., 1 : 32,4	Тройн., 1:32,25	Тройн., 1 : 25,22	Тройн., 1 : 50,4
Поверхность конденсатора, $м^2$	1 000	1 200	1 200	1 250	
Топливо	Уголь	Нефть	Уголь	Уголь	Уголь
Давление пара в котле, $кг/см^2$	21	19,5	19,5	21	13,5
Площадь колосниковой решетки, $м^2$	2,6	2,85	3,07	2,79	3,0
Поверхность нагрева, $м^2$	115	100	122	151	150
Поверхность нагрева перегревателя, $м^2$	80	57	73	60	100
Поверхность нагрева воздухоподогревателя, $м^2$	166	80	80	80	
Ширина колеи, *мм*	1 435	1 000	1 435	1 435	1 435
База колесная полная, *мм*	17 525	18 500	21 000	19 200	14 236
База между буферами, *мм*	21 915	21 400	25 000	25 250	17 776
Диам. движущих колес, *мм*	1 430	1 470	1 525	1 600	1 350
Вес экипажа котла в рабочем состоянии, *т*	62	62	61,1	69,16	
Вес тендера в рабочем состоянии, *т*	64	64,5	69,4	73,18	
Сцепной вес, *т*	48	51,5	49	55,2	72
Общий вес в рабочем состоянии, *т*	126	126,5	130,5	143,13	118

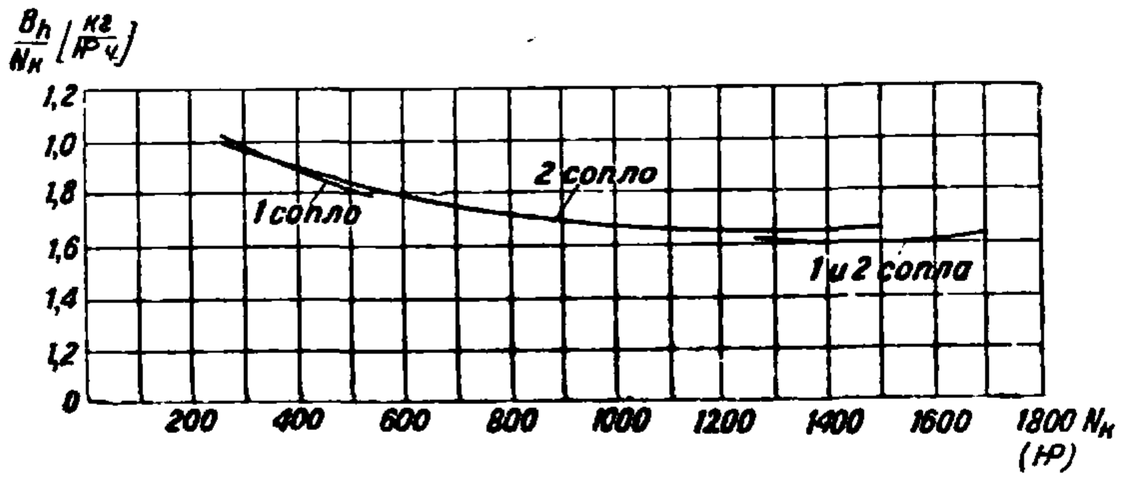
сцепной осью. Холодильник расположен на лобовой части. Тендер не имеет никаких отличий от тендеров обычных паровозов.

Опытные данные Т. Опыты с Т. указали, что при исправной работе конденсатора возможна экономия топлива по сравнению с



Фиг. 4.

обычными паровозами в размере от 30 до 50% и воды для чисто воздушных конденсаторов 90÷95%. На фиг. 4 представлен график уд. расхода пара в Т. сист. Крупп-Цёлли в ф-ии мощности при скорости 80 *км/ч*. Пересчет дан проф. Нордманом при уд. сопротивлении Т., принятом как для повозки $W_0' = 1{,}5 + \frac{v}{20}$. Уд. расход



Фиг. 5.

топлива в Т. сист. Крупп-Цёлли в ф-ии мощности при скорости 80 *км/ч* дан на фиг. 5. Т. с механич. передачей наиболее экономичны при расчетных скоростях; при сильном снижении скорости экономии в паре и топливе не имеется. Сравнительный расход угля для Т. сист. Юнгстрем и паровоза при максимальной нагрузке представлен на фиг. 6, причем наименьший расход угля в паровозе принят за 100%. Т. дают удовлетворительное изменение силы тяги от скорости и обеспечивают достаточную величину силы тяги при трогании с места (фиг. 2, 3).

На фиг. 7 дан график касательных сил тяги в ф-ии скорости по опытам первого опытного Т. сист. Юнгстрем постройки 1921 г. Табл. 3 и 4

Табл. 3.—Расход топлива при испытании турбовоза Юнгстрем.

1921 г.	Участок	Вес состава, *т*	Расход угля, *т**
13/X	Хагалунг—Упсала	505	12,2
14/X	Упсала—Хагалунг	492	14,1
22/X	Хагалунг—Стокгольм	540	11,6

* В *т* на 1 000 *ткм* (теплотворная способность угля $Q = 6\,620$ Cal/*кг*).

Табл. 4.—Результаты эксплоатационных поездок турбовоза Юнгстрем.

Показатели	27/VII 1921 г.	12/VIII 1921 г.	16/VIII 1921 г.
Скорость, *км/ч*	59	61	64
Мощность турбины, Hp	672	680	740
Мощность на крюке, Hp	492	486	532
Мощность на ободе (пересчет), Hp	615	615	667
Расход топлива в час, *кг*	415	444	465
Расход топлива на 1 Hp турбины, *кг*	0,62	0,66	0,64
Расход топлива, *кг* на 1 Hp/*час* на касательной	0,68	0,73	0,70

Теплотворная способность топлива 7 300 Cal/*кг*. На 1 000 *ткм* расход воды составлял 7,5 *кг*.

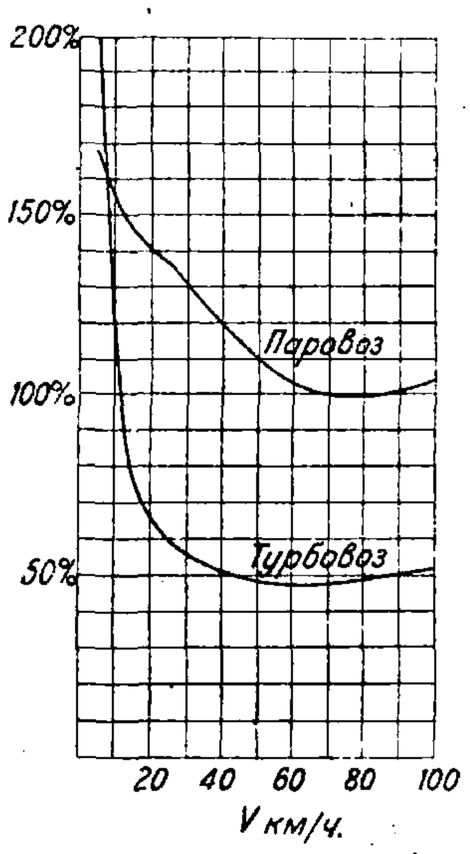
дают результаты эксплоатационных поездок Т. сист. Юнгстрем постройки 1921 г. Табл. 5 дает

Табл. 5.—Результаты сдаточных испытаний турбовозов Юнгстрем на аргентинских ж. д.

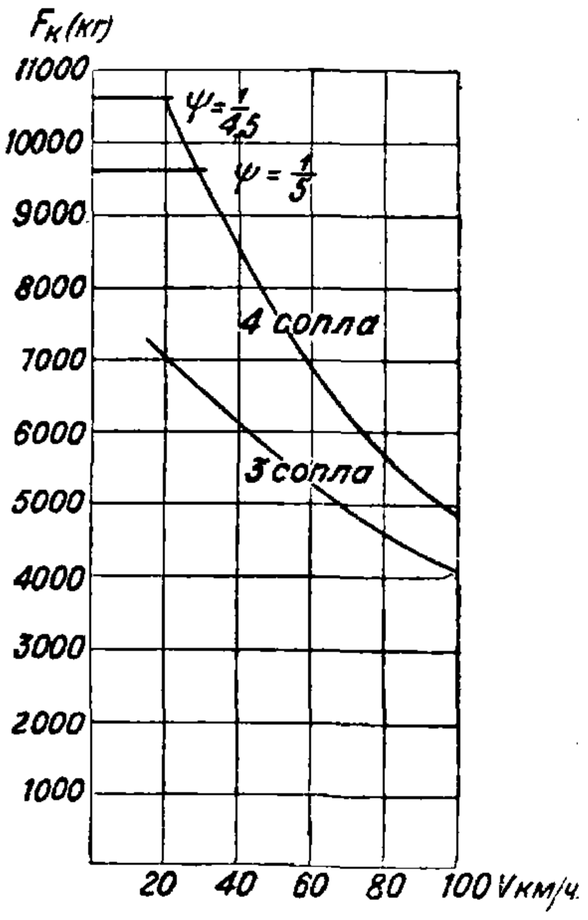
№ опытов	1926 г.	*t°* воздуха	Разрежен. в конденсат., %	Расход воды, *кг/ч*	Расход нефти, *кг* на 1 000 *ткм*	Вес поезда, *т*
1	23—25/III	28,5	75	167	8,8	935
2	13—15/VI	—	—	182	10,7	935
3	17—19/IX	31—19	—	155	7,7	1 625
4	23—25/XI	38—30	55—70	182	9,9	1 340

результаты сдаточных испытаний Т. системы Юнгстрем на аргентинских железных дорогах.

Стоимость постройки Т. По данным Лоренца (фирма Крупп) стоимость Т. типа Крупп-Цёлли в 1,8 раза выше стоимости равномощного паровоза. В виду ожидаемой



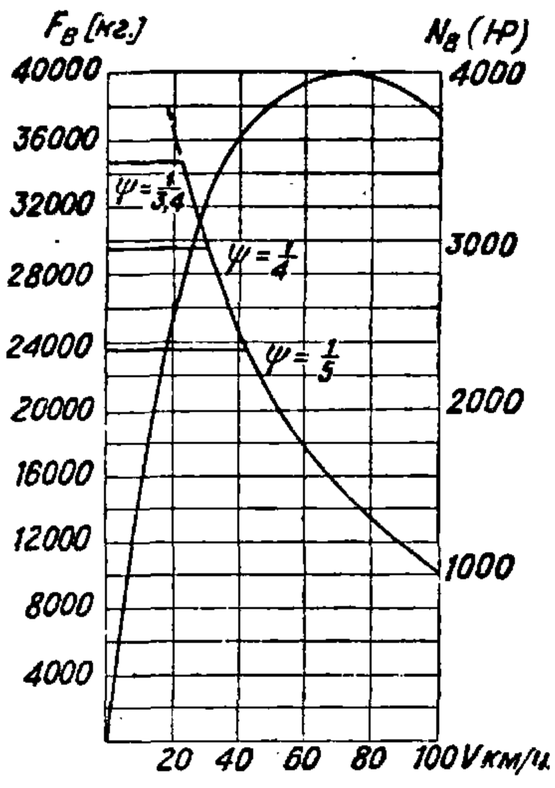
Фиг. 6.



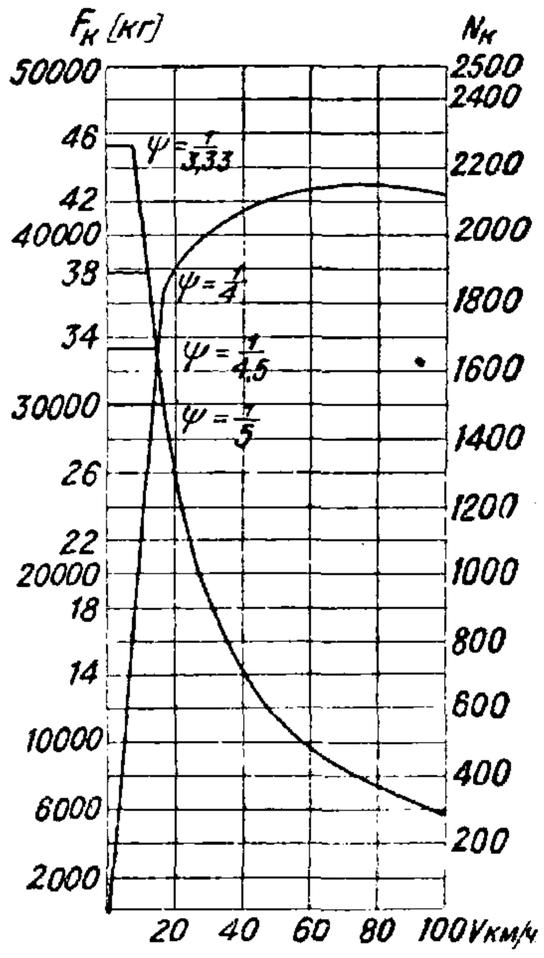
Фиг. 7.

экономии в топливе Лоренц считает, что перерасход на постройке окупается в течение 3,5÷4 лет эксплоатации Т. Есть указания, что Т. сист. Юнгстрем в постройке оказались в 1,7 раза дороже соответствующих им паровозов.

Проекты Т. Фирма Маффей имела проект пассажирского Т. в 2 500 Hp с котлом Бенсона, с рабочим давлением пара в 150 *atm*, с двумя турбинами, с промежуточным перегревом и отоплением угольной пылью. Реверсирование запроектировано переключением зубчатой передачи. Холодильник—поверхностный с замкнутым циклом. Фирма Крупп имеет проект пассажирского Т. в 2 500 Hp с котлом в 60 *atm*, с двумя турбинами, из к-рых одна работает до скоростей в 50 *км/ч*, а другая при скоростях выше 50 *км/ч*. Фирма Юнгстрем имеет проекты Т. на 4 000—8 000 Hp, последний при котловом давлении в 15 *atm* намечается в 376 *m* общего веса, с 10 осями, на двух экипажах. Предположительные кривые силы тяги и мощности на валу турбины проектного Т. сист. Юнгстрем



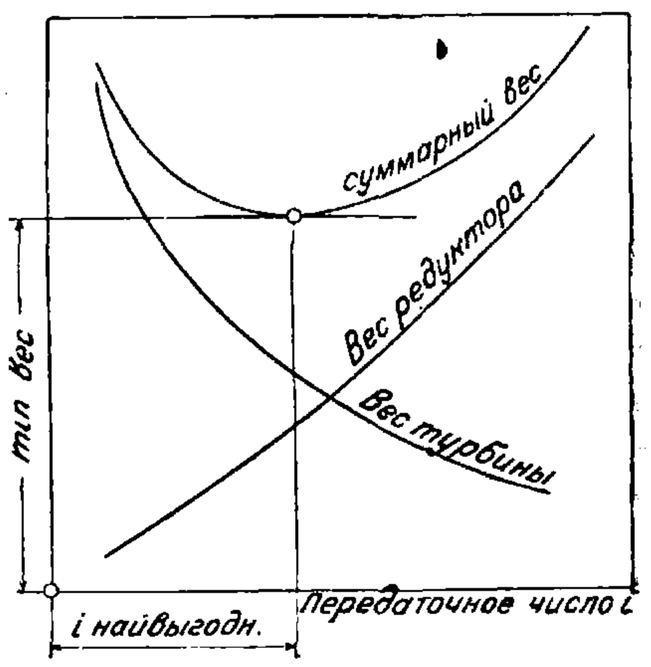
Фиг. 8.



Фиг. 9.

мощностью в 4 000 Hp представлены на графике фиг. 8. Сцепной вес принят в 118 *m*. На съезде Международной топливной ассоциации в 1928 г. в США был одобрен проект Т. в 2 000 Hp с электропередачей, типа 1—3—1+1—3—1, с водотрубным котлом на 31,5 *atm* и с отоплением угольной пылью. На фиг. 9 представлен график касательной силы тяги и мощности в ф-ии скорости в проекте Т. Международной ж.-д. топливной ассоциации США на 2 000 Hp.

Расчеты Т. 1) Определение основных размеров Т. производится по схеме, применяемой в паровозостроении вообще, т. е. по заданным весовым и габаритным ограничениям и желаемой мощности. Д. б. учтено изменение весовых пропорций против обычного паровозостроения в котловой и машинной частях за счет облегчения котла вследствие уменьшения потребления пара на 1 Hp-час и за счет утяжеления машины вследствие наличия тяжелых деталей (турбина, редуктор, конденсатор). Для Т. с давлениями пара в 15—20 *atm* можно предполагать расход пара на 1 Hp-час в 5,5—5 *кг* с учетом служебных расходов. В дальнейшем это д. б. проверено детальными расчетами. 2) Определение передаточного числа редуктора или, что то же, числа оборотов турбины производят нахождением минимума суммы веса турбины и редуктора, учитывая конструктивные формы, габаритные ограничения и допускаемые напряжения. Требуется параллельная пробная конструктивная разработка. На фиг. 10 дан график нахождения минимума веса турбины и редуктора для определения наивыгоднейшего передаточного числа. 3) Тип турбины, число ступеней и профилирование определяются обычными в турбостроении методами для расчетной скорости и нагрузки с конструктивной пробой возможности размещения принятой турбины и редуктора в габарите. 4) Построение кривых силы тяги, расходов пара, мощностей в ф-ии скорости путем исследования работы пара последовательно в каждой ступени, с учетом явлений удара и увеличения вентиляционных потерь. (Исчерпывающего теоретического и экспериментального освещения этих вопросов нет.) Для скоростей венца выше и ниже расчетной возможно пользоваться построением скоростных тр-ков с учетом появления нормальной составляющей скорости при ударе струи о лопатку. При этих расчетах необходимо учитывать изменение режима работы конденсатора из-за изменения теплосодержания пара в конце процесса при переменных числах оборотов и степенях впуска пара. 5) Конденсатор д. б. проверен на возможность конденсации максимального количества пара при максимальном теплосодержании (случай трогания Т. с места), а также на возможность длительной работы на перегретом паре (случай продолжительной езды на подъеме с малой скоростью). 6) Холодильник д. б. рассчитан на изменение нагрузок Т., на изменение $t°$ охлаждающего воздуха и на изменение подачи воздуха вентиляторами. 7) Расчеты деталей на прочность турбины производят, исходя из нормальной мощности, но с дальнейшей проверкой на возможность перегрузки и наличия максимального пускового момента при трогании Т. с



Фиг. 10.

места. 8) Редуктор рассчитывается на напряжения, определяемые имеющимся ассортиментом материалов, по нормам, принятым в тепловозных, электровозных и судовых передачах. Вопросы вибрации передаточного механизма (ротор, редуктор, спарники) исследуются по схеме, принятой в исследовании аналогичных вопросов в электровозостроении. Критическое число оборотов вала турбины при непосредственной передаче д. б. выше предельного числа оборотов турбины. 9) Ведущие дышла и отбойный вал д. б. рассчитаны на передачу всего крутящего момента одной стороной, т. е. когда одно дышло находится в мертвой точке. 10) Воздействие на путь проверяется по схеме, принятой для тепловозов и электровозов с отбойными валами, но с учетом гироскопич. явлений.

Лит.: Курт М., Рабочий процесс турбины с противодавлением при переменном числе оборотов, пер. с нем., М.—Л., 1933; Вырубов Д., Турбовозостроение, «ИТИ», 1929, *2* (*45*); Чирков А., Турболокомотивы, там же, 1931, *5* (*64*); Чирков А., Филиппов В., Касьянов А., Экономичные паровозы, «Подвижной состав», М., 1932, *8—9*; «Техника и экономика путей сообщения» М., 1922, *7*, 1923, *3*, *4*, стр. 125, 165, 1924, стр. 479; «Железнодорожное дело», 1931, *3*, стр. 34; «Engineering», 1921, v. 112, *2917*, p. 728, 1922, v. 114, *2954*, *2955*, p. 64—70, 131—133, 163—168, 198—203, 1927, v. 124, *3231*, *3232*, p. 771—774, 801—804; «Railway Mechanical Engineer», N. Y., 1922, v. 96, *2*, p. 69—70, 1927, v. 101, *2*, p. 78—84, 1928, v. 102, *6*, p. 331—336, *7*, p. 384, *10*, p. 542—548; «La Nature», P., 1922, *2514*, p. 365—367, 1928, *2782*, p. 313; «Railway Gazette», L., 1907, p. 581, 1922, v. 36, *13*, p. 557, 558, 564, 1924, v. 41, *16*, p. 513, 1926, v. 45, *11*, p. 310, 312, 1929, v. 51, *17*; «The Engineer», 1924, v. 138, *3953*, p. 530, 1927, v. 143, *3708*, p. 118—120; «GC», 1922, t. 81, *20*, p. 429—437, 1927, *5*, p. 113, *20*, p. 473; «Railway a. Locomotive Engineering», N. Y., 1927, v. 11, *4*, p. 95—99; «Railway Engineer», L., 1924, v. 45, *533*, p. 200—201, *528*, p. 5—10, 24, 1925, v. 46, *540*, p. 27, *551*, p. 435—439, 1926, v. 47, *558—560*, p. 233—338, 285—289, 322—325, 1927, *7*, p. 247, 261, 1930, v. 51, *606*, p. 258—259; «Railway Age», N. Y., 1923, v. 75, *15*, p. 667—668, 1924, v. 77, *3*, p. 107—108, 1927, v. 82, *4*, p. 295, 1928, v. 84, *19*, p. 1106—1107, 1931, v. 90, *16*, p. 771; «Mechanical Engineering», N. Y., 1924, v. 46, *11*, p. 653—660, 1925, v. 47, *4*, p. 235—239, 1929, v. 51, *2*, p. 133—141; «Z. d. VDI», 1922, B. 66, *46—47*, p. 1060—1066, 1925, *14*, p. 447, *16*, p. 515, 1926, B. 70, *47*, p. 1565, 1930, B. 74, *6*, p. 173; «Glasers Annalen», B., 1921, B. 89, *8*, p. 88, 1923, B. 92, *5*, p. 69—79, 1930, B. 106, *7*, p. 90—91; «Kruppsche Monatshefte», Essen, 1924, B. 5, *8—9*, p. 129—136; «Schweizerische Bauzeitung», Zürich, 1923, B. 82, *23*, p. 299—303, 1924, B. 84, *13*, p. 151, 1926, B. 87, *2—3*, p. 20—24, 34—37, 1930, B. 96, *9*, p. 106; «Transaction American Society Mechanical», 1924, v. 46, *1947*, p. 1205—1244; «Escher-Wyss Mitteilungen», Zürich, 1928, *5*, p. 98; «Engineering Progress», 1924, v. 5, *9*, p. 165, 1927, v. 8, *3*, p. 79—82, 1928, v. 9, *8*, p. 218—219; «Chaleur et Industrie», P., 1922, *30—32*, p. 1675, 1923, *33*, p. 53; «Railway Review», L., 1922, v. 71, *7*, p. 201—207; «Aktiebolaget Ljungström Angtürbin», 1928, Circular 201, A—2; «Revue générale des chemins de fer», P., 1928, t. 47, *4*, p. 312—314; «Die Lokomotive», W., 1932, *5*, p. 79—82; «Organ f. die Fortschritte des Eisenbahnwesens», 1924, B. 79, *1—2*, p. 1—8, 23—34, 1927, *24*, Berlin, 1932, *6*, p. 132; «Rivista tecnica della ferrovia Italiane», 1931, *1—2*, p. 60—63; «Boiler Marker», New York, 1928, v. 28, *9*, p. 258—259.

А. Чирков.

ТУРБОГЕНЕРАТОРЫ. Т. паровой есть агрегат, состоящий из трех основных частей: паровой турбины (см. *Турбины*), *конденсатора* (см.) и генератора электрического тока. В том случае, если турбина выполнена для работы с противодавлением, конденсационной установки может и не быть. Вспомогательное оборудование турбогенератора состоит из: а) насосных агрегатов и эжекторов для охлаждающей воды, конденсата и воздуха, б) воздушных фильтров генератора, в) масло- и воздухоохладителей, г) соответствующих паро-, водо- и маслопроводов, д) контрольно-измерительной и защитной аппаратуры. Кроме того в оборудование современных Т., работающих с регенерацией тепла, входит регенеративное устройство, состоящее из подогревателей, или бойлеров, испарителей и в нек-рых случаях деаэраторов. Схема расположения и соединения частей современной турбогенераторной установки типа Метрополитен-Виккерс дана на фиг. 1, где приняты следующие обозначения: *A*—генератор, *B*—турбина, *C*—эжекторы, *D*—испаритель, *E*—водоотделитель, *F*—масляный холодильник, *G*—конденсатор, *H*—мотор, *I*—циркуляционный насос, *K*—главный вентиль на подводящем трубопроводе для охлаждающей воды, *L*—главный вентиль на отводящем трубопроводе для охлаждающей воды, *M*—возбудитель, *N*—1-й подогреватель, *O*—2-й подогреватель, *P*—3-й подогреватель, *1*—клапан обратного давления, *2*—задвижка, *3*—обратный клапан, *4*—засасывание воздуха из конденсатора, *5*—конденсат к первому подогревателю, *6*—пар из уплотнений. Слово Т. впервые введено Парсонсом, построившим в 1885 г. первый агрегат из турбины и генератора. В электротехнике часто неправильно называют Т. синхронный генератор переменного тока, предназначенный для соединения с турбиной; в этом случае правильнее говорить турбинный генератор.

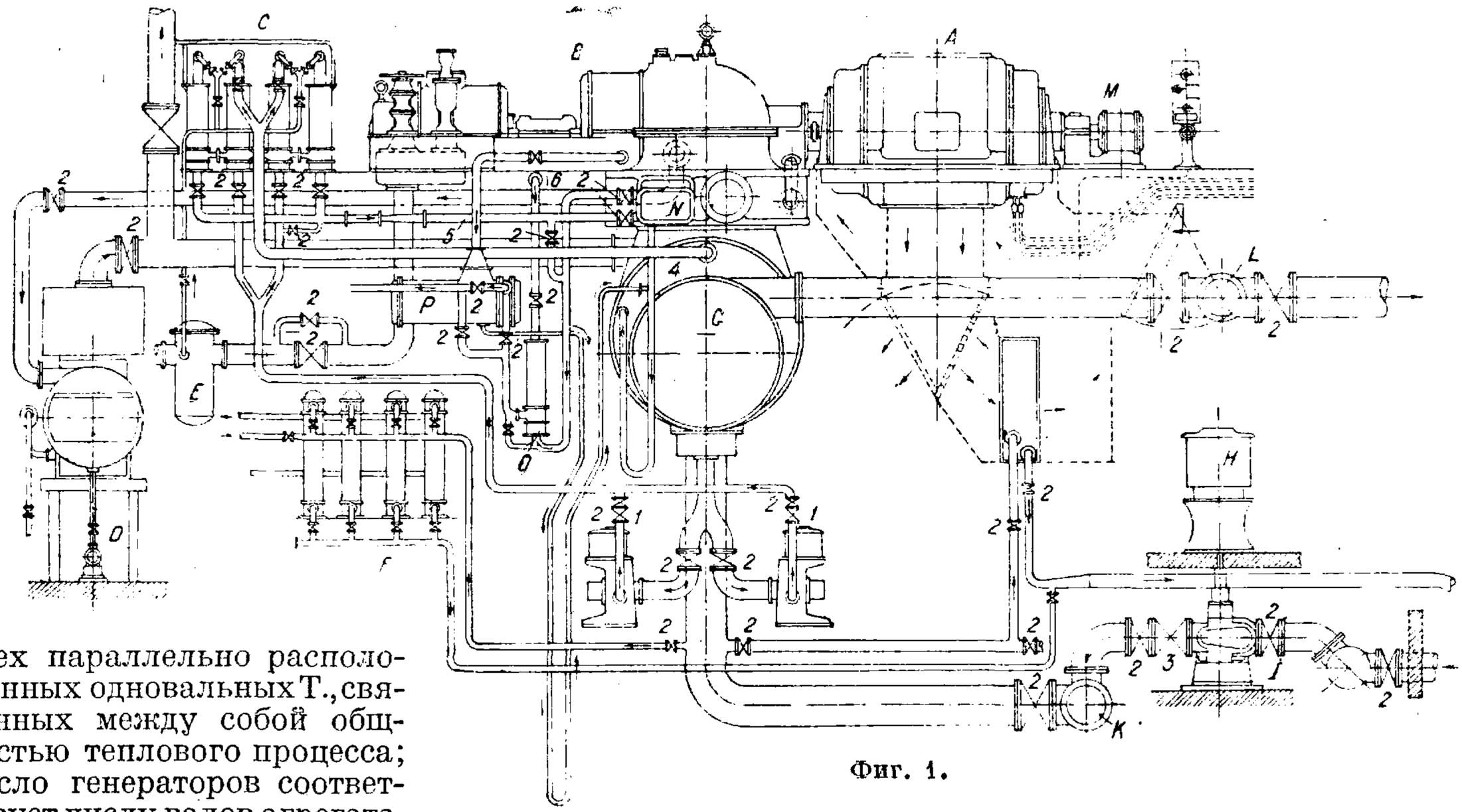
Классификация. Существующие типы Т. можно подразделить на сл. группы.

1) По назначению: а) чисто конденсационные Т., служащие для превращения максимальной возможной части теплоты пара в электрич. энергию. Эти Т. работают с выпуском отработавшего пара в конденсатор с глубоким вакуумом и являются основным оборудованием районных электростанций; б) теплофикационные Т., перерабатывающие в электрич. энергию только небольшую часть теплоты пара с тем, что остаток ее используется в соответствующих устройствах для бытовых или производственных нужд (отопление, варка, сушка и т. п.). В зависимости от типа турбины теплофикационный Т. может быть с противодавлением, с отбором пара или и с тем и с другим. Теплофикационные Т. небольшой мощности находят себе преимущественное применение на фабрично-заводских электростанциях, вследствие чего их иногда называют индустриальными, или промышленными, Т. Теплофикационные Т. значительных мощностей предназначаются для городских или районных теплоэлектроцентралей.

2) По числу оборотов: а) тихоходные Т. с 1 000 или 1 500 об/м.; б) быстроходные Т. с n=3 000 об/м. или больше. (Число оборотов генератора переменного тока, непосредственно соединенного с турбиной, определяется *числом его полюсов и при принятой* в СССР частоте 50 пер/ск. д. б. 1 000, 1 500 или 3 000. Более высокое число оборотов турбины возможно только при наличии зубчатой передачи между нею и генератором.) Чем выше число оборотов Т., тем меньше при той же мощности его размеры и вес; отсюда понятно стремление конструкторов выполнять Т. на максимально возможное число оборотов, т. е. обычно на 3 000 об/м. Мощность Т. при этом ограничена сечением междулопаточного пространства последнего венца турбины, пропускающего максимальные объемы пара. Т. наибольшей возможной для данного числа оборотов мощности называется Т. предельной мощности.

3) По роду тока: а) Т. постоянного тока (иногда именуемые турбодинамо); б) Т. переменного тока (турбоальтернаторы), которые могут быть одно-, трех- и шестифазными.

4) По числу валов: а) одновальные Т., у к-рых валы всех элементов Т. соединены между собой в одно механич. целое и лежат на одной прямой. Сюда же следует отнести и Т. с зубчатыми передачами, хотя в этом случае валы турбины и генератора несколько смещены (фиг. 5); б) многовальные Т., представляющие собой сдвоенные или же строенные агрегаты, состоящие из двух или трех параллельно расположенных одновальных Т., связанных между собой общностью теплового процесса; число генераторов соответствует числу валов агрегата.

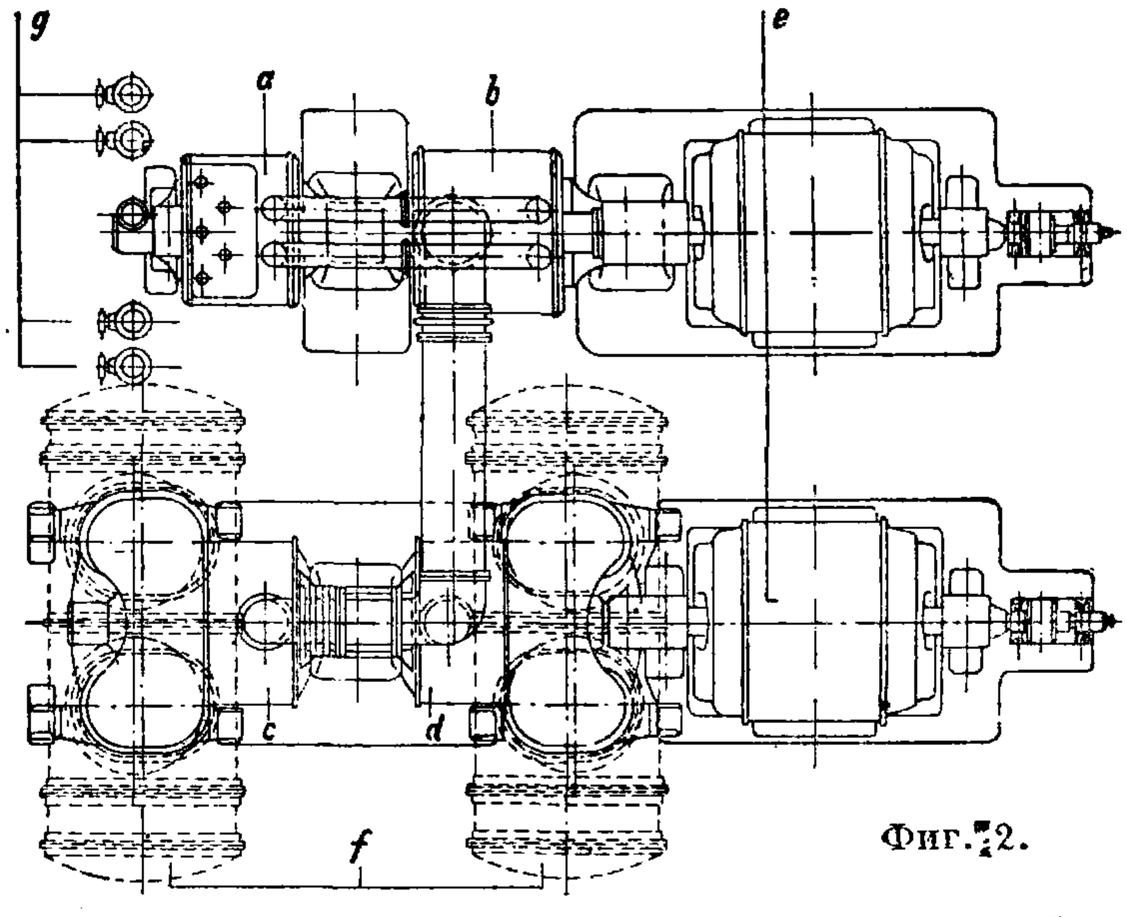


Фиг. 1.

5) По числу корпусов (цилиндров) турбины: а) однокорпусные Т., у к-рых весь лопаточный аппарат турбины размещен в одном корпусе, представляют собой наиболее простой и дешевый тип Т.; б) многокорпусные Т., паровая часть к-рых состоит из нескольких корпусов (фиг. 2), являются более сложным и дорогим типом Т., но и наиболее экономичным. Наибольшее распространение имеют двухкорпусные Т., реже встречаются трехкорпусные и только в единичных случаях—четырехкорпусные.

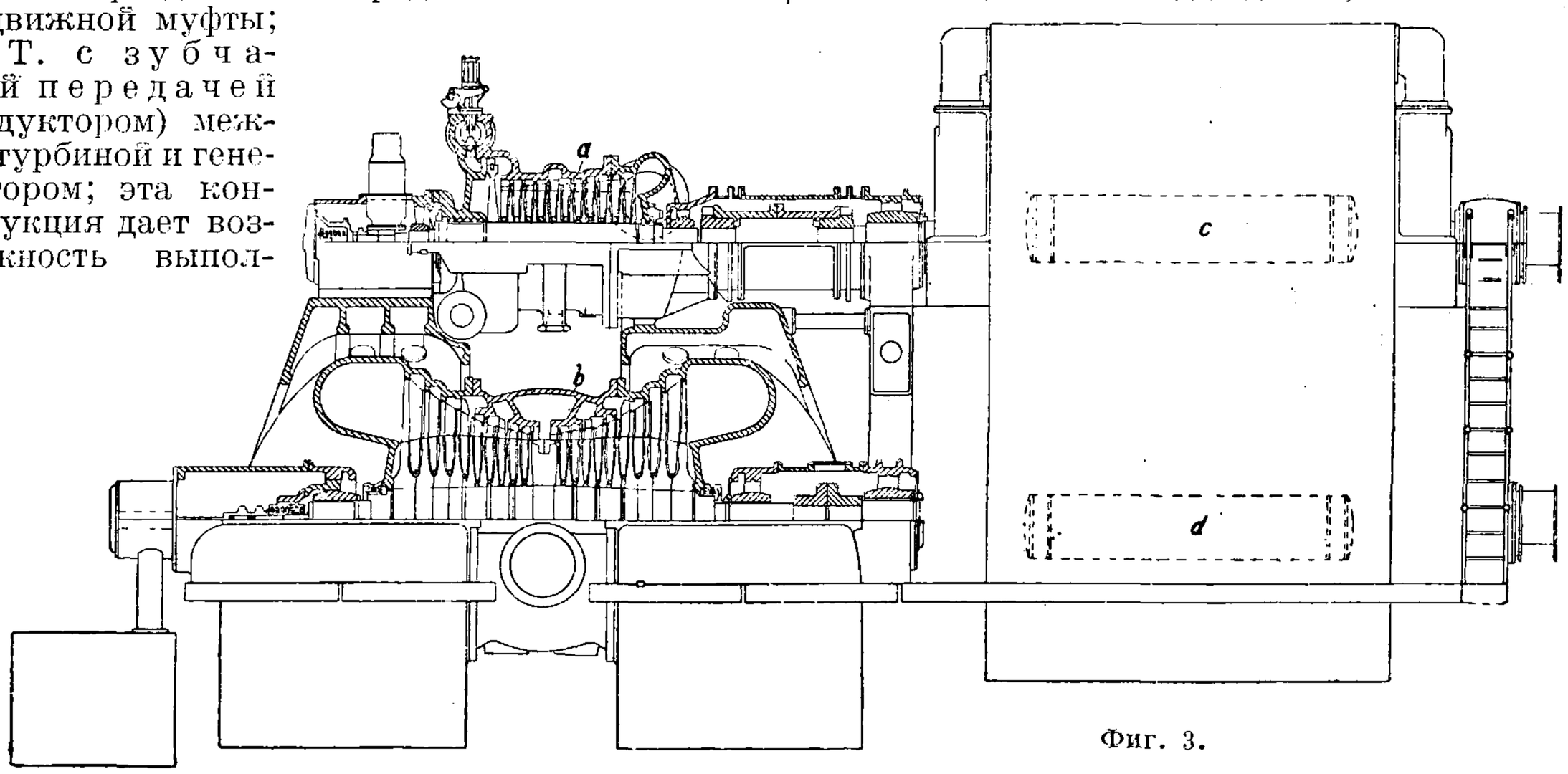
6) По расположению корпусов: а) Т. тандем (фиг. 1), имеющие последовательное расположение корпусов; эта одновальная конструкция наиболее употребительна; б) Т. кросс-компаунд (фиг. 2), представляющие собой многовальные агрегаты с параллельным расположением корпусов: *a*—турбина высокого давления, *b*—турбина среднего давления, *c*—первая турбина низкого давления, *d*—вторая турбина низкого давления, *e*—генераторы, *f*—конденсаторы, *g*—стопорные вентили; в) двухэтажные Т., или Т. вертикалькомпаунд, у к-рых при двухвальной конструкции корпусы турбины расположены друг на друге, так же как и генераторы (фиг. 3), или же агрегат высокого давления помещен на генераторе агрегата низкого давления (фиг. 4). На фиг. 3 представлен T. GEC мощностью 110 000 kW при 1 800 об/м., построенный для электростанции з-да Форда: *a*—турбина высокого давления, *b*—турбина низкого давления, *c*—первый генератор, *d*—второй генератор. На фиг. 4 представлен Т. GEC мощностью 50 000 kW, где *a*—турбина высокого давления, *b*—турбина низкого давления, *c*—генератор турбины высокого давления, *d*—генератор турбины низкого давления. Агрегат высокого давления работает при 3 600 об/м., а агрегат низкого давления при 1 800 об/м. Такое расположение применяется сравнительно редко: только в случае крайнего недостатка площади машинного зала при достаточной его высоте.

7) По расположению конденсационной установки: а) Т. нормального типа, имеющие конденсатор расположенным в подвале машинного зала; б) Т. бесподвального типа (фиг. 5а и 5б), у к-рых вся установка находится над уровнем пола машинного зала, что упрощает наблюдение за ней и удешевляет конструкцию фундамента. На фиг. 5а дан Т. бесподвального типа мощностью 1 000 kW, 5 000/1 000 об/м. типа Метрополитен-Виккерс, принятый к постройке з-дом «Красный Путиловец», где *1*—турбина, *2*—конденсатор, *3*—зубчатая передача (редуктор), *4*—генератор, *5*—возбудитель, *6*—циркуляционный насос, *7*—конденсационный насос, *8*—пароструйный эжектор, *9*—трубопровод циркуляционной воды, *10*—подвод свежего пара, *11*—маслоохладитель. Этот тип до сих пор строился только для небольших (до 4 000 kW) мощностей, но в настоящее время уже имеются разработанные конструкции мощностью до 12 000 kW.



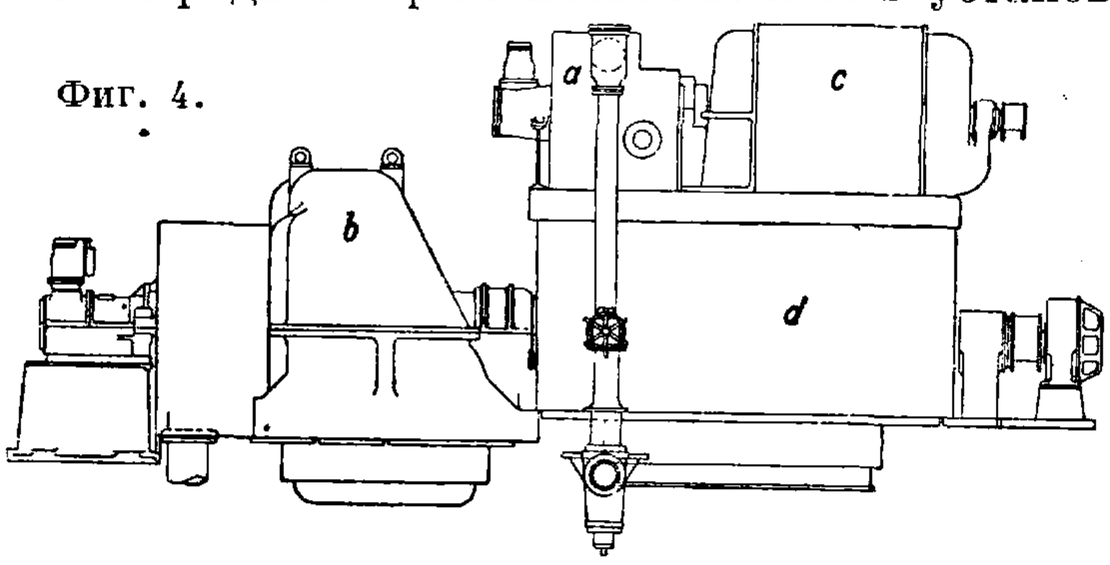
Фиг. 2.

8) По методу соединения валов турбины и генератора: а) Т. с прямой передачей посредством жесткой или подвижной муфты; б) Т. с зубчатой передачей (редуктором) между турбиной и генератором; эта конструкция дает возможность выполнить как турбину, так и генератор с разным, наивыгоднейшим для каждого из них числом оборотов, но связана с известной потерей энергии в передаче. Применяется только в установках небольшой мощности (см. табл. 4), т. к. для крупных турбин повышение числа оборотов выше $n = 3\,000$ об/м. пока неосуществимо.



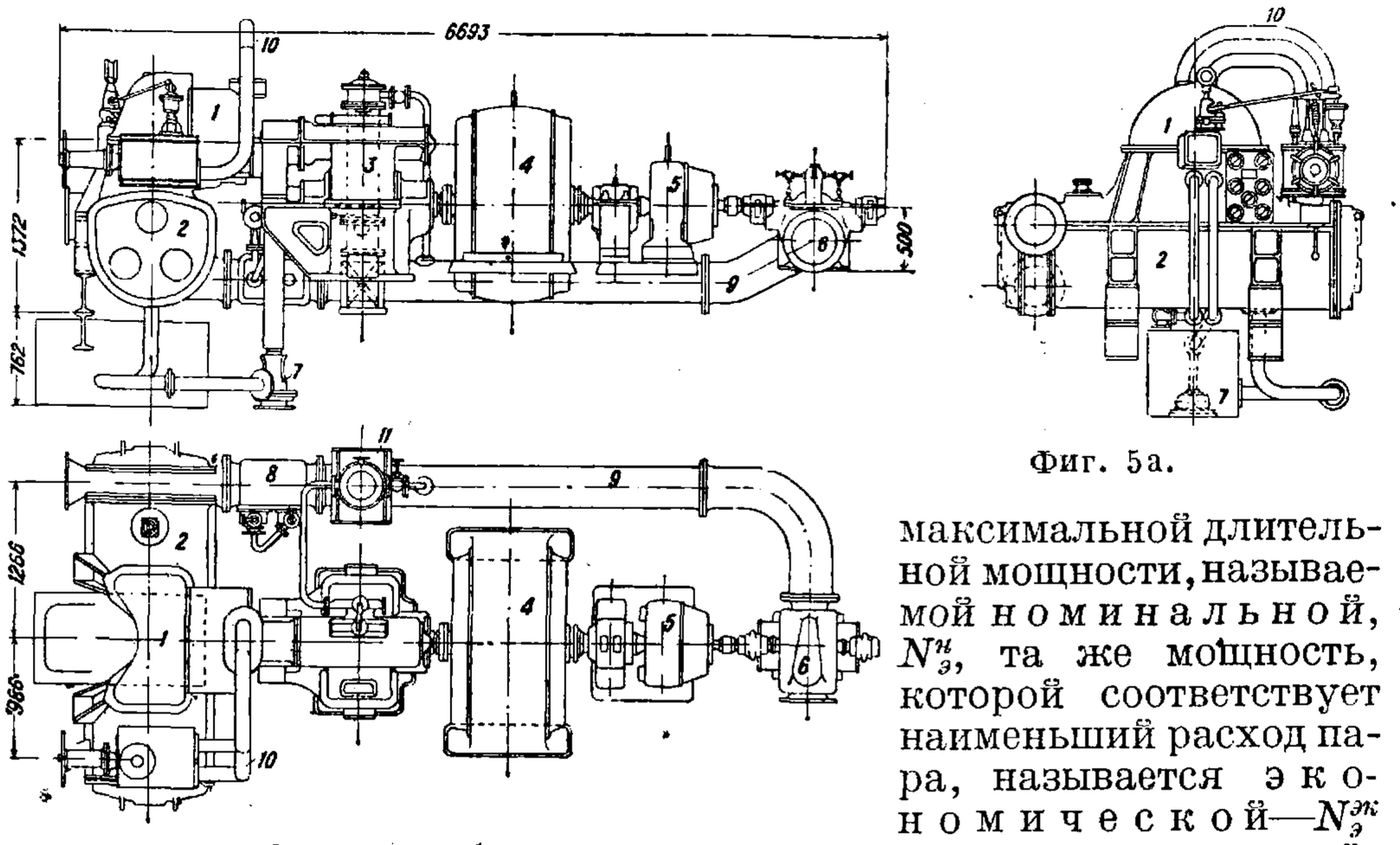
Фиг. 3.

Фиг. 4.



9) По выполняемым функциям: а) главные Т., несущие основную нагрузку электростанции; б) пиковые Т., служащие для покрытия пиковых нагрузок; отличительная способность их — возможность быстрого развертывания и включения в работу; в) хаус-Т., или Т. собственных нужд, обслуживающие потребность самой электростанции в электрической энергии.

10) Т. особых конструкций. Из существующих распространенных конструкций Т. имеется одна, настолько своеобразная, что уложить ее в рамки приведенной выше классификации не представляется возможным; это Т. сист. Юнгстрем (фиг. 6). На фиг. 6 дан разрез Т., где *1*—лопаточный аппарат, *2*—паровая камера, *3*—впуск пара, *4*—выпускной патрубок, *5*—конденсатор, *6*—ротор генератора, *7*—статор генератора, *8*—вентилятор, *9*—привод регулятора и тахометра, *10*—сборные кольца, *11*—упорный подшипник, *12*—возбудитель, *13*—масляный резервуар, *14* и *15*—подвод и отвод воздуха. Он состоит из турбины чисто реактивного типа, имеющей два диска, насаженных на концы отдельных независимых валов, вращающихся в противоположные стороны, и двух генераторов, роторы к-рых насажены на эти же валы. Генераторы имеют один общий возбудитель. Турбина и генераторы составляют одно целое, стянутое болтами цилиндрическое тело, опирающееся массивным выпускным патрубком турбины на конденсатор, служащий основанием для всего Т. Фундамент представляет собой четыре небольшие бетонные подушки под лапы конденсатора. Вся установка получается чрезвычайно компактной. Агрегаты большой мощности (свыше 10 000 kW) иногда размещают в двух этажах станции, т. к. высота установки получается довольно значительной.



Фиг. 5а.

Номинальная и экономическая мощность. Прежде нормальной мощностью Т. считалась та, при к-рой расход пара был наименьшим и сверх к-рой он мог давать длительную перегрузку, обычно в 25%. В настоящее время принято именовать Т. по его максимальной длительной мощности, называемой номинальной, $N_э^н$, та же мощность, которой соответствует наименьший расход пара, называется экономической — $N_э^{эк}$ и обычно выражается в долях от номинальной. Наиболее распространенным соотношением этих мощностей является $\frac{N_э^{эк}}{N_э^н} = 0{,}8$, причем для самых больших мощностей его иногда прибли-

жают к единице, стремясь использовать возможно полнее крупные агрегаты, несущие основную нагрузку станции. С другой стороны, Т., несущие в основном пиковую нагрузку или среднюю нагрузку с частыми пиками, в некоторых случаях выполняют с $\frac{N_э^{эк}}{N_э^{н}} = 0{,}5 \div 0{,}7$, придавая тем самым агрегату очень большую перегрузочную способность.

Фиг. 5б.

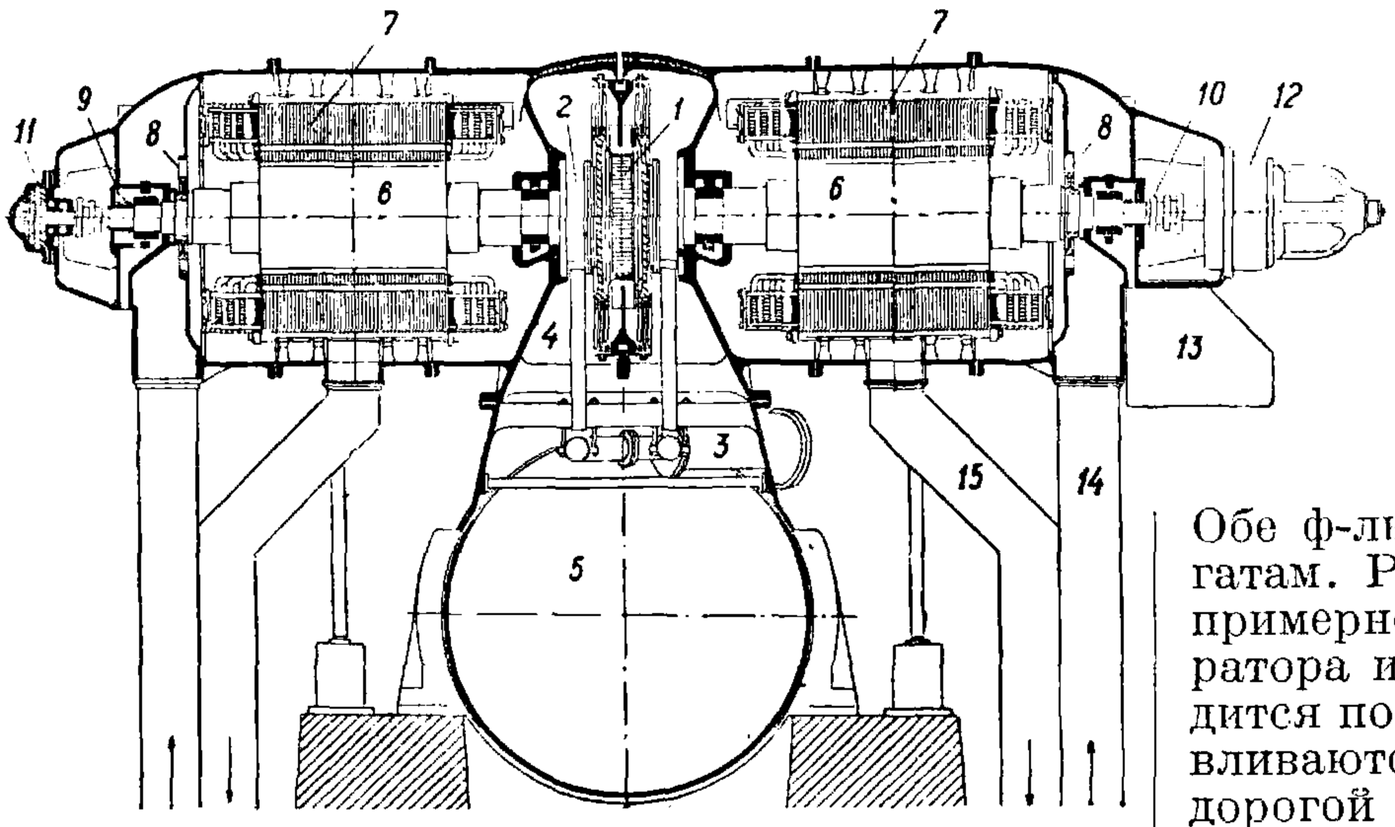
Кпд и расходы пара. Показателем качества Т. служит его относительно-электрический кпд

$$\eta_{оэ} = \eta_{ое}\,\eta_{г},$$

где $\eta_{ое}$—относительно-эффективный кпд турбины, $\eta_г$—кпд генератора. Величина этого коэф-та в основном определяется совершенством конструкции турбины и качеством ее выполнения. С другой стороны, она зависит от мощности агрегата и от параметров пара до и после расширения. Удельный расход пара агрегатом м. б. примерно определен по ф-ле

$$D_э = \frac{860}{\eta_{оэ}\,(i_1 - i_{2t})},$$

где $D_э$—расход пара на 1 kWh, i_1—теплосодержание пара перед турбиной, i_{2t}—теплосодержание пара после адиабатического расширения (теоретическое), 860—тепловой эквивалент



Фиг. 6.

Табл. 1.—Характеристика европейских конденсационных Т.

$N_э^{эк}$, kW	$\eta_{оэ}$, %	$D_э$, кг/kWh	$N_э^{эк}$, kW	$\eta_{оэ}$, %	$D_э$, кг/kWh
1 500	72,8	4,88	15 000	79,0	4,47
3 000	74,2	4,77	20 000	79,6	4,42
4 000	75,2	4,69	25 000	80,4	4,38
5 000	75,9	4,65	30 000	81,3	4,36
6 000	76,5	4,61	40 000	82,0	4,33
8 000	77,4	4,55	60 000	82,5	4,30
10 000	78,1	4,50	80 000	82,6	4,29

одного kWh. Ориентировочные величины $\eta_{оэ}$ и $D_э$ для современных европейских конденсационных Т. при $p_1 = 20$ *atm* абс., $t_1 = 350°$ и $p_2 = 0{,}05$ *atm* абс. сведены в табл. 1.

Для американских Т. Кристи дает следующие значения $\eta_{оэ}$ при $p_1 = 32{,}5$ *atm* абс., $t_1 = 400°$ и $p_2 = 0{,}0346$ *atm* абс. (табл. 2).

Более низкие значения $\eta_{оэ}$ (табл. 2) объясняются имеющейся в Америке тенденцией осуществить возможно более простые, компактные и дешевые машины за счет снижения экономичности. Рекордной величиной являлась $\eta_{оэ} = 85{,}1\%$, полученная у сложного трехкорпусного Т. сист. Броун-Бовери $N_э^{эк} = 85\,000$ kW на станции Zschornewitz. В самое последнее время этот рекорд превзойден Т. Юнгстрем $N_э^{н} = 50\,000$ kW на электростанции Vasteräs, давшим $\eta_{ое} = 90{,}3\%$ и $\eta_{оэ} = 87{,}2\%$.

Веса и цены Т. Вес Т. данной мощности в значительной степени зависит от его конструкции (числа ступеней и корпусов турбины и т. п.)

Табл. 2.—Характеристика американских турбогенераторов.

$N_э^{эк}$, kW	5 000	30 000	35 000	40 000	45 000	50 000	55 000
$\eta_{оэ}$, %	76,8	77,3	77,7	77,9	78,2	78,5	78,6
$N_э^{эк}$, kW	60 000	65 000	70 000	75 000	80 000	90 000	100 000
$\eta_{оэ}$, %	78,7	78,8	78,9	79,0	79,2	79,3	79,5

и числа оборотов; поэтому для определения веса представляется возможным дать только приближенные ф-лы. По инж. Краснопольскому при $N_э^{н} < 8\,000$ kW $n = 3\,000$ об/м. и $p_1 = 18 \div 35$ *atm* абс.

$$G = 28\,000 + 15N_э,$$

где G—вес в *кг* и $N_э$—мощность генератора в kW. Двух- или трехкорпусный агрегат мощностью 35 000 kW при $p_1 = 25$—35 *atm* абс. весит от 560 до 620 *m*. По Стодола при $N_э > 20\,000$ HP и $n = 1\,500$ об/м.

$$G = 130\,000 + 8N_э.$$

Обе ф-лы относятся к конденсационным агрегатам. Распределение веса между частями Т. примерно равное, т. е. на долю турбины, генератора и конденсационного устройства приходится по $^1/_3$ общего веса. Цены на Т. обусловливаются в основном конструкцией наиболее дорогой части агрегата—турбины (на турбину падает ок. 45%, на генератор 30% и на конденсационную установку 25% от общей стоимости агрегата). При данной мощности турбина м. б. «дешевого» типа, с небольшим числом ступеней и невысокой экономичностью или же многокорпусной, многоступенчатой машиной, более дорогой, но и более экономичной. Известную роль играет также и репутация фирмы, обусловливающая бóльшую или меньшую надежность и долговечность агрегата. В зависимости от вышеприведенных соображений Т. средней мощности (10 000 kW) стóит за границей франко-завод $19 \div 35$ р. за kW. На основании анализа большого числа предложений иностранных фирм составлены следующие формулы для ориентировочного подсчета цен: 1) для однокорпусных конденсационных Т. мощностью

1 000÷10 000 kW и для многокорпусных мощностью свыше 20 000 kW

$$P = 24\,000 + 24\,N_э;$$

2) для сложных двухкорпусных конденсационных Т. мощностью до 10 000 kW

$$P = 30\,000 + 30\,N_э,$$

где P—стоимость агрегата в руб. франко-место установки, т. е. включая все расходы по доставке, пошлину и т. д. Дать общую ф-лу для подсчета цен на Т. с отбором пара не представляется возможным, т. к. эти цены резко меняются в зависимости от требований заказчика к режиму работы машины.

Турбогенераторостроение за границей. Наиболее крупные фирмы, как напр. Броун-Бовери и К⁰ (Швейцария), AEG (Германия), General Electric Co. (США), Юнгстрем (Швеция), Сименс-Шуккерт (Германия), British Thomson Houston (Англия), Metropolitan-Vickers (Англия) и др. строят агрегат полностью, выполняя в своих заводах не только турбину и конденсационную установку, но и генератор. Фирмы менее мощные или не специализировавшиеся на электромашиностроении, напр. Wumag или MAN в Германии, строят только паровую часть агрегата, приобретая генератор у одной из основных электромашиностроительных фирм, причем агрегат всегда но-

Табл. 3.—Одновальные агрегаты 1 500 об/м. *1

№	Завод-строитель	Станция	Год пуска	Мощность		Номинальный режим				Число корпусов	Число выпусков пара
				Номин. (максим.)*3 длительн., kW	Экономическая, kW	Начальн. давление, atm	Начальн. $t°$	Давление отработ. пара, atm абс. *2	Подогрев конденсата, °C		
1	Parsons	Treforest	1923	18 750	15 000	24,6	371	0,0310	—	1	1
2	BTH	New South Wales Govt. Rlys.	1924	22 000	16 000	18,5	333	0,0604	—	1	1
3	BTH	Stourport	1925	20 000	16 000	22,9	358	0,0345	65,5	1	1
4	Alsthom	Gennevilliers (Paris)	1925	50 000	40 000	25,5	370	—	—	3	2
5	Parsons	Glasgow Corporation	1926	21 000	15 000	19,0	371	0,0310	—	1	1
6	GE (USA)	East River (New York)	1926	60 000	48 000	26,4	371	0,0345	170	1	1
7	BBC	Zschornewitz	1926	37 500	30 000	13,5	325	0,0690	110	3	2
8	MV	Ленинград	1927	30 000	25 000	14,0	325	0,0414	88	2	1,5
9	BBC	Gennevilliers (Paris)	1927	55 000	44 000	25,5	370	0,031	—	3	2
10	MV	Barton (Manchester)	1928	41 000	32 800	24,6	371	0,0345	149	2	1,5
11	BTH	Deptford East (London P. Co.)	1928	25 000	20 000	21,1	371	0,0414	104	1	1
12	BBC	Шатура	1928	44 000	40 000	16,0	375	0,0397	—	3	2
13	GE(USA)	Long Beach Nr. (California)*2	1928	94 000	75 200	28,1	385	0,0345	195	2	2
14	GE(USA)	Buffalo	1928	75 000	60 000	17,6	347	0,0345	—	1	1
15	MV	Красный Октябрь (Ленинград)	1929	45 000	35 000	25,0	375	0,0393	149	2	1,5
16	BTH	Kearsley (Lankashire El. P. Co.)	1929	32 000	25 600	21,1	355	0,0345	—	2	1
17	GE(GB)	Hams Hall (Birmingham)	1929	30 000	24 000	24,6	371	0,069	147	1	1
18	AEG	Goldenbergwerke	1929	53 000	40 000	12,0	325	0,0673	—	1	1
19	AEG	Zschornewitz	1929	85 000	70 000	13,5	360	0,0621	—	2	2
20	GE(USA)	East River (New York)	1929	160 000	128 000*3	26,4	371	0,0345	—	2	2
21	Alsthom	Vitry Sud (Paris)	1930	55 000	45 000	31,0	400	0,0424	143	3	2
22	MV	Clarence Dock (Liverpool)	1930	51 000	41 250	28,1	427	0,0345	149	2	1,5
23	MV & BTH	Battersea (London Power Co.)	1930	67 000	51 200	40,1	455	0,0310	171	3	2
24	BTH	Ironbridge	1930	50 000	40 000	26,4	399	0,0310	—	2	2
25	BBC	Zschornewitz	1930	85 000	75 000	13,5	360	0,065	100	3	2
26	Parsons	Ymuiden	1931	30 000	25 000	28,0	400	0,0379	100	2	2

*1 Сводка Баумана. *2 При $N_э^{эк}$. *3 Принято $N_э^{эк} = 0{,}8\ N_э^{н}$.

Табл. 3а.—Одновальные агрегаты 1 800 об/м. *1

№	Завод-строитель	Станция	Год пуска	Мощность		Номинальный режим					Число корпусов	Число выпусков пара
				Номинальная (максимальн.) длит., kW	Экономическая, kW	Начальное давление, atm	Начальн. $t°$	Промежуточн. перегрев, °C	Давление отработ. пара, atm абс. *2	Подогрев конденсата, °C		
1	WE	Colfax	1924	35 000	25 000	18,66	302	—	0,0345	165	1	1
2	GE(USA)	Philo	1924	40 000	35 000	38,70	385	385	0,0345	—	1	1
3	A. Ch	Waukegan	1925	30 000	24 000*3	—	—	—	0,0345	—	1	2
4	GE (USA)	Richmond (Philadelphia)	1926	60 000	50 000	26,4	358	—	0,0345	—	2	2
5	A. Ch	Waukegan	1927	50 000	40 000*3	42,25	385	—	0,0345	182	2	2
6	WE	Lakeside (Milwaukee)	1928	60 000	37 250	20,4	371	—	0,0259	—	1	1
7	A Ch	Waukegan	1928	65 000	49 000	42,25	385	—	0,0345	—	2	2
8	GE (USA)	Cahokia (St. Louis)	1929	75 000	60 000*3	22,20	385	—	0,0345	—	1	1
9	GE (USA)	Buffalo (Charls R. Huntley)	1930	80 000	64 000*3	29,90	399	—	0,0345	—	1	1
10	GE (USA)	Pekin	1930	105 000	84 000*3	42,25	385	399	0,0345	—	3	2
11	A. Ch	Waukegan	1930	115 000	92 000	44,0	399	399	0,0345	—	2	2
12	A. Ch	State Line	1931	125 000	100 000*3	84,5	440	440	0,0345	—	2	2
13	GE (USA)	State Line	1931	150 000	120 000*3	91,5	455	455	0,0345	—	3	2
14	GE (USA)	Hudson Avenue	1932	160 000	ок. 100 000	68,1	388	—	0,0345	132,6	2	2

*1 Сводка Баумана. *2 При $N_э^{эк}$. *3 Принято $N_э^{эк} = 0{,}8\ N_э^{н}$.

Табл. 3b.—Одновальные агрегаты 3 000 об/м. (по Бауману).

№	Завод-строитель	Станция	Год пуска	Мощность		Номинальный режим					Число кор-пусов	Число вы-пусков пара
				Номин. (максим.) длит., kW	Экономическая, kW	Начальное давление, atm	Начальная t°	Промежут. перегрев, °C	Давление отработ. пара, atm абс.	Подогрев конденсата, °C		
1	AEG	Stuttgart	1922	20 000	15 000	20,0	350	—	0,0414	—	1	2
2	MV	Sydney Corporation	1922	17 500	14 000	14,1	316	—	0,0552	71	1	2
3	BTH	Swansea Corporation	1924	12 500	10 000	10,6	296	—	0,0517	—	1	1
4	MAN	Hamburg	1926	22 500	18 100	35,0	410	—	0,0414	—	3	2
5	MV	Баку	1927	22 000	20 000	20,0	375	—	0,0397	90,5	2	2,5
6	BBC	Ferrybridge (Yorkshire El.)	1927	19 000	15 000	22,2	372	—	0,0345	—	3	2
7	GMA	Hamburg	1927	30 000	30 000	35,0	410	—	0,042	—	2	4
8	BTH	Stourport	1928	20 000	16 000	22,8	357	—	0,0345	149	2	2
9	AEG	Schulau	1928	28 000	22 000	26,0	390	—	0,0414	110	2	2
10	Erste Brünner	Wirkowitz	1928	19 000	19 000	100	490	350	0,0724	—	4	2
11	MAN	Hamburg	1928	36 000	27 000	35,0	410	—	0,0393	—	3	3
12	BTH	Leeds Corporation	1929	25 000	20 000	35,2	399	—	0,0517	149	2	2
13	AEG	Bittefeld	1929	37 500	33 700	18,5	400/425	—	0,0655	95	2	2
14	BBC	Laziska Gorne (Польша)	1929	35 000	28 000	—	—	—	0,690	—	3	2
15	SSW	Fortuna II	1929	30 000	25 000	14,0	350	—	0,080	—	2	2
16	Alsthom	Comines	1929	30 000	24 000	—	385	—	0,0576	95	3	2
17	Bergmann	Borken	1929	40 000	30 000	—	—	—	0,0672	—	2	2
18	MV	Victoria Falls (Юж. Африка)	1930	32 500	30 000	14,1	330	—	0,062	92	2	2,5
19	BTH	Dagenham	1930	30 000	24 000	84,5	385	288	0,0345	177	3	2
20	GE(GB)	Battersea Corporation	1930	30 000	24 000	21,2	399	—	0,0345	149	2	2
21	SSW	West (Berlin)	1930	34 000	27 000	25,0	395	—	0,0427	—	2	2
22	Erste Brünner	Wien	1931	20 800	20 800	20,0	375	—	0,0414	—	2	2
23	BTH	Stourport	1931	30 000	24 000	22,8	357	—	0,0345	149	2	2
24	BBC	Buenos-Aires	1931	35 000	28 000	—	—	—	0,0393	—	3	2
25	BBC	Witkowitz	1931	36 000	30 000	120	490	—	0,0304	180	3	2
26	BBC	St. Denis (Paris)	1931	55 000	40 000	54/69	450/475	—	0,0320	183	4	3
27	Oerlikon	St. Denis (Paris)	1931	50 000	40 000	54/69	450/500	—	0,0320	—	4	4
28	Alsthom	St. Denis (Paris)	1931	50 000	40 000	55	450	—	0,0320	—	3	3
29	SSW	Schelle (Antwerpen)	1931	60 000	50 000	35,0	425	—	0,040	165	3	4
30	Parsons	Hackney	1931	30 000	24 000	24,6	399	—	0,0448	138	2	2

Табл. 3c.—Многовальные агрегаты.*1

№	Завод-строитель	Станция	Год пуска	Мощность		Число об/м.		Номинальный режим					Число валов	Число корпусов	Число выпусков пара	Максим. длительная мощность, kW	
				Номинальная (максим.) длит., kW	Экономическая, kW	Части высокого давления	Части низкого давления	Начальное давл., atm	Начальная t°	Промежуточный перегрев, °C	Давление отраб. пара *2, atm абс.	Подогрев конденсата, °C				Части высокого давления	Части низкого давления
1	GE (USA)	Crawford Avenue (Nr. 2)	1924	60 000	48 000 *3	1 800	1 200	38,8	385	385	0,0345	118	2	2	1	17 000	43 000
2	WE	Crawford Avenue (Nr. 3)	1925	52 000	41 600 *3	1 800	1 800	38,8	385	371	0,0345	—	2	3	2	32 000	20 000
3	WE	Hell Gate (Nr. 6)	1925	50 000	40 000 *3	1 800	1 800	18,65	322	—	0,0345	—	2	2	2	25 000	25 000
4	WE	Hudson Avenue (Nr. 4)	1925	80 000	51 500	1 800	1 800	26,40	371	—	0,0345	182	2	2	2	40 000	40 000
5	Parsons	Barking (London)	1925	40 000	32 000	3 000	3 000	24,60	371	371	0,0345	121	2	4	4	20 000	20 000
6	AEG	Klingenberg (Bewag)	1926	80 000	70 000	1 500	1 500	32,5	400	—	0,0345	138	2	4	2	40 000	40 000
7	GE (USA)	Crawford Avenue (Nr. 4)	1926	77 000	61 600 *3	1 800	1 200	38,8	399	—	0,0345	176	2	2	1	30 250	46 750
8	GE (USA)	Crawford Avenue (Nr. 5)	1927	91 500	73 200 *3	1 800	1 200	38,8	399	260	0,0345	—	2	2	1	33 500	55 000
9	WE	Crawford Avenue (Nr. 6)	1928	104 000	69 600	1 800	1 800	38,8	383	260	0,0345	—	2	3	3	48 000	56 000
10	WE	Huds n Avenue (Nr. 5)	1928	110 000	81 500	1 800	1 800	28,1	371	—	0,0345	132	2	2	2	55 000	55 000
11	ABBC	Hell Gate (Nr. 8)	1928	160 000	90 000	1 800	1 200	18,65	322	—	0,0345	99	2	2	2	75 000	85 000
12	WE	Hell Gate (Nr. 9)	1929	165 000	82 000	1 800	1 800	18,65	371	—	0,0345	122	2	2	2	80 000	85 000
13	GE (USA)	Philo	1929	65 000	1' 2 000 *3	1 800	1 800	42,2	385	285	0,0345	—	3	3	2	53 000	2×56 000
14	GE (USA)	State Line	1929	208 000	150 000	1 800	1 800	42,2	388	260	0,0345	193	3	3	4	76 000	2×66 000

*1 Сводка Баумана. *2 При $N_э^{эк}$. *3 Принято $N_э^{эк} = 0{,}8\ N_э^{н}$.

сит имя фирмы, строившей паровую часть. Основные данные о наиболее значительных Т., построенных за последнее десятилетие в Европе и Америке, приведены в табл. 3, 3a, 3b, 3c и 3d, составленных по сводкам Баумана и Гиба с дополнениями за 1932 г.

Анализ этих таблиц позволяет установить следующие основные тенденции современного

Табл. 3d.—Разные машины.*1

№	Завод-строитель	Станция	Год пуска	Номин. (максим.) длит. мощность, kW	Число об/м. агрегата	Номинальный режим: Начальное давление, atm	Начальная t°	Промежут. перегрев, °C	Давление отработ. пара, atm абс.	Подогрев конденсата, °C	Число валов	Число корпусов	Число выпуск. пара *2
1	Parsons	Treforest	1920	15 000	1 500	22,9	385	—	0,0329	—	1	1	1
2	Parsons	Chicago *4	1923	50 000	1 800*2 / 1 800*3	38,7	399	371	0,0260	160	3	3	1
3	Parsons	Velsen	1929	30 000	1 500	28,1	400	—	0,0363	140	1	2	2
4	Parsons	Dunston	1930	50 000	1 500	42,2	427	427	0,0346	170	1	2	1
5	GE (USA)	Trenton Channel (Detroit)	1924	50 000	1 200	26,4	371	—	0,0311	—	1	1	1
6	GE (USA)	Buenos-Ayres	1925	50 000	1 500	38,7	399	399	0,0381	—	1	2	1
7	GE (USA)	Twin Brach South Bend In.	1925	40 000	1 800	26,4	385	385	0,0346	198	1	1	1
8	GE (USA)	Columbia	1925	45 000	1 800	38,7	385	385	0,0316	—	1	2	1
9	Ljingström	Leghorn, Italy	1926	14 000	3 000	23,25	450	—	0,0346	—	—	1	—
10	Stork	Utrecht	1926	20 000	3 000	32,0	400	—	0,04	80	1	4	2
11	GE (USA)	Stanton	1928	47 000	1 800	42,2	385	385	0,0346	160	1	1	1
12	GE (USA)	Powertomn Ill.	1927	55 000	1 800	42,2	385	385	0,0346	178	1	2	1
13	BBC	Issy-les-Moulineaux . .	1929	11 200	1 500	34,0	425	—	0,0346	170	—	—	—
14	BTH	Delray (Detroit) . . .	1929	10 000	3 600	25,7	538	—	0,0346	150	1	2	1

*1 Сводка Гибба. *2 Часть высок. давления. *3 Часть средн. давления. *4 720 об/м.—часть низк. давления.

турбогенераторостроения: 1) повышение начальных параметров пара, в особенности его $t°$; 2) повышение мощности агрегата при возможно высоком синхронном числе оборотов; 3) отказ от более дорогих многовальных конструкций во всех случаях, где практически выполнимая мощность генератора допускает применение одновального агрегата. Пределом мощности такого агрегата на сегодняшний день является 160 000 kW; наибольшая мощность, осуществленная в многовальной машине,—208 000 kW (№ 14 в табл. 3c).

Турбогенераторостроение в СССР. В дореволюционной России производства Т. фактически не существовало, так как выпуск последних исчислялся единицами при ничтожных мощностях; турбинных же генераторов не строили вообще. (Во время войны 1914—18 гг. делались попытки наладить производство турбинных генераторов на з-де Вольта в Ревеле; они были прекращены после эвакуации з-да; выпущено было только 3 машины.) Первые советские генераторы появились лишь в 1924 г.: з-дом «Электросила» в Ленинграде их было выпущено 7 шт. общей мощностью 10 250 kW. В 1932 г. з-д «Электросила» дает уже свыше полутора миллионов kW генераторов, причем мощность отдельных единиц возрастает до 50 000 kW. В данное время (1933г.) мы имеем два работающих турбостроительных завода (ЛМЗ и «Красный Путиловец») и один генераторный («Электросила»), выпускающих свою продукцию по согласованным чертежам; соединение частей агрегата производится обычно непосредственно на месте установки. Известное число генераторов з-д «Электросила» доставляет и для импортируемых турбин. Кроме того заканчивается оборудованием турбогенераторный з-д в г. Харькове, к-рый будет выпускать уже комплектные агрегаты крупных мощностей (50 000 kW и выше) по типу GEC. Первые два агрегата по 50 000 kW з-д дает в конце текущего года. Продукция этих з-дов должна полностью обеспечить потребность страны в машинах стандартных типов. В связи с острой необходимостью типизации оборудования теплосиловых установок еще 25/VII 1929 г. был утвержден всесоюзный стандарт на Т. (ОСТ 570). К настоящему времени он сильно устарел, т. к. предусматривает лишь конденсационные Т. с предельной мощностью 24 000 kW и начальными параметрами пара не выше $p_1 = 35$ atm абс. и $t_1 = 400°$. В связи с этим Энергоцентром разработан проект нового стандарта на паровые Т. трехфазного тока 50 пер/ск., на данный момент еще официально не утвержденный, но уже положенный в основу программ турбостроительных заводов и принятый к руководству проектирующими организациями. Основные данные этого проекта приведены в табл. 4. По этому проекту все Т. до 6 000 kW включительно выполняют бесподвального типа (фиг. 5);

Табл. 4.—Номинальные мощности генераторов и турбогенераторов и основные данные их номинального режима.

$N^н$ генератора, kW	cos φ	$N_э^{эк}$, kW	$\frac{N_э^{эк}}{N_э^н}$	$n^н$, об/м.	p_1, atm абс.	t_1, °C	Линейные напряжения статора, V				Тип турбины
940	0,8	750	0,8	5000/1000	20	350	400	525	3 150	6 300	Бесподвальная
1 875	0,8	1 500	0,8	5000/1000	20	350	400	525	3 150	6 300	
3 125	0,8	2 500	0,8	5000/1000	20	350	—	525	3 150	6 300	
5 000	0,8	4 000	0,8	5000/1000	29	400	—	—	3 150	6 300	
7 500	0,8	6 000	0,8	3 000	29	400	—	—	3 150	6 300	
15 000	0,8	12 000	0,8	3 000	29	400	6 300	10 500	—	—	Нормальная
31 000	0,8	25 000	0,8	3 000	29	400	6 300	10 500	—	—	
58 900	0,85	50 000	0,8	3 000	29(55)	400(450)	—	10 500	—	—	
55 560	0,9	50 000	0,8	1 500	29(55)	400(450)	—	10 500	—	—	
111 111	0,9	100 000	0,8	1 500	29(55)	450	—	—	15 000	—	
222 222	0,9	200 000	0,8	1 500	55	450	—	—	—	(22 000)	

Т. до 4 000 kW—с зубчатой передачей между турбиной и генератором, осуществляющей 1 000 об/м. генератора при 5 000 об/м. турбины. Проект предусматривает как чисто конденсационные Т., так и Т. с отбором пара (кроме мощностей 750, 100 000 и 200 000 kW). Т. с противодавлением временно в стандарт не вводятся. Для генератора 200 000 kW намечено напряжение 22 000 V, но точное значение его будет установлено позднее. Т. на 50 000 и 100 000 kW будут строиться как для средних, так и для повышенных начальных параметров пара.

Лит.: Л о с е в С., Паровые турбогенераторы, 3 изд., М., 1932; Типизация паровых турбин и тепловой схемы больших электростанций, ч. 1, Чисто конденсационные электростанции, под ред. А. Горянова, М., 1933; Б е р г е р А., Турбогенераторостроение в САСШ и в СССР, М.—Л., 1932; Нормы испытания паротурбинных установок, М., 1930; Правила эксплоатации турбогенераторов, вып. 3, М., 1930; Правила запроса и представления предложений, смет, проектов и пр., Типовой договор на поставку турбогенераторов, Технические условия на выполнение турбогенераторов, М., 1930; Л а ш е О. и К и з е р В., Материалы и конструкции в турбо- и динамостроении, пер. с нем., Л., 1928; Л и в ш и ц Б., Типизация основного теплосилового оборудования, «Электрические станции», М., 1932, *4*; К р а с н о п о л ь с к и й В., Современные стоимости основного энергетического оборудования, «Тепло и сила», М., 1928, *1*; Б е р м а н Л., О пуске турбогенераторов, там же, Москва, 1930, *11*; G r a n t L., The Steam Turbo-Alternator, London, 1921.

С. Лосев.

ТУРБУЛЕНТНОЕ ДВИЖЕНИЕ*, движение жидкости, характеризуемое наличием переноса ее частиц в направлениях, поперечных к основному (осредненному) потоку, определяемому руслом. Следя по Лагранжу за и н д и в и д у а л ь н ы м д в и ж е н и е м жидкого элемента, убедимся, что он двигается по сложной траектории, переходя из одного слоя в другой. Определяя по Эйлеру скорость приходящих в данное место частиц, заметим, что составляющие скорости в рассматриваемом пункте потока колеблются около нек-рого среднего значения, измеряемого прибором. Поперечные движения частиц имеют следствием усиленное перемешивание струй в Т. д., а вместе с тем и перемешивание нагретых слоев с холодными, окрашенных или загрязненных (заиленных, несущих угольную пыль и т. д.) слоев с чистыми и другие явления. В этом практич. преимущество Т. д. перед ламинарным, где перенос субстанции происходит только в порядке м о л е к у л я р н о г о обмена, ничтожного по сравнению с м о л я р н ы м, турбулентным обменом. При малых Рейнольдсовых числах ламинарное движение устойчиво и не переходит в турбулентное; создаваемые возмущения потока гаснут, и движение быстро принимает вновь ламинарный характер. Наоборот, при $Re > Re_{крит.}$ ламинарное движение становится неустойчивым и при наличии возмущения переходит в турбулентное. При улучшении условий входа в трубу и качества стенок удается сохранять ламинарное движение до очень высоких Re, но при этом получается очень неустойчивый поток. В аэродинамич. трубах и с к у с с т в е н н а я турбулентность создается спрямляющей решеткой, с планок к-рой срываются «дорожки» вихрей.

О. Рейнольдс дал основные ур-ия Т. д., положив в основу их расчленение д е й с т в и т е л ь н о й (актуальной) скорости на с р е д н ю ю во времени и пространстве и п у л ь с а ц и о н н у ю около средней. Если обозначить проекцию скорости на i-ю ось координат через v_i, то $v_i = \bar{v}_i + \bar{v}_i'$; здесь черта наверху обозначает осреднение скорости. Осредняя левую и правую части ур-ий Навье-Стокса, составленных для несжимаемой вязкой жидкости, Рейнольдс получил следующие ур-ия осредненного Т. д. жидкости:

$$\left.\begin{aligned} \varrho\left[\frac{\partial \bar{v}_i}{\partial t} + \sum_{k=1}^{3}\frac{\partial}{\partial x_k}(\bar{v}_i\bar{v}_k)\right] = \\ = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \mu\nabla^2\bar{v}_i + \sum_{k=1}^{3}\frac{\partial \tau_{ik}}{\partial x_k} \\ \sum_{k=1}^{3}\frac{\partial \bar{v}_k}{\partial x_k} = 0 \end{aligned}\right\}, \qquad (1)$$

где величины $\tau_{ik} = -\varrho\,\overline{v_i'v_k'}$ играют роль компонентов т е н з о р а (симметричного) т у р б у л е н т н ы х н а п р я ж е н и й, отражающего молярный обмен количеств движения, переносимого частицами жидкости. Для интегрирования уравнений Рейнольдса необходимы дополнительные законы зависимости величин τ_{ik} от элементов среднего движения. Таким дополнительным предположением является в настоящее время идея «пути смешения» (Mischungsweg по Прандтлю). Предполагается, что частица, выйдя из слоя, имеющего нек-рую среднюю скорость, пробирается сквозь смежные слои, все более и более теряя свою индивидуальную скорость, пока наконец не придет в слой, где окончательно смешается с окружающей жидкостью. Если обозначить через l расстояние от слоя, из к-рого частица вышла, до слоя, в к-ром закончилось выравнивание скорости, и через U среднюю скорость второго слоя, то потерянная частицей скорость будет равна $l\frac{dU}{dy}$ (слои предполагаются прямолинейными и параллельными между собою, ось y-ов направлена поперек слоев). Прандтль считает возможным заменить постепенное выравнивание скорости единовременным ее изменением и полагает пульсационные составляющие скорости по оси x-ов и y-ов (в этом плоском случае движения) пропорциональными разности средней скорости слоя и скорости пришедшей сюда частицы. На этом основании касательное турбулентное напряжение (сила трения между слоями, отнесенная к единице площади) будет равно (по Прандтлю)

$$\tau = \varrho l^2\left|\frac{dU}{dy}\right|\frac{dU}{dy}. \qquad (2)$$

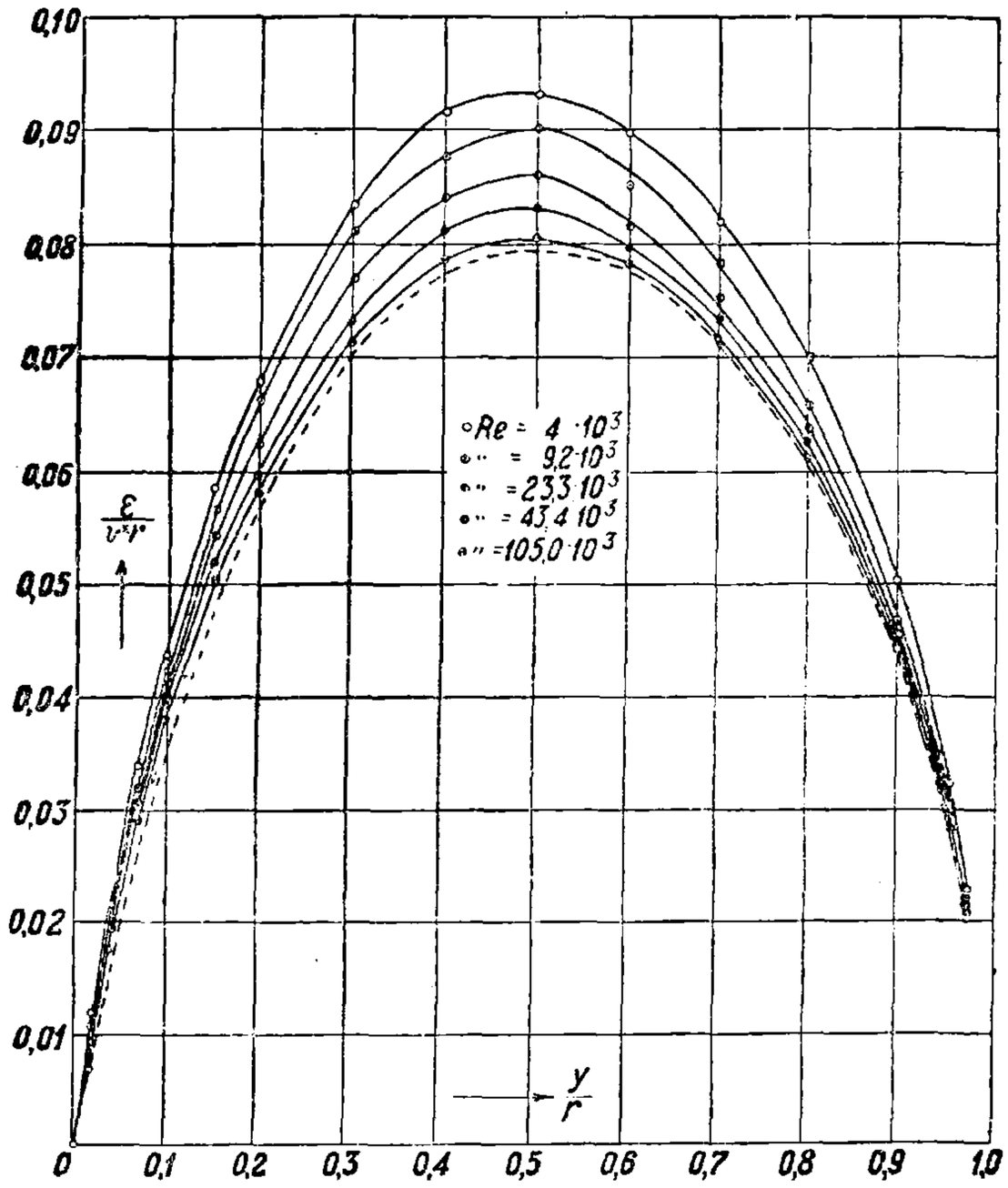
Здесь в величину l включен коэф. пропорциональности (2), а абсолютное значение $\left|\frac{dU}{dy}\right|$ выделено для правильности знака τ. Ф-лу Прандтля можно сравнить с ф-лой Бусинека, являющейся аналогом обычного закона вязкости, $\tau = A\frac{dU}{dy}$, тогда коэфициент A, называемый коэфициентом обмена (Austauschgrösse), будет по Прандтлю равен

$$A = \varrho l^2\left|\frac{dU}{dy}\right|. \qquad (3)$$

В отличие от коэф-та молекулярной вязкости μ коэф. турбулентного обмена A зависит от структуры потока и в разных местах одного и того же потока, а также и при разных Рейнольдсовых числах $|Re|$ имеет разное значение. На фиг. 1 показаны кривые Никурадзе для изменения коэф-та обмена в круглой трубе в зависимости от расстояния до стенки. На оси ординат отложена величина $\frac{\varepsilon}{v^*r}$, где $\varepsilon = \frac{A}{\varrho}$ (кинематич. коэф.

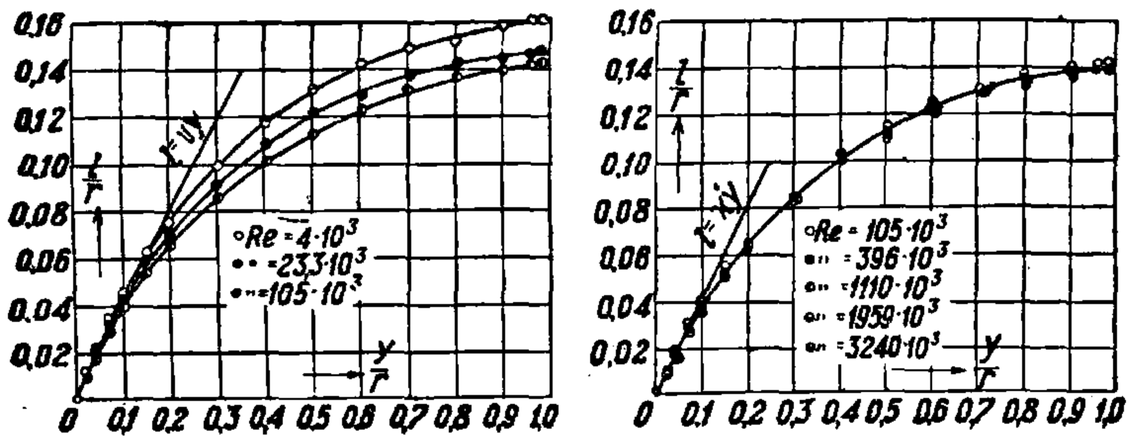
* В ст. Турбулентное движение рассматриваются исключительно вопросы, связанные с приложением теории турбулентности к техническим задачам.

турбулентного обмена), $v^* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\varrho}}$ и r — радиус трубы, причем под τ_0 подразумевается трение на стенке, легко определяемое экспериментально



Фиг. 1.

через перепад давлений. На оси абсцисс отложено отношение расстояния до стенки к радиусу трубы. Величина A принимает максимальное значение приблизительно на четверти диаметра от стенки; значение коэф-та A на оси трубы не поддается экспериментальному определению. На фиг. 2 приведены экспериментальные кривые Никурадзе для пути смешения l при раз-



Фиг. 2.

ных Рейнольдсовых числах. Угловой коэф. $\varkappa$ на стенке имеет значение ок. 0,4. Распределение скоростей в Т. д. резко отличается от параболич. распределения в ламинарном режиме. На фиг. 3 приводим кривые скоростей по Никурадзе при различных Рейнольдсовых числах Re; на оси ординат отложено отношение средней скорости u в данном месте круглой цилиндрич. трубы к максимальной скорости U на оси трубы.

Карман, пренебрегая силами обычной вязкости, из соображений подобия дал закон изменения пути смешения l в зависимости от кинематических характеристик осредненных скоростей потока:

$$l = \varkappa \frac{U'}{U''}, \qquad (4)$$

дающий при теоретич. расчете закон распределения скоростей, хорошо совпадающий с фиг. 3 повсюду, кроме областей, где имеют значение силы вязкости (около стенки). Из теории Кармана может быть выведен закон изменения коэфициента сопротивления λ в известной ф-ле сопротивления:

$$\frac{\Delta p}{l} = \lambda \frac{\varrho U_m^2}{2d}. \qquad (5)$$

Как известно, при ламинарном режиме в круглой трубе

$$\lambda = 64\, Re^{-1}. \qquad (6)$$

Для Т. д. при $Re < 10^5$ пользуются экспериментальной ф-лой Блазиуса:

$$\lambda = 0{,}3164\, Re^{-0{,}25}, \qquad (7)$$

а при $Re > 10^5$ также экспериментальной ф-лой Якоб-Эрка:

$$\lambda = 0{,}00714 + 0{,}6104\, Re^{-0{,}35}. \qquad (8)$$

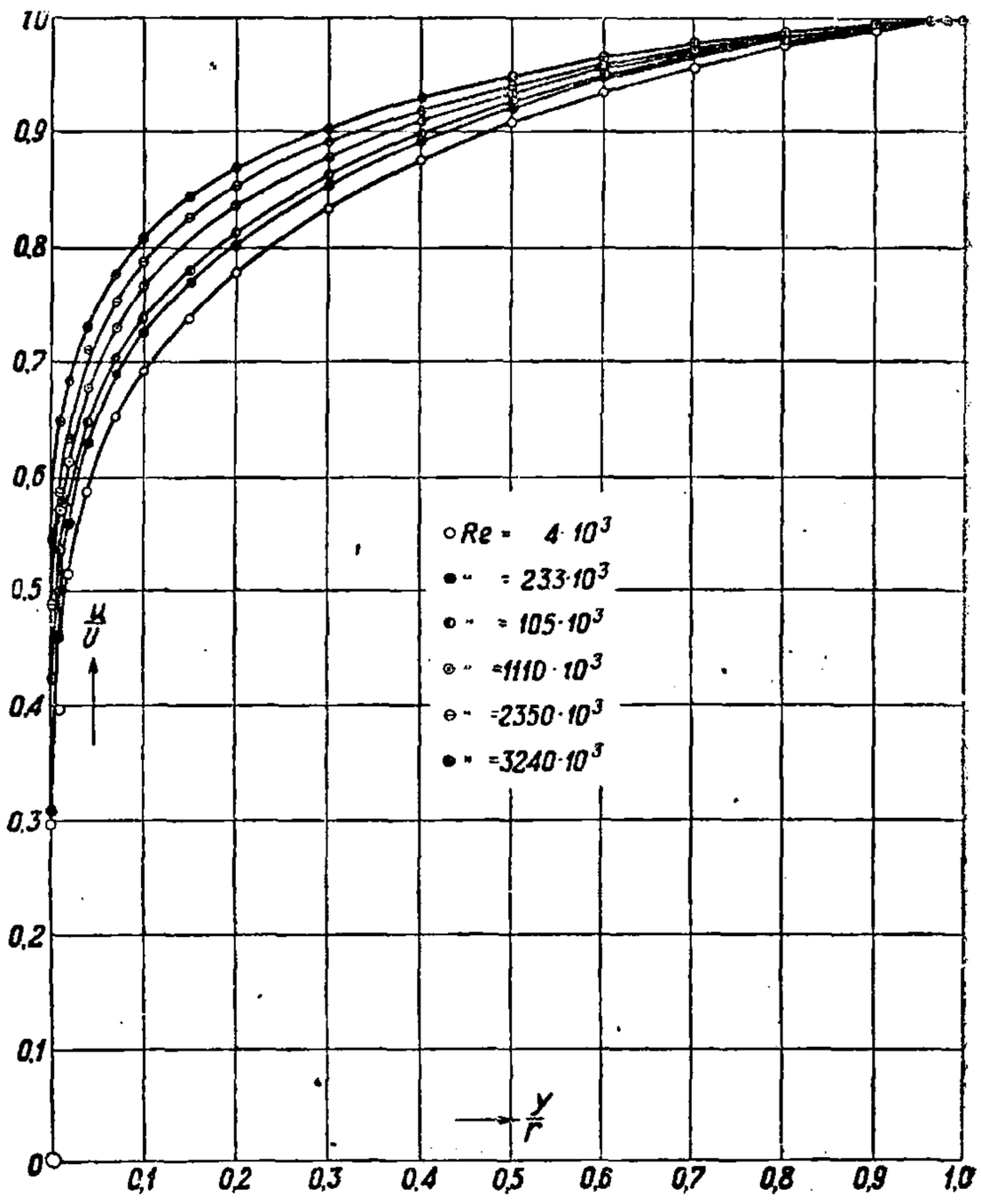
Теория Кармана для гладкой трубы при Re, доходящих до $3{,}4 \cdot 10^6$, дает следующую ф-лу:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2{,}0 \lg (Re \sqrt{\lambda}) - 0{,}8. \qquad (9)$$

Никурадзе взамен ф-л Блазиуса и Якоб-Эрка дает новую ф-лу сопротивления:

$$\lambda = 0{,}0032 + 0{,}221\, Re^{-0{,}237}, \qquad (10)$$

к-рая совпадает с опытной кривой (фиг. 4) до значений $Re = 3\,240 \cdot 10^3$ и которая по мнению Никурадзе м. б. экстраполирована до $Re = 10^8$.

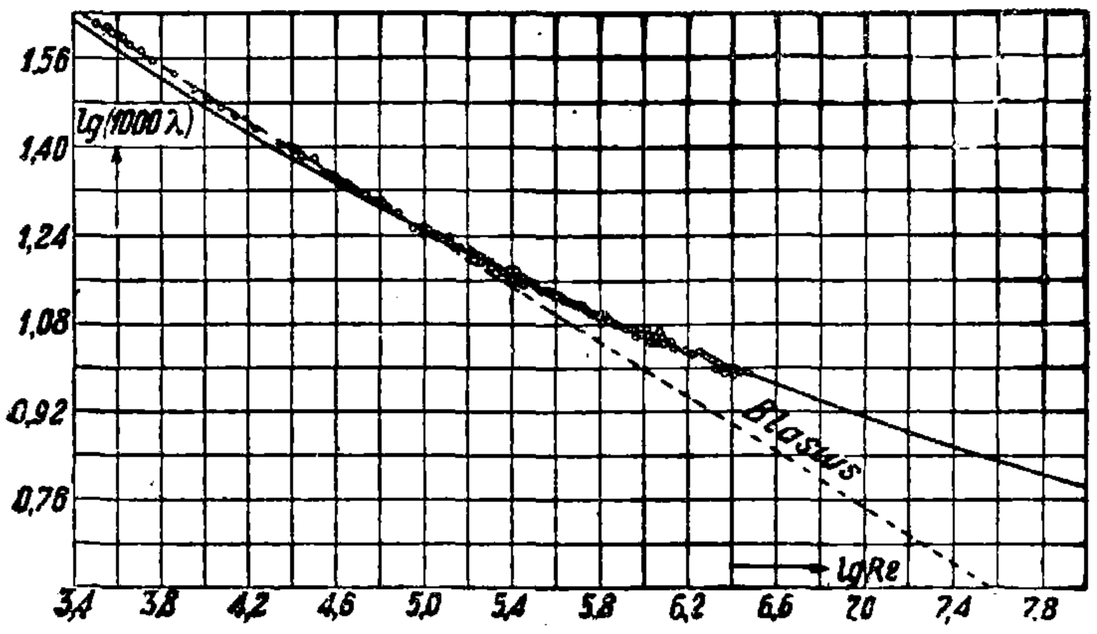


Фиг. 3.

Шероховатость стенок значительно отражается на законе сопротивления при турбулентном режиме. Опыты Никурадзе показали, что: 1) при ламинарном режиме шероховатость не имеет значения; 2) чем больше относительная шероховатость $\frac{k}{r}$ (отношение средней высоты k бугорков или выступов к радиусу трубы r), тем скорее происходит переход к квадратичному закону сопротивления; 3) закон Блазиуса справедлив в тем меньшем интервале, чем больше относительная шероховатость; при $\frac{k}{r} > 0{,}02$ закон Блазиуса не применим; 4) коэфициент сопротивления λ при больших

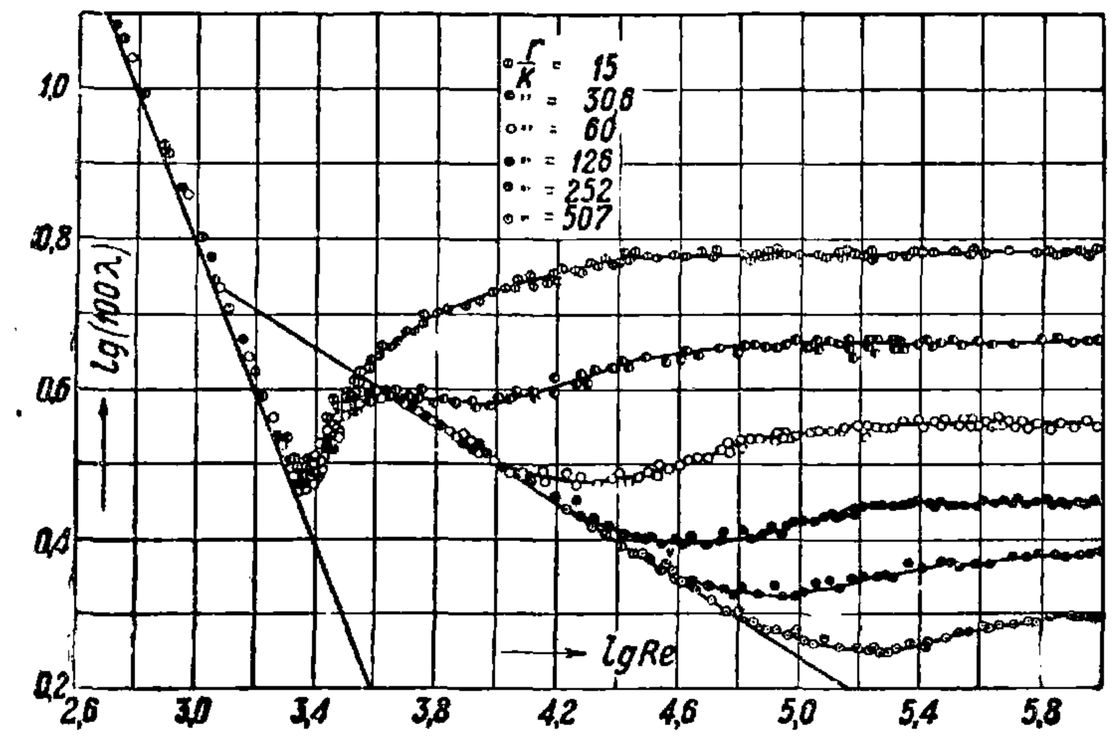
Рейнольдсовых числах (квадратичный закон) существенно зависит от относительной шероховатости. Все эти положения отчетливо видны на кривых Никурадзе (фиг. 5).

В учении о Т. д. жидкости большое внимание уделяется исследованию процессов теплооб-



Фиг. 4.

мена. Процессы перераспределения механич. и тепловой энергии представляют собой различные стороны одних и тех же по существу явлений. Как установлено выше, следует различать две формы перераспределения энергии в потоке жидкости. Первая из них всецело обусловлена процессами молекулярной природы. Интенсивность молекулярного движения зависит только от термодинамического состояния среды. Поэтому величины, характеризующие те физич. свойства среды, к-рыми определяется интенсивность молекулярного обмена, м. б. ф-иями одних только термодинамич. параметров (давления, $t°$). В противоположность этому вторая форма переноса—молярный обмен—зависит от состояния движения жидкости. Поэтому величины, с помощью к-рых определяют-



Фиг. 5.

ся свойства потока, специфичные для молярного обмена, д. б. ф-иями параметров, характеризующих гидродинамич. обстановку процесса. Молекулярный обмен проявляется в процессах внутреннего трения (перераспределение механич. энергии) и теплопроводности (перераспределение тепловой энергии) и количественно определяется ур-иями:

$$\left.\begin{aligned}\tau &= \mu \frac{dU}{dy}\\ q &= k \frac{d\vartheta}{dy}\end{aligned}\right\}, \qquad (11)$$

где дополнительно к ранее введенным приняты обозначения: q—уд. количество теплоты (количество теплоты, проходящей в единицу времени сквозь единицу площади в направлении оси y-ов), k—коэф. теплопроводности и ϑ—температура. Из (11) следует:

$$\frac{q}{\tau} = \frac{k}{\mu} \cdot \frac{\vartheta'}{U'}. \qquad (12)$$

Удельная сила трения, характеризующая интенсивность молярного переноса механич. энергии, определяется через коэф. турбулентного обмена в виде

$$\tau = A \frac{dU}{dy}. \qquad (13)$$

Носителями тепловой и механич. энергии являются одни и те же элементы жидкости. Поэтому удельное количество теплоты м. б. представлено в виде

$$q = B \frac{d\vartheta}{dy}. \qquad (14)$$

Коэф-ты турбулентного обмена A и B отличаются только тем, что в состав второго входит не масса единицы объема ϱ, а ее теплоемкость $C = c_p\gamma$ (где c_p—теплоемкость при постоянном давлении и γ—уд. в. жидкости). Т. о.

$$\frac{q}{\tau} = \frac{c_p\gamma}{\varrho} \frac{\vartheta'}{U'}. \qquad (15)$$

Из сопоставления ур-ий (12) и (15) следует, что соотношение между величинами q и τ в условиях молекулярного обмена зависит от одних физич. свойств среды, а в условиях молярного—от других. Только в том частном случае, когда удовлетворяется соотношение

$$\frac{k}{\mu} = \frac{c_p\gamma}{\varrho}; \qquad (16)$$

оба ур-ия определяют отношение $\frac{q}{\tau}$ тождественным образом. Это означает, что в рассматриваемом специальном случае переход от молекулярной формы обмена к молярной сопровождается одинаковым изменением интенсивности процессов переноса тепловой и механич. энергии.

Весьма важные выводы получаются при исследовании этого вопроса методами *теории подобия* (см.). Ур-ие (16) м. б. переписано в виде:

$$\frac{\mu}{\varrho} = \frac{k}{c_p\nu} \qquad (17)$$

или

$$\nu = a, \qquad (18)$$

откуда следует:

$$\frac{\nu}{a} = 1.$$

Но отношение $\frac{\nu}{a}$ есть критерий Pr (Прандтль). Следовательно условие (16) эквивалентно требованию

$$Pr = 1. \qquad (19)$$

Если принять во внимание, что критерий Pr представляет собой отношение критерия Pe к критерию Re, то ур-ие (19) сведется к условию:

$$Re = Pe. \qquad (20)$$

Равенство между собой двух этих критериев, из к-рых один является определяющим для процесса движения жидкости, а другой—для распространения тепла в ней, свидетельствует о глубокой аналогии между тепловыми и гидродинамич. условиями процесса. Действительно, как это Прандтль установил еще в 1910 г., при выполнении условия (16) в основных ур-иях движения и распространения тепла обнаруживается весьма далеко идущее сходство. Более подробное сравнительное исследование обоих ур-ий приводит к заключению, что в этих условиях $t°$-ные и скоростные поля потоков жидкости д. б. между собой подобны. Требование $Pr = 1$ с достаточным приближением удовлетворяется для газов и вовсе не удовлетворяется для капельных жидкостей. Поэтому соотноше-

ния между величинами, характеризующими тепловые и гидродинамич. условия процесса, отличаются особой простотой в случае потока газов. Так, для движения газа по трубе можно установить связь между коэф-том теплоотдачи α и коэф-том сопротивления λ из следующих простых соображений (по Шиллеру и Бурбаху). Для коэф-та теплоотдачи имеем:

$$\alpha(\overline{\vartheta}-\vartheta_0)=k\left(\frac{d\vartheta}{dy}\right)_0 \qquad (21)$$

или

$$\frac{\alpha}{k}=\frac{1}{\vartheta-\vartheta_0}\left(\frac{d\vartheta}{dy}\right)_0, \qquad (22)$$

где индексом «0» отмечены значения величины непосредственно у стенки, а чертой наверху—соответствующие средние значения (изменением физич. констант с $t°$ для простоты пренебрегаем, хотя такое упрощение не является необходимым для выполнения вывода). Соответственно для коэф-та сопротивления имеем:

$$\lambda\frac{\varrho U_m^2}{8}=\mu\left(\frac{dU}{dy}\right)_0 \qquad (23)$$

или

$$\frac{\lambda}{\mu}\frac{\varrho U_m}{8}=\frac{1}{U_m}\left(\frac{dU}{dy}\right)_0. \qquad (24)$$

Но вследствие подобия $t°$-ного и скоростного полей д. б.:

$$\frac{1}{\vartheta-\vartheta_0}\left(\frac{d\vartheta}{dy}\right)_0=\frac{1}{U_m}\left(\frac{dU}{dy}\right)_0. \qquad (25)$$

Следовательно:

$$\frac{\alpha}{k}=\frac{\lambda}{\mu}\frac{\varrho U_m}{8} \qquad (26)$$

или

$$\alpha=\frac{\lambda}{8}\frac{k\varrho U_m}{\mu}. \qquad (27)$$

Приводя это выражение к форме ур-ия связи между критериями, получаем:

$$\frac{\alpha d}{k}=\frac{\lambda}{8}\frac{U_m d}{\nu} \qquad (28)$$

или

$$Nu=\frac{\lambda}{8}Re. \qquad (29)$$

В свою очередь λ есть ф-ия Re. Если для определения вида этой ф-ии принять закон Блазиуса, то ур-ие (29) приведется к зависимости:

$$Nu=0{,}0395\,Re^{0,75}, \qquad (30)$$

к-рая весьма удовлетворительно согласуется с данными опыта. Применительно к капельным жидкостям этот вывод теряет силу, т. к. неправильным является основное положение о подобии полей скорости и $t°$. При соответствующей переработке (Шиллер-Бурбах) все представления значительно усложняются, теряют отчетливость, и самый вывод делается менее строгим. Поэтому при рассмотрении теплообмена в капельных жидкостях целесообразнее следовать системе рассуждения, предложенной впервые в 1910 году Прандтлем и независимо от него в 1916 году Тейлором. Сущность этой системы заключается в расчленении процесса теплообмена между жидкостью и стенкой на два составных явления—молярный перенос тепловой энергии в турбулентном ядре течения и теплопроводность в граничном слое—и определении удельного потока тепла для каждого из них. Сопоставление обоих выражений приводит к следующему ур-ию для коэф-та теплоотдачи:

$$\alpha=\frac{\lambda}{8}\gamma c_p U_m\frac{1}{1+\frac{U_1}{U_m}(Pr-1)} \qquad (31)$$

или

$$Nu=\frac{\lambda}{8}Pe\frac{1}{1+\frac{U_1}{U_m}(Pr-1)}, \qquad (32)$$

где U_1—скорость на поверхности раздела турбулентного ядра и граничного слоя. Практич. ценность этого ур-ия снижается тем, что оно содержит трудно определимое отношение $\frac{U_1}{U_m}$. Наиболее целесообразный метод определения этой величины основан на идеях Прандтля-Кармана о связи между законами распределения скорости по сечению и законами сопротивления. Если в основу рассуждения положить закон Блазиуса, то ур-ие (32) приводится к виду:

$$Nu=0{,}0395\,Pr\frac{Re^{0,75}}{1+1{,}75\,Re^{-0,125}(Pr-1)}. \qquad (33)$$

Пока еще нет достаточного экспериментального материала для заключения о степени точности ур-ия (33). В частном случае $Pr=1$ оно непосредственно приводится к виду (30). При весьма больших Pr (очень вязкая, мало теплопроводная жидкость) правая часть ур-ия стремится к выражению $0{,}0274\,Re^{0,875}$. Т. о. для реальных жидкостей ($1<Pr<\infty$) показатель при Re должен лежать в пределах 0,750—0,875. Следует отметить, что все предыдущие рассуждения основаны на предпосылках, что наличие теплообмена не отзывается на законах гидродинамич. сопротивления. Нек-рые исследования новейшего времени возбуждают известные сомнения в законности такого допущения.

Примеры расчета сопротивления и теплопередачи при больших значениях критерия Рейнольдса. 1. Вода течет по гладкой (латунной цельнотянутой) трубе диаметром $d=10$ *см* со средней по сечению скоростью $U_m=10$ *м/сек*, $t°$ воды 33° С. Определить гидравлич. сопротивление прямого участка трубы длиной $l=2{,}5$ *м*, предполагая движение стабилизированным.

Основной расчетной ф-лой является:

$$\Delta p=\lambda\frac{l}{d}\cdot\frac{\varrho U_m^2}{2},$$

где Δp—искомый перепад, ϱ—плотность жидкости, а λ—коэф. сопротивления, для определения к-рого воспользуемся ур-ием Никурадзе:

$$\lambda=0{,}0032+0{,}221\,Re^{-0,237}.$$

Прежде всего определяем $Re=\frac{U_m d}{\nu}$. По таблицам для заданной температуры воды находим $\nu=0{,}76\cdot10^{-6}$ *м²/сек*, так что

$$Re=\frac{10\cdot0{,}1}{0{,}76\cdot10^{-6}}=1{,}32\cdot10^6.$$

Отсюда по ур-ию Никурадзе находим

$$\lambda=0{,}011.$$

Подставляя это значение в ф-лу для перепада давления, находим:

$$\Delta p=0{,}011\cdot\frac{2{,}5}{0{,}1}\cdot\frac{101{,}4\cdot10^2}{2}=$$
$$=1\,390\ кг/м^2\cong0{,}14\ кг/см^2.$$

Следует отметить весьма значительную величину перепада давления (свыше 0,1 *atm*), обусловленную тем, что рассматривается движение воды при очень больших скоростях. В случае шероховатой трубы перепад давления весьма заметно возрос бы. Напр., как это видно из кривых Никурадзе (фиг. 5), при $\frac{k}{r}=0{,}016$ в тех же условиях $\lambda=0{,}0355$, т. е. сопротивление оказалось бы примерно в $3^1/_2$ раза бо́льшим.

2. Определить коэф. теплоотдачи от потока дымовых газов средней $t = 440$ °С стенкам дымогарной трубки с диаметром $d = 5$ *см*. Скорость движения $U_m = 250$ *м/сек* (котел типа Велокс); $t°$ стенки трубы $t_1 = 200°$. Основной расчетной ф-лой является

$$Nu = \frac{\lambda}{8} Re.$$

При определении физич. констант с достаточной для технич. расчетов степенью точности возможно принять следующее упрощающее допущение: 1) физич. константы дымовых газов равны значениям соответствующих констант воздуха; 2) все значения относятся к средней темп-ре

$$t_m = \frac{t + t_1}{2} = 330°.$$

В этих предположениях находим

$$\varrho = 0{,}06 \frac{кг \cdot сек^2}{м^3}, \quad \mu = 2{,}96 \cdot 10^{-6} \frac{кг \cdot сек}{м^2},$$

$$k = 0{,}038 \text{ Cal/}м \text{ ч. °C}.$$

Вычисляем

$$Re = \frac{0{,}06 \cdot 250 \cdot 5 \cdot 10^{-2}}{2{,}96 \cdot 10^{-6}} = 127 \cdot 10^3.$$

Соответственно по ф-ле Никурадзе находим

$$\lambda = 0{,}017.$$

Подставляя эти значения в основную ф-лу, получаем

$$Nu = \frac{0{,}017}{8} 127 \cdot 10^3 = 270,$$

откуда

$$a = \frac{k}{d} Nu = \frac{0{,}038}{0{,}05} \cdot 270 = 206 \frac{\text{Cal}}{м^2 \text{ ч. °C}}.$$

И здесь надлежит отметить необычайно значительную интенсивность теплообмена, обусловленную чрезвычайно высокой скоростью движения газов.

Лит.: Александров В., Техническая гидродинамика, М.—Л., 1932; Лейбензон Л., Руководство по нефтепромысловой механике, ч. 1, Гидравлика, М., 1931; Лойцянский Л., Основы механики вязкой жидкости, вып. 2, Л., 1933; Гухман А., Физические основы теплопередачи, Теория подобия и ее приложения, т. 1, Л. (печат.); Лойцянский Л., Турбулентное движение жидкости и внутренняя задача, «Известия ГНИГИ», Л., 1933, вып. 9; Hopf L., Zähe Flüssigkeiten, Handbuch d. Physik, Mechanik d. Flüssigkeiten u. gasförmigen Körper, hrsg. v. H. Geiger u. K. Scheel, B. 7, B., 1927; Tollmien W., Turbulente Strömungen, Handbuch d. Experimentalphysik, hrsg. v. W. Wien u. F. Harms, B. 4, T. 4, Hydro- u. Aerodynamik, Lpz., 1931; Schiller L., Strömung in Rohren, ibid., Lpz., 1931; Prandtl L., Untersuchungen zur ausgebildeten Turbulenz, «Ztschr. f. ang. Math. u. Mech.», B., 1925, B. 5, *9*; Nikuradse J., Gesetzmässigkeiten d. turbulenten Strömung in glatten Rohren, «Forschungsheft», B., 1932, *356*; Prandtl L., Bemerkung über den Wärmeübergang im Rohr, «Physikalische Ztschr.», B., 1928, B. 29, H. 14; Prandtl L., Neuere Ergebnisse d. Turbulenzforschung, «Z. d. VDI», 1933, B. 77, H. 5; Schille H. u. Burbach Th., Wärmeübergang strömender Flüssigkeit in Rohren, «Physikalische Ztschr.», B., 1928, B. 29, H. 11; Sellerio A., Beziehungen zwischen Wärmeübergang u. Reibung, ibid., B., 1928, B. 29, H. 2; Karman Th., Mechanische Ähnlichkeit u. Turbulenz, «Nachr. d. königl. Ges. Wissenschaften», Göttingen, 1930.

А. Гухман и Л. Лойцянский.

ТУРМАЛИН, минерал (химич. ф-ла не установлена), относится к борсодержащим *силикатам* (см.) гексагональной системы (класс дитригональной пирамиды); тв. 7—7,5; уд. в. 3—3,2. Вросшие и наросшие кристаллы Т. достигают значительной величины, являясь вытянутыми по вертикальной оси (тройная ось симметрии). Кроме кристаллов встречается в плотном виде в параллельно- и лучистошестоватых, спутанноволокнистых и зернистых агрегатах. Спайности не обнаруживается. Излом мелкораковистый до неровного. Блеск стеклянный (смоляной на плоскостях излома черного Т.). Прозрачность во всех степенях (до непрозрачного). Т. очень редко бесцветен, обычно же окрашен в самые разнообразные цвета (черный, бурый, голубой, зеленый, красный, розовый). Окраска весьма часто неравномерная, причем наблюдается зонарность окрашенных частей вокруг вертикальной оси или же по направлению ее. Оптически отрицателен. Двойное лучепреломление очень сильное. Плеохроичен в высокой степени до полного поглощения обыкновенных лучей: на этом основано применение Т. в *поляризационных приборах* (см.). Весьма резко выражены пироэлектрич. свойства Т. (см. *Пироэлектричество*). В химическом отношении Т. представляют изоморфные смеси в разнообразных пропорциях многих очень сложных алюмо- (соответственно ферро- и хромо-) боросиликатов. В составе Т. принимают участие: SiO_2, TiO_2, B_2O_3, Al_2O_3, Fe_2O_3, Cr_2O_3, FeO, MgO, CaO, MnO, Na_2O, K_2O, Li_2O, H_2O, F. Перед паяльной трубкой Т., богатые MgO и FeO, плавятся легко, бедные же магнезией и железом (прозрачные и красные Т.) почти совершенно неплавки.

Т. встречаются гл. обр. в гранитах, гнейсах и кристаллич. сланцах, также в сиенитах, диоритах и других породах. Наиболее распространенным из всех разновидностей Т. является черный Т., или шерл, богатый закисью железа и совершенно непрозрачный в толстых кусках. Красный Т. представляет наиболее красивую разновидность и употребляется в качестве драгоценного камня (сибирит, сибирский рубин, рубеллит, малиновый шерл). Т. зеленого цвета встречается под названием бразильского изумруда в Бразилии. Синий Т. (индиголит) вообще редок; б. ч. он бывает густо окрашен и сопровождает Т. других цветов, напр. в россыпях Цейлона и Бразилии (бразильский сапфир). Месторождения Т. известны в Саксонии, Богемии, на о-ве Эльба, Мадагаскаре, в Ю. Калифорнии, Бразилии, на Цейлоне, в СССР—на Урале и в Забайкалье.

Лит.: Лебедев Г., Учебник минералогии, СПБ, 1907; Dammer B. u. Tietze O., Die nutzbaren Mineralien, 2 Aufl., B. 2, Stg., 1928.

И. Мельников.

ТУРНБУЛЕВА СИНЬ (турнбуллова синь), минеральная краска темносинего цвета. Получается путем осаждения солей закиси железа (гл. обр. железного купороса) красной кровяной солью (железосинеродистым калием). В зависимости от избытка той или другой соли получается растворимая или нерастворимая Т. с. Первая образуется при избытке красной *кровяной соли* (см.), вторая—при избытке соли закиси железа. Т. с. рассматривали раньше как закисное железосинеродистое железо $Fe''(Fe'''C_6N_6)_2$. В настоящее время считают, что она представляет по всей вероятности соединение *берлинской лазури* (см.) со свободным железистосинеродистым калием (желтой кровяной солью). Как краску Т. с. применяют редко, т. к. она по цвету и свойствам (напр. по прочности к свету и другим атмосферным влияниям) значительно уступает берлинской лазури. На образовании Т. с. основано копирование чертежей, для получения к-рых пользуются свойством нек-рых солей трехвалентного железа (лимонной, щавелевой) восстанавливаться при действии света в соли двухвалентного железа; поэтому на бумаге, покрытой щавелевожелезной солью, последняя в освещенных местах восстанавлива-

ется до щавелевожелезистой соли, к-рая в растворе красной кровяной соли дает Т. с., а все неосвещенные места остаются белыми.

Лит.: Церр и Рюбенкамп, Руководство по производству минеральных красок, пер. с нем., т. 1, Л., 1932; Woringer P., Eisencyanfarben, в книге Rose, Mineralfarben u. die durch Mineralstoffe erzeugten Färbungen, Lpz., 1916 **П. Черенин.**

ТУССА (также тюсса), шелк диких шелкопрядов—туссоров: японского (Antherea Jamamay), китайского (Antherea Pernyi), индийского (Antherea Onylitta), к-рые кормятся листом дуба различных пород. Обычно же под словом Т. понимается не только шелк трех перечисленных пород, но и других диких шелкопрядов. Размотка шелка Т. производится на местах добычи коконов с прибавлением щелочи в воду таза, в виду сильной заклеенности кокона, и с помощью обычного глазка без автоматич. ловителя и без перевивки (см. *Кокономотание*). Шелк Т. весьма разнообразен как по окраске, так и по другим свойствам. Встречается Т. желтого, коричневого и серого цветов различных оттенков. Нить Т. толще нити культурного шелкопряда; поперечник сечения ее составляет от 50 до 80 *μ* против ~30 *μ* нити культурного шелкопряда. Фибриллярность структуры нити выражена значительно сильнее, чем у культурного шелкопряда. Крепость и удлинение нити при разрыве весьма колеблются (см. *Волокна прядильные*). К положительным качествам Т. следует отнести: 1) прочность нити, 2) возможность широкого использования ее в виду разнообразия свойств, 3) дешевую цену (продукт колониального труда). К недостаткам Т. относятся: 1) пониженный в сравнении с культурным шелком блеск, 2) фибриллярность структуры, 3) устойчивость натуральной окраски, что затрудняет отбелку и крашение нити, 4) неустойчивость прочих свойств.

В СССР Т. не имеет применения, т. к. в пределах Союза пород шелкопрядов, имеющих промышленное значение, нет. Пром-сть капиталистич. стран потребляет значительные количества Т. (статистич. данные отсутствуют). Наибольшее применение Т. имеет в производстве ворсовых мебельных тканей и ковров. В кустарном производстве Китая и Индии Т. идет на выработку полотна (чесуча). Волокно Т. используется также в больших размерах в шелкопрядильном производстве. **В. Линде.**

ТУТОВОЕ ДЕРЕВО, шелковица, деревья или кустарники из рода Morus L. (сем. Moraceae L.). Культура Т. д. достигает весьма крупных размеров, и путем селекции выведено до 400 различных разновидностей Т. д.; оно достигает до 18—21 *м* высоты при ⌀ 0,6—0,9 *м*, продолжительность его жизни 200—300 лет. Это растение однодомное или двудомное, но раздельнополое: мужские и женские соцветия находятся на отдельных ветвях. Плод Т. д.—тутовая ягода—ложный плод, образовавшийся из сросшихся сочных околоцветников, внутри к-рых находится семя, орешек. Семена чрезвычайно мелкие—в 1 *г* их содержится до 300—500 шт. Всхожесть семян 80—90% и выход их из тутовых ягод 0,25—0,5%. Семена сохраняют свою всхожесть до 3 лет и выше. Плодоносить на юге шелковица начинает в 3—4 года, на севере же—с 15—20-летнего возраста. Т. д. размножается семенами, черенками, отводками, корневой поросльюю, принадлежит к разряду светолюбивых пород, малотребовательно к почве и может произрастать даже на бедных песчаных почвах, хорошо отзывается на присутствие в почве извести и достаточное количество перегноя. Тутовник—растение засухоустойчивое, нечувствительное к поздним и ранним заморозкам в весенне-осенний период; по некоторым данным культура ее возможна, где произрастают яблоня и ясень. Растет она в молодости очень быстро, уже двухлетние сеянцы имеют высоту 45—60 *см*, а 3-летние 71—91 *см*; при росте на свободе сильно развивает крону.

Листва Т. д. идет для выкормки шелковичного червя на корм скоту, в народной медицине она является потогонным средством, из желтых листьев извлекается золотисто-желтая краска, опавшие листья растираются в муку и таковая идет на удобрение. Молодые побеги употребляются для корзиноплетения; они же служат для изготовления хороших сортов бумаги, причем с *га* кустовой культуры шелковицы можно получить в среднем от 10 до 15 *т* древесины, пригодной для писчебумажной пром-сти. Луб молодых побегов используется как прекрасный текстильный материал. Кора старых деревьев идет на грубые плетения и из нее извлекают дубильные вещества. Тутовая ягода, богатая сахаром (до 22%), является ценным продуктом для кондитерских изделий и для выгонки спирта (от 5 до 10% от веса ягод), а также для приготовления уксуса, пастил, сиропа. Из размолотых сушеных плодов изготовляется мука, из к-рой пекут хлеб и лепешки. Древесина шелковицы прочная, плотная и хорошо полируется, гибкая, с желто-бурым ядром и с объемным весом 0,69—0,78, служит для всевозможного рода поделок. Кроме того из древесины извлекают красильные и дубильные вещества. Шелковица является прекрасным деревом для живых изгородей, аллейных и парковых деревьев и находит себе применение при закладке лесных защитных полос и при лесомелиоративных работах.

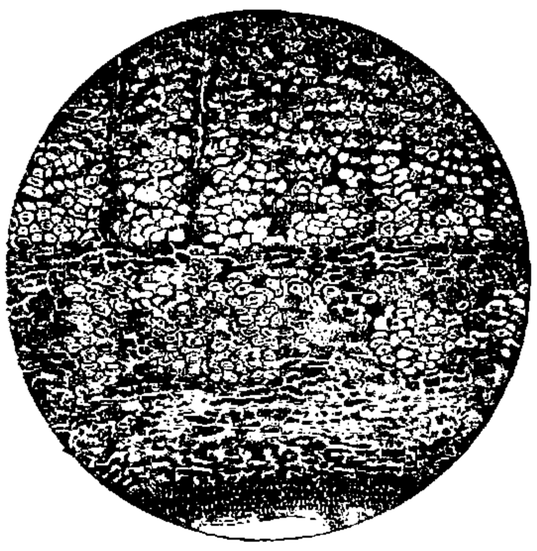
Для выкормки шелковичного червя разводят преимущественно белую шелковицу (Morus alba L.), родом из Китая, и ее разнообразные разновидности, причем ее выращивают или в виде кустарников или в виде полуштамбовых и штамбовых древостоев на особых плантациях, обращая внимание на соответствующее воспитание кроны, благодаря чему получается большое развитие листвы. Посадка производится 1—2-летними сеянцами в ямки или сажальной машиной; после посадки производится уход за почвой в виде рыхления почвы и полки сорной растительности и уход за кроной путем ее подрезки; через 2—5 лет вносится удобрение, т. к. ежегодный сбор листвы сильно истощает почву. Кустиковые плантации дают ежегодно 6—10 *т* листвы с *га*, штамбовые до 15 *т*. В среднем урожайность тутового листа в Японии за 1929 г. составляла 11,33 *т* с *га* (Шпигель и Покровский). Для получения ягод и древесины разводится преимущественно черная шелковица (M. nigra L.), родом из Персии, к-рая хорошо произрастает на юге СССР, и с декоративными целями разводят красную шелковицу (M. rubra L.), произрастающую в Сев. Америке. На культуру шелковицы в условиях социалистич. хозяйства СССР д. б. обращено большое внимание.

Лит.: Шавров Н., Краткое наставление к занятию шелководством, вып. 1, Тутоводство, Тифлис, 1890; Гомилевский В., Тутовое дерево, или шелковица, Одесса, 1894; Самсонов И., Кустарниковая культура шелковицы, М.—Л., 1931; Керн Э., Тутовое дерево (шелковица), Л., 1932 (имеется литература); Шпигель М., Покровский Г., Тутоводство в Японии, М.—Л., 1932; Медведев Я., Деревья и кустарники Кавказа, 3 изд., Тифлис, 1919. **Н. Кобранов.**

Тутовое волокно, шелковичный лен, лубяное волокно, добываемое из ветвей Т. д., используется на целлюлозу и котонин. Из веток Т. д. кроме волокна, идущего на гигроскопич. вату и производство пироксилина, могут быть получены уксусная к-та, азотистые удобрения (из мочильной жидкости) и пектиновые вещества (Росси). Вновь поднятый в СССР по инициативе Закавк. шелк. ин-та (1930 г.) вопрос об использовании тутового волокна находится в стадии научной проработки и во всю широту поставлен лишь постановлением НК РКИ, вынесшего решение о выработке 16 000 *т* тутового котонина.

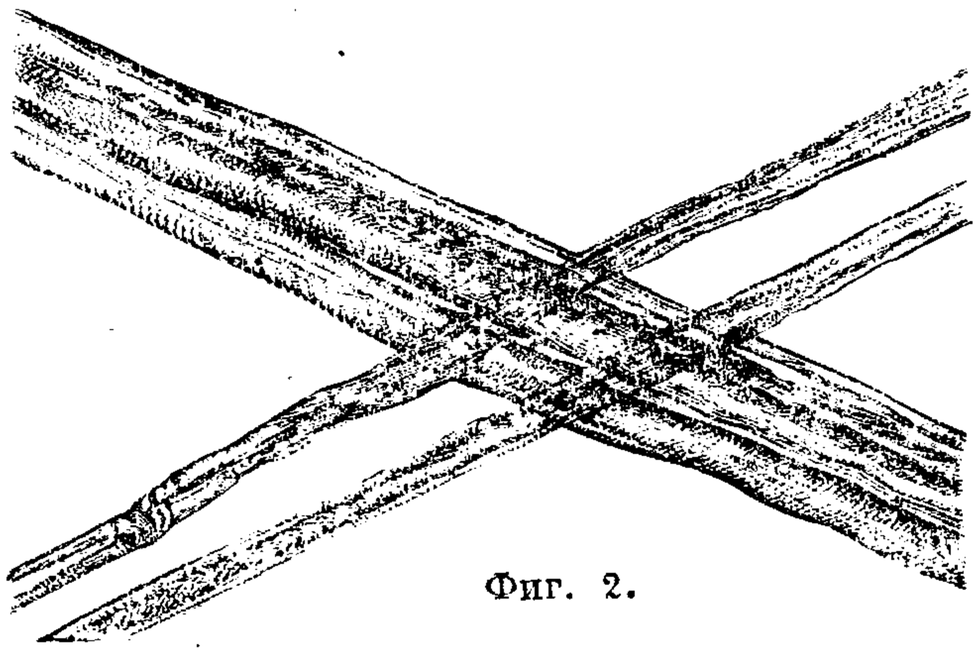
Рассмотрение поперечного среза ветки под микроскопом указывает на два лубяных кольца. Внешнее кольцо состоит из отдельных пучков. Каждый пучок содержит

30—40 волокон. Внутреннее кольцо лубяных волокон разбито на участки сердцевинными лучами (фиг. 1 и 2). Волокна—неодревесневшие. Рыхлое расположение лубяных волокон обусловливает высокую котонизационную способность материала, что не позволяло использовать тутовое волокно для технич. тканей. Отсутствие до последнего времени методов прядения котонина не позволяло использовать тутовое волокно как текстильный материал. Элементарное волокно имеет щелевидный канал, по толщине неровно, концы волокна тупые. Средняя длина волокна равна 32 *мм*, ширина 32 *μ* (Росси). По данным советских ученых (Волькенау, Курцюмова) длина волокна чрезвычайно неустойчива и варьирует в зависимости от вида сырья. В нек-рых случаях штапель волокна приближается к египетскому хлопку (различным сортам), большей же частью тутовое волокно коротковолокнисто. Процент пуха (волокна длиной 0—15 *мм*) 18—70 %. Средняя длина волокна 17—20 *мм*. Максимальная длина 65 *мм*. Крепость волокна 20 *г*. По тонине и крепости тутовое волокно стоит выше льняного и уступает ему лишь по метрич. номеру (номер тутового волокна 4 500).



Фиг. 1.

Наиболее легко обрабатываются ветки Т. д., не имеющие разветвлений, т. е. полученные по т. н. фриульской системе шелководства. Технологич. процесс состоит из следующих операций: 1) отделение



Фиг. 2.

луба от древесины (декортикация), 2) освобождение луба от склеивающих веществ (дегомация). Декортикация сухих стеблей на обычных машинах невозможна. Росси рекомендует запаривание стеблей в течение нескольких минут в кипящей воде или растворе щелочи, после чего декортикация осуществима на обычных трепальных машинах. Разработанный Институтом новых лубяных волокон (Новлубинститут) метод декортикации заключается в плющении стеблей с последующей ручной обдиркой. Выход луба 25—30 %. Выход волокна 7 % от веса стеблей. Последующая мацерация может производиться как биологическим (аэробная мочка Росси с применением Bacillus comesii), так и химико-механическим путем—варка в открытых сосудах (барках) в 1 %-ном растворе NaOH в течение 30 мин. и промывка с последующими отжимами и эмульгацией. Отмывка эпидермиса и межклеточного вещества представляет большие трудности, так как в лубе содержится лишь $^1/_5$ волокна (от веса луба). Отбелка и крашение волокна происходят легко. Как показывают ориентировочные работы, тутовое волокно используется в прядении в смесках (10—30 %) для выработки низких номеров пряжи, до 5—6 номеров по суконному, вигоневому и хл.-бум. прядению, с соответствующим понижением производительности оборудования и качества продукции. При получении из тутового волокна целлюлозы итальянцы рекомендуют после декортикации (с предварительной запаркой) употреблять оборудование бумажных фабрик, где варка и промывка в роллах с последующей сушкой на центрифугах и рыхлением на волчках обеспечивают получение высококачественной целлюлозы. В СССР насчитывают 30 млн. Т. д. (Анучин и Кукин). Считая условно сбор волокна равным 3 % от веса листьев (преуменьшенно) при урожае 20 *кг* листа с дерева, получим общее количество волокна равным 18 тыс. *т*; не считая кустовых посадок, имеющихся в количестве 72 тыс. *га*, урожай листа с 1 *га* равен 10 *т*. Должно отметить, что имеющаяся в настоящее время тенденция перехода шелководных хозяйств на кустовые посадки по-иному поставит вопрос об использовании еще никем не изученного волокна, получаемого с кустов. Дальнейшие опыты переработки луба укажут пути развития тутовой проблемы, являющейся одним из звеньев в общей борьбе за расширение сырьевой базы СССР.

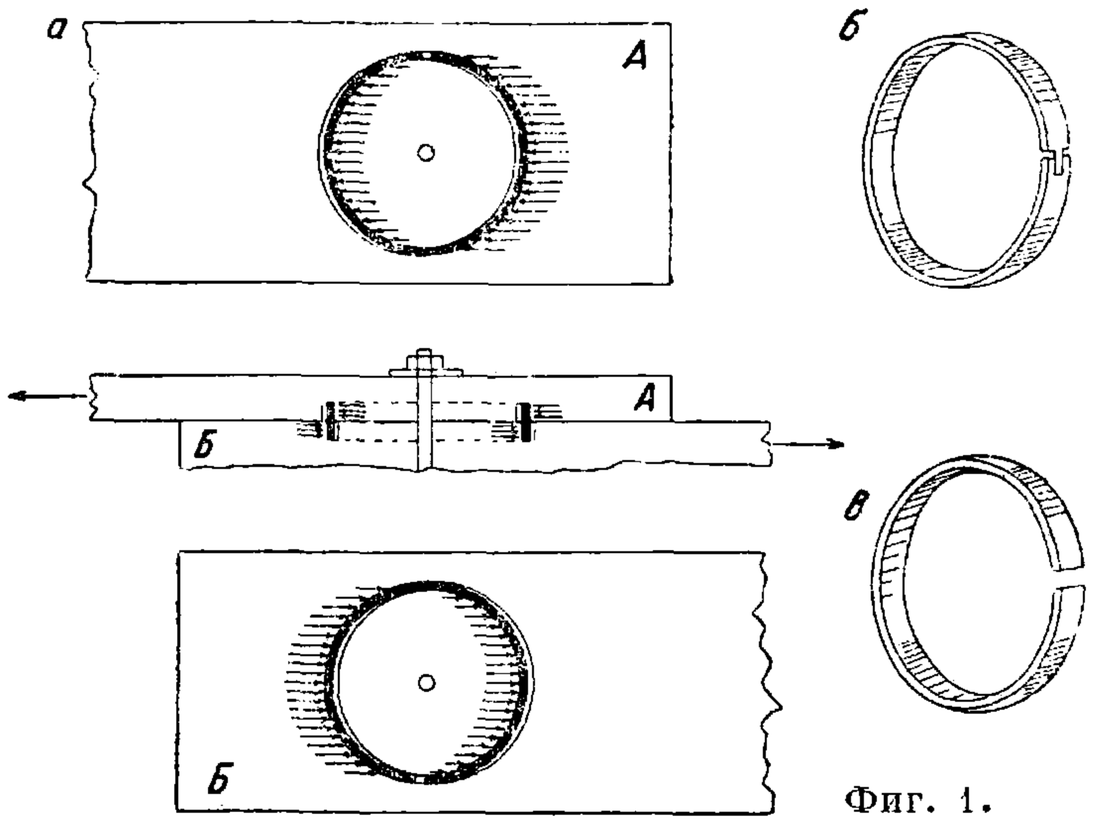
Лит.: Анучин С. А., «ИТПТ», М., 1931, *5*; Ирхен А. К., К вопросу использования тутового волокна, «За новое волокно», М., 1931, *6*; Курдюмова О. П. и Волькенау Н. П., Проблемы тута, как источника нового сырья, «Исследов. по первичной обработке лубяных волокон», М., 1930, *6—9*; Россинский Д. М., К вопросу о шелковичном льне, «Материалы НИТИ», М., 1930; Тимофеевич И., Опыт с котонином из луба тутового дерева, «За новое волокно», М., 1931, 6; Фатьянов И. А., «Народное хозяйство Средней Азии», Ташкент, 1930; Шавров Н., Шелковица, ее разведение и использование ею, 2 изд., СПБ, 1899; Россинский Д. М., Побочные отрасли шелкопромышленности, 1900; Pasqualis Giuseppe, Gelso-lino, «Annuario de R. Instituto Bacologico ed asserwatorio», Serico di Cittorio, 1887; Pasqualis Giuseppe, La verita sull'industria del gelso-lino, ibid., 1888; Piccioli L., Il gelso-lino (nota), «Le stazioni Sperinuntae Agrarie Italiane», Modena, 1906, v. 38, fascicoli *10—11*; Fedele V., Residus treziosi, La Cortecia del gelso, «Il Coltivatore», Anno 53, Casalmonterrato, 1907, *38*; Carbone, La macerazione microbiclogica del gelso, «Nota I progressi, nelle industrie tintorie tessili», Roma, 1918; Rossi G., L'utilizzazione del rami di gelso, Roma, 1918; Pomilio-Catald i, Cenuiillustrativi sulla lavorazione della fibra di gelso, col metodo del cloro, Bolletino, 1922, serie 29, *4*; Rossi G., La macerazione industriale del rami di gelso e con fermenti pectici-aerobici, «Annali della R. Scuola d'Agricultura di Portici», 1920, v. 15; Rossi G., La macerazione del rami di gelso e le industrie che ni Derivano, «Annali R. Inst. Superiore di Portici», 1925, serie 3.

И. Крагельский и О. Курдюмова.

ТУФ, обломочная горная порода, происшедшая: 1) в результате отвердевания выброшенных вулканом при извержении рыхлых масс вулканич. пепла, песка, лапиллей, бомб, уплотняющихся в последующем процессе образования породы и приобретающих весьма часто слоистый характер—вулканические Т., или 2) в результате выпадения осадков из минеральных источников, богатых $CaCO_3$ или SiO_2, образующихся в больших массах и со значительной быстротой — известковый туф и травертин (см. *Известняк*) и кремнистый Т., или гейзерит. Вулканич. Т. не представляет породы какого-либо определенного химич. или минералогич. состава, а изменяется в зависимости от качества лавы и относительного количества различных выбросов. Древние Т. называют в зависимости от породы, от к-рой они произошли, базальтовыми, трахитовыми, порфиритовыми и т.п. Нек-рые из вулканич. Т. обладают ценным в строит. пром-сти качеством гидравлич. добавок; сюда относятся трасс и *пуццолана* (см.).

Лит.: Мушкетов И., Физич. геология, 3 изд., т. 1, Л., 1924; Левинсон-Лессинг Ф., Петрография, Л., 1931; «НИ», т. 3, Л., 1927; Григорьев Н., Строительные материалы, М.—Л., 1927; Ферстер М., Справочная книга для инженеров-строителей, пер. с нем., ч. 2, М.—Л., 1933.

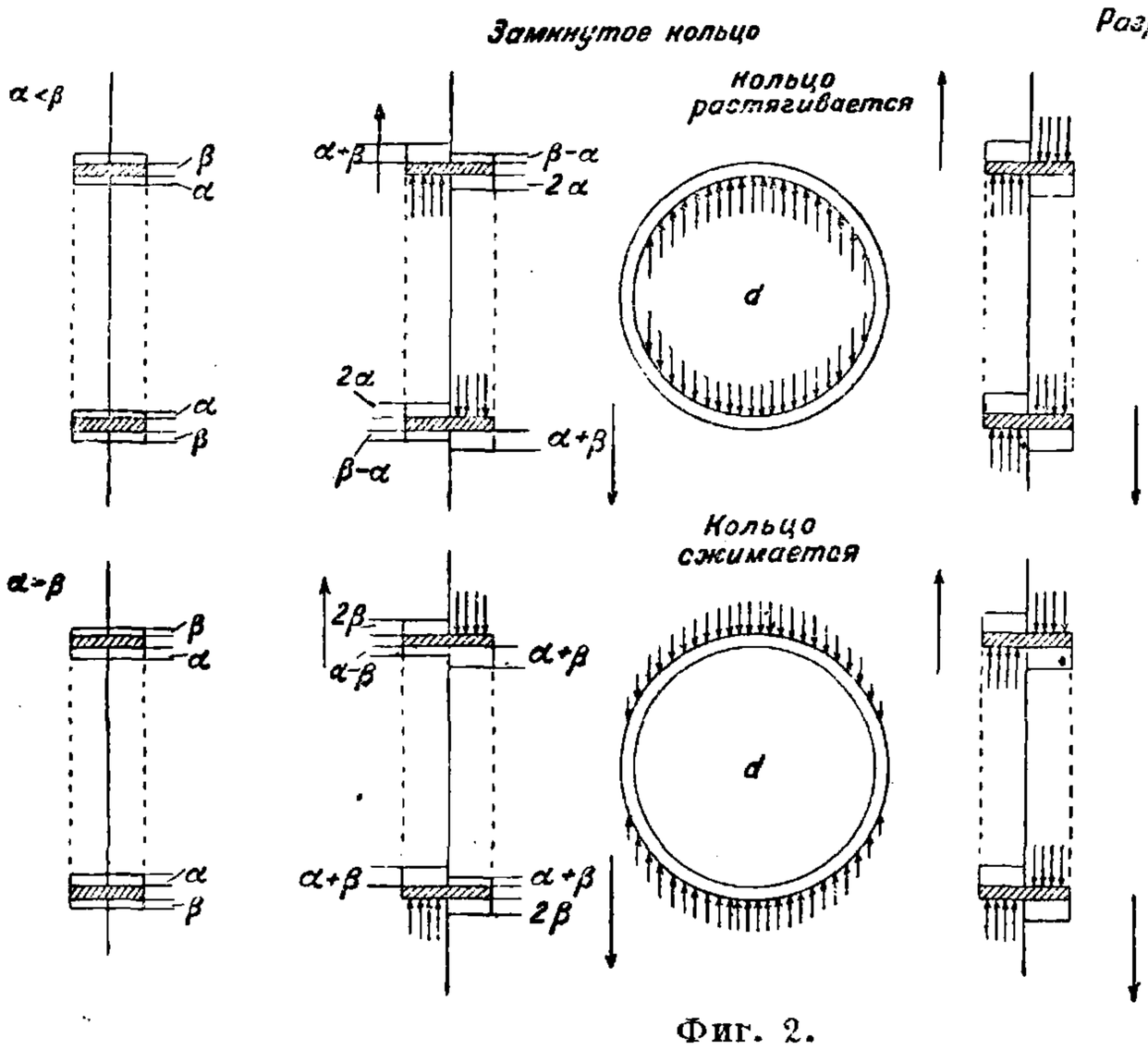
ТУХШЕРЕРА КОЛЬЦО, или кольцевая шпонка, служит для соединения элементов



Фиг. 1.

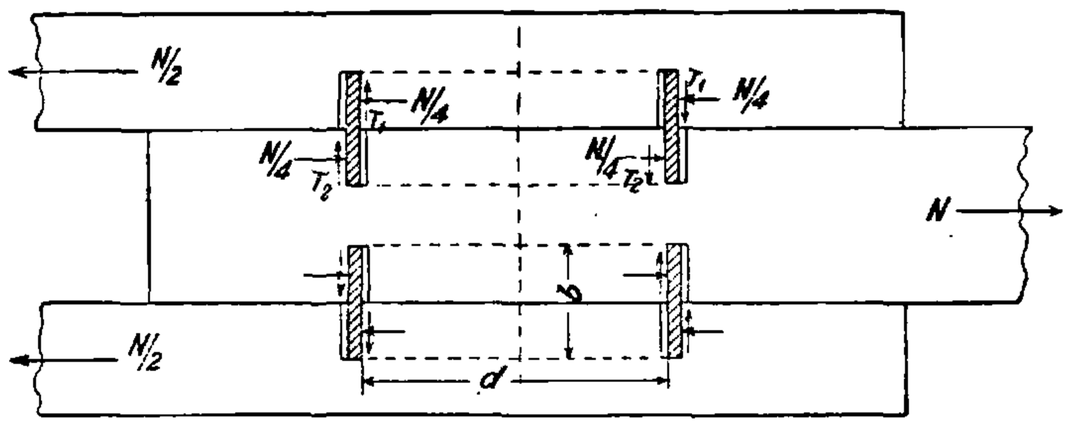
деревянных конструкций. Т. к. выгибается в холодном состоянии из полосового или обруч-

ного железа без соединения концов и закладывается в кольцевые дорожки, предварительно высверленные в соединяемых элементах, стягиваемых болтом (фиг. 1, *а*). Т. к. изобретено герм. инженером Фосс и применяется фирмой Карл Тухшерер (Германия, Олау) (фиг. 1, *б*). В СССР применяется Т. к. с прямым разрезом и без шпунта (фиг. 1, *в*) с 1923 г. Конструкции на Т. к. широко распространены в промышленном и транспортном строительстве СССР.



Фиг. 2.

Характеристика. Т. к. позволяет точно центрировать узловые соединения, воспринимает усилие независимо от знака. Соединения на Т. к. благодаря равномерному распределению сминающих напряжений отличаются большой жесткостью (незначительные деформации под нагрузкой после начального смещения) и почти полным отсутствием пластич. деформаций. Большая жесткость требует большой точности изготовления. Конструкции на Т. к. не дают провисания с течением времени и особенно пригодны для повторных нагрузок. Они отличаются легкостью сборки и разборки и предельно расчлененным процессом изготовления, допускающим широкую механизацию и централизацию производства работ. Сборка

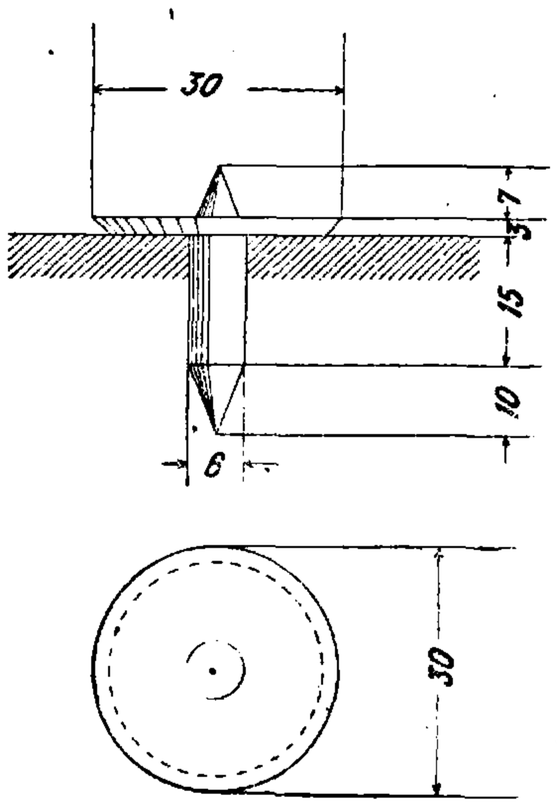


Фиг. 3.

конструкций очень проста и ведется на месте без шаблона как в горизонтальном, так и в вертикальном положении с подвижных лесов. Конструкции на кольца Тухшерера весьма экономичны — коэфициент веса древесины k в среднем для покрытий равен 0,50—0,70 при весе металла 3,5—6%.

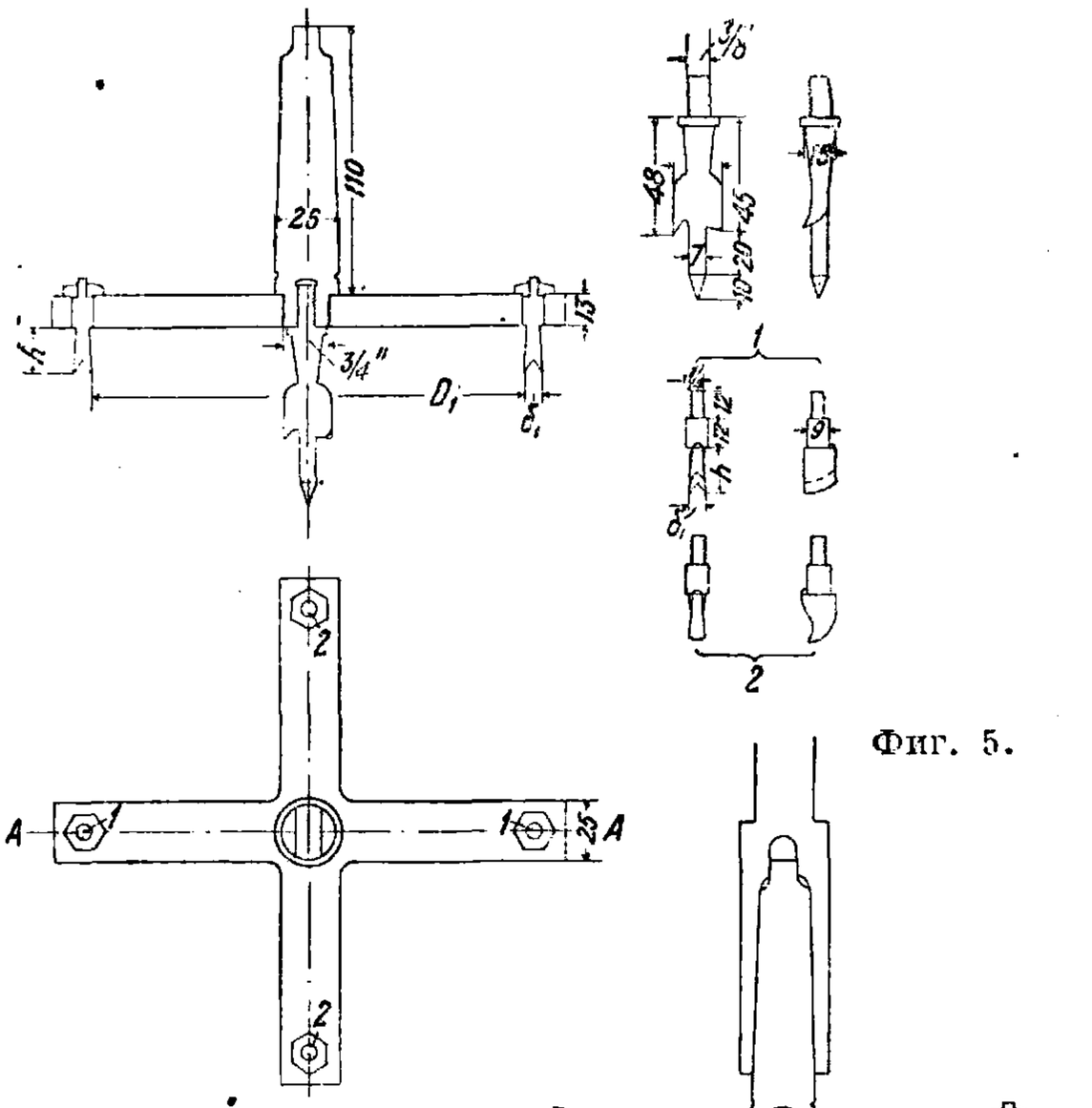
Работа Т. к. под действием усилий. Независимо от знака усилия разрезное кольцо суживается или расширяется в зависимости от величины смещений α и β (включающих прозор между кольцом и стенками и деформацию последних) в отличие от замкнутого кольца, к-рое соответственно сжимается или растягивается (фиг. 2). Разрезное кольцо может передать приблизительно вдвое большее усилие, чем замкнутое кольцо. Полный опрокидывающий момент $2M_1$ слагается из опрокидывающих моментов на каждом полукольце $M_1=\frac{N}{2}\cdot\frac{b}{2}$ (фиг. 3), скручивающих кольцо, и погашается трением на поверхностях смятия. Назначение болта, плотно стягивающего соединяемые элементы, — улучшить работу на скалывание, осложняемое отдиранием вследствие наличия указанных сил трения. Явление отдирания наиболее неблагоприятно сказывается в однорядных растянутых стыках вследствие отгиба концов наружных накладок, почему этот тип соединения не м. б. рекомендован. Типовым соединением растянутых элементов по длине является двухрядный стык, имеющий нормальный запас прочности. Разрушение растянутых соединений на Т. к. может быть двух родов: разрушение от чистого скалывания при большой толщине и от скалывания с разрывом части волокон, или т. н. выкалывания средней части доски, при меньшей толщине (см. вкл. л., 5). Соединение на Т. к. при работе на сжатие имеет повышенный запас прочности вследствие равномерного распределения скалывающих напряжений.

Требования к изготовлению. Большая точность изготовления обеспечивается: 1) разметкой по центровикам (фиг. 4), к-рые укрепляются на шаблоне и отпечатывают центры Т. к. на прижимаемых к ним досках, и 2) высверливанием кольцевых дорожек помощью машинки Фрыгина (фиг. 5), обеспечивающей точный перенос центра с одной стороны доски на другую. Основные недостатки, которые имеют существен. значение для работы кольцевого соединения: 1) неравенство поперечных размеров (внутренний и наружный диам.) дорожек данного диам. и 2) отсутствие прозора в разрезе кольца, заложенного на место. Первый недостаток приводит к передаче усилия на одной половине кольца (фиг. 6). Второй недостаток приводит к тому, что в случае $\alpha<\beta$ кольцо будет работать, как замкнутое (фиг. 2). В обоих случаях несмотря на некоторое выравнивание усилий в результате увеличенных деформаций получается известное снижение запаса прочности. Кольцевые дорожки, высверленные машинками Фрыгина или Черемухина (фиг. 7), свободны от первого недостатка,



Фиг. 4.

т. к. последние снабжены гнездами, обеспечивающими неизменное расстояние между резцами при последовательных перестановках. Второй недостаток—смыкание прозора в кольцах—может произойти при недостаточной величине его вследствие неправильного изготовления



Фиг. 5.

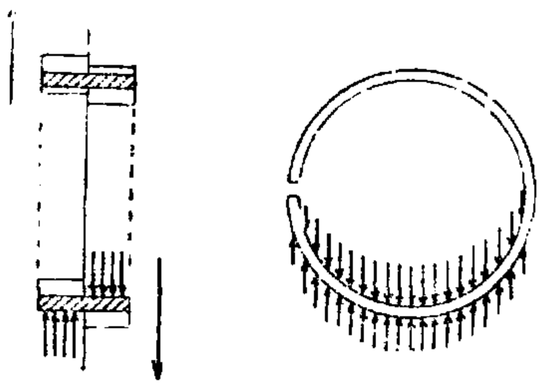
(ошибка в длине полосы) и при усушке древесины. Неправильное расположение разреза в кольце (должен лежать на диаметре ⊥ к направлению усилия) имеет меньшее значение.

Расчетные данные. Допускаемое усилие на Т. к. определяется на смятие по ф-ле

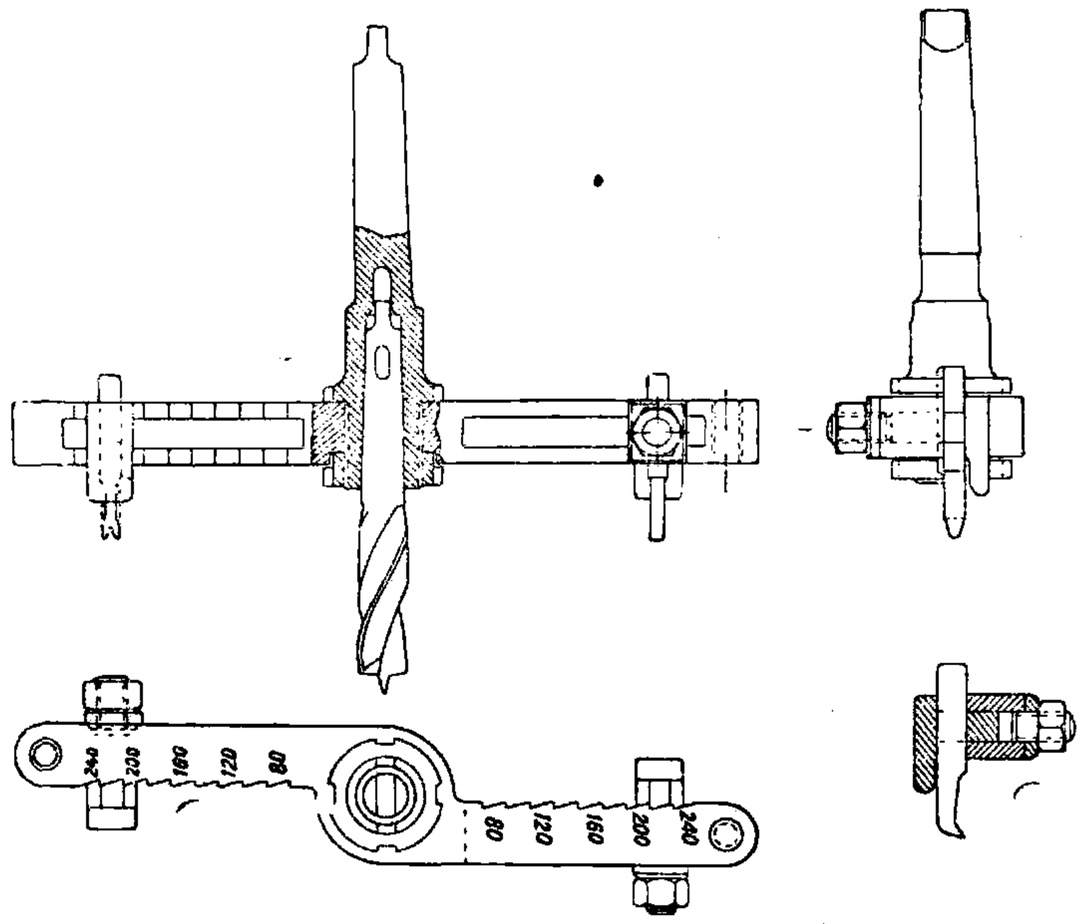
$$T = b d_0 [n_c]_\alpha,$$

где b—ширина кольца, d_0—внутренний диам. кольца, $[n_c]_\alpha$—допускаемое напряжение на смятие, причем для воздушно-сухой сосны $[n_c]_0^\circ = 80$ *кг/см²*, $[n_c]_{90^\circ} = 25$ *кг/см²*, для дуба $[n_c]_0^\circ = 110$ *кг/см²*, $[n_c]_{90^\circ} = 50$ *кг/см²*. На фиг. 8 и в табл. 1 даны усилия, допускаемые на кольцевую шпонку нормального сортамента в зависимости от угла α.

Ширина кольца д. б. $\geqslant 0{,}20\, d_0$ и $\leqslant 2$ *см*. Врезка колец в соединяемые части на различную глубину не разрешается. Все кольца одного диам. должны иметь одинаковую ширину. Разрез кольца делается прямой. Ослабление сечения от одного кольца равно $\frac{b}{2}(d_0 + 2c)$, где c — толщина кольца. В растянутых элементах толщина досок не д. б. менее указанной в таблице 2 величины, чтобы не произошло выкалывания средней части (фиг. 9). Многорядные соединения на Тухшерера кольце работают достаточно равномерно, и при их расчете возможно не снижать допускаемые напряжения. В прикреплении составного элемента усилие, приходящееся на отдельную доску, пропорционально числу врезанных в нее колец (фиг. 10).



Фиг. 6.



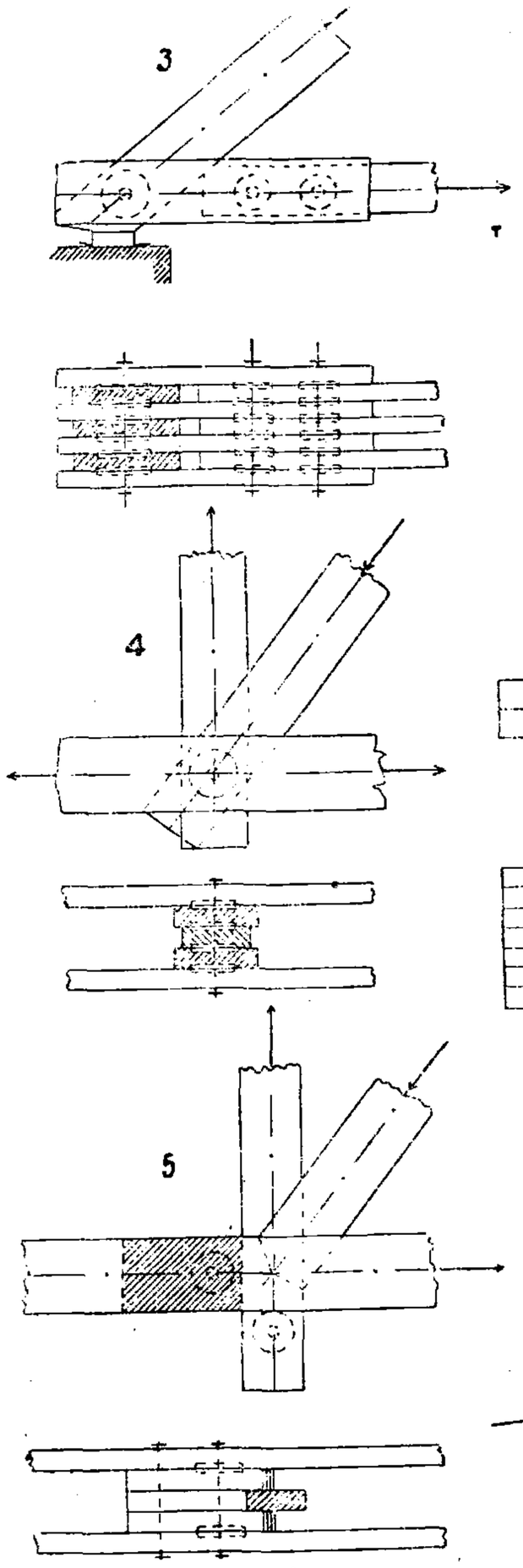
Фиг. 7.

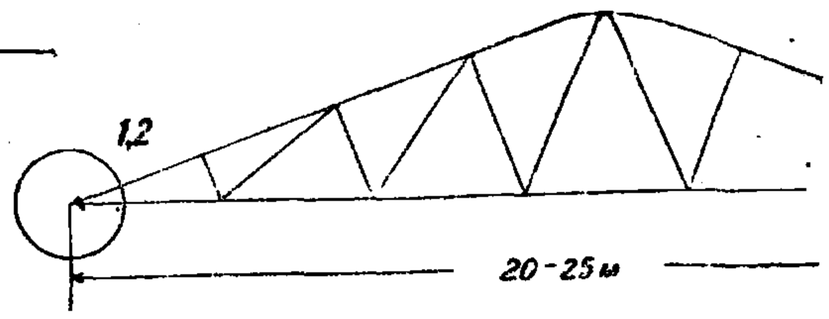
На фиг. 11 показаны конструкция узлов и рациональные схемы ферм на Т. к. В табл. 2 дана наименьшая толщина досок.

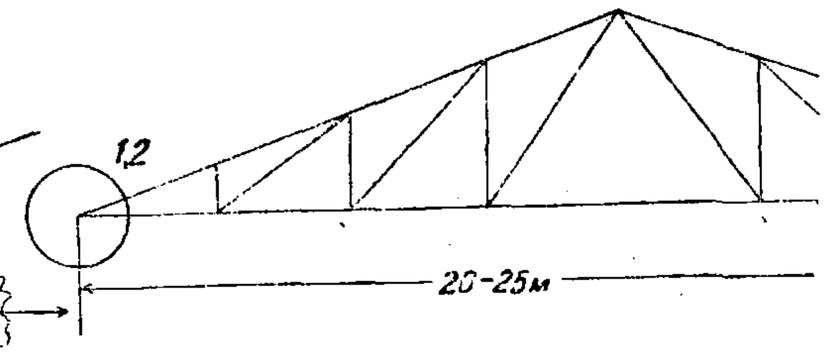
Общая оценка конструкций на Т. к. Конструкции на Т. к. являются чисто дощатыми, применение в к-рых врубок и всякого рода вспомогательных частей в виде подушек и т. п. является крайне нерациональным как с конструктивной, так и с производственной стороны. Введение брусчатых сечений м. б. допущено в особых случаях, напр. для примыкания продольных и поперечных связей при

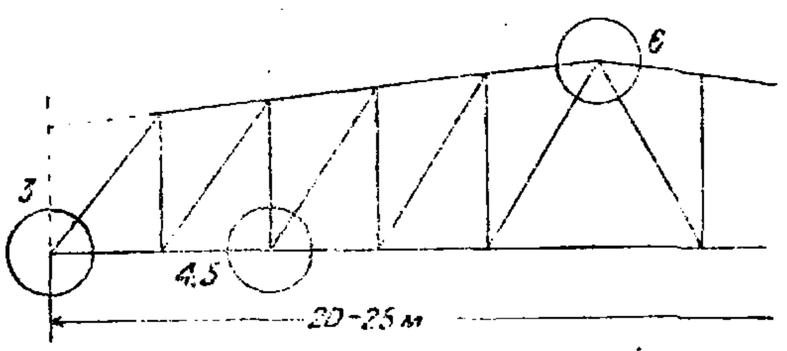
Табл. 1.—Нормальный сортамент кольцевых шпонок.

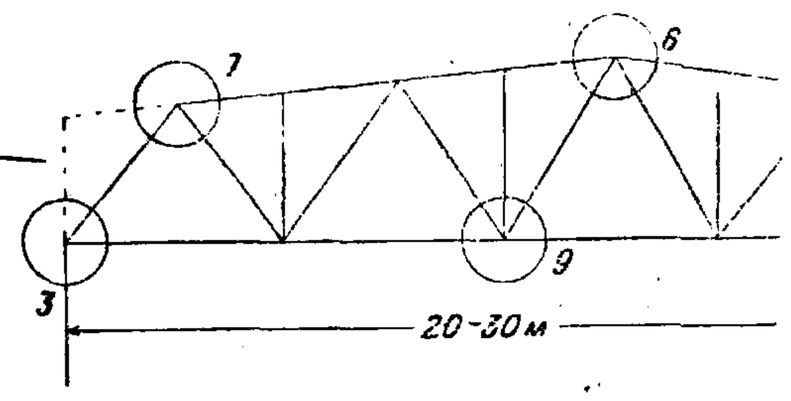
Внутр. диам. d_0, *см*	Ширина b, *см*	Толщина c, *см*	Площадь ослабл. $(d_0+2c)\frac{b}{2}$, *см²*	Площ. смятия, *см²*	Вес кольца, *кг*	Минимальн. диам. болта, *см*	Размеры шайбы, *см*	Наименьший размер доски, *см*		S_1, *см*	S_2, *см*
								b	c		
22	4,5	0,6	52	99	1,47	2,2	8 × 8 × 0,6	26	7	29	35
	4,0	0,5	46	88	1,09	2,2	8 × 8 × 0,6	26	6	29	35
	3,5	0,5	40	77	0,93	1,9	7 × 7 × 0,5	26	6	29	35
20	4,0	0,5	42	80	0,99	1,9	7 × 7 × 0,5	24	6	26	32
	3,5	0,5	37	70	0,87	1,9	7 × 7 × 0,5	24	6	26	32
	3,0	0,4	31	60	0,60	1,9	7 × 7 × 0,5	24	5	26	32
18	3,5	0,5	33	63	0,78	1,6	6 × 6 × 0,4	22	6	23	29
	3,0	0,4	28	54	0,54	1,6	6 × 6 × 0,4	22	5	23	29
	2,5	0,35	23	45	0,39	1,6	6 × 6 × 0,4	22	5	23	29
16	3,0	0,4	25	48	0,48	1,6	6 × 6 × 0,4	20	5	21	26
	2,5	0,35	21	40	0,35	1,6	6 × 6 × 0,4		4,5	21	26
14	2,5	0,35	18	35	0,30	1,2	4,5 × 4,5 × 0,3	18	4	18	22
	2,0	0,3	15	28	0,21	1,2	4,5 × 4,5 × 0,3	18	3,5	18	22
12	2,0	0,3	13	24	0,18	1,2	4,5 × 4,5 × 0,3	15	3,5	16	19
10	2,0	0,3	11	20	0,15	1,2	4,5 × 4,5 × 0,3	13	3,5	13	16

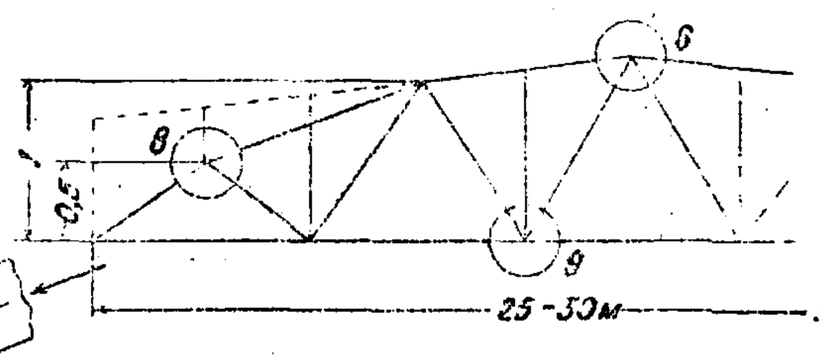

3
1
4
2
5
6
7
8
9
10

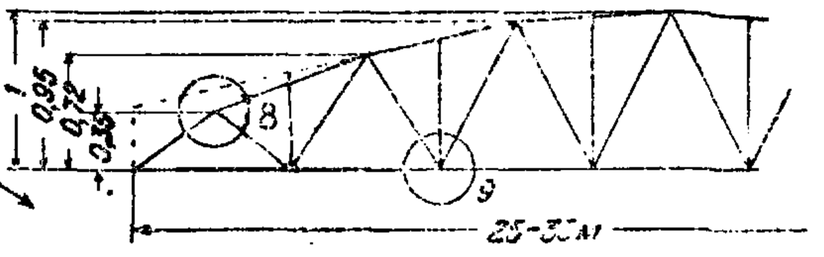

1,2
20-25м

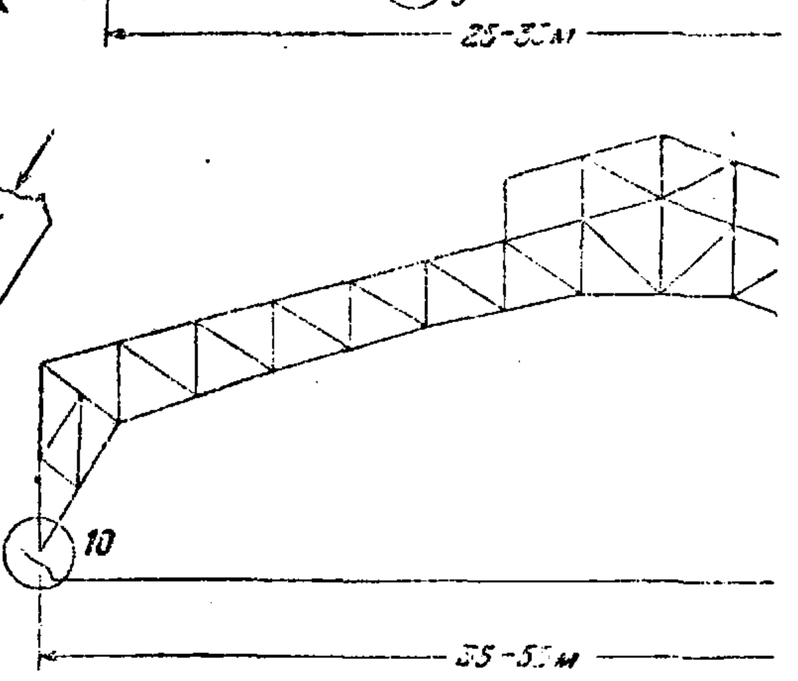

1,2
20-25м


6
3
4,5
20-25м

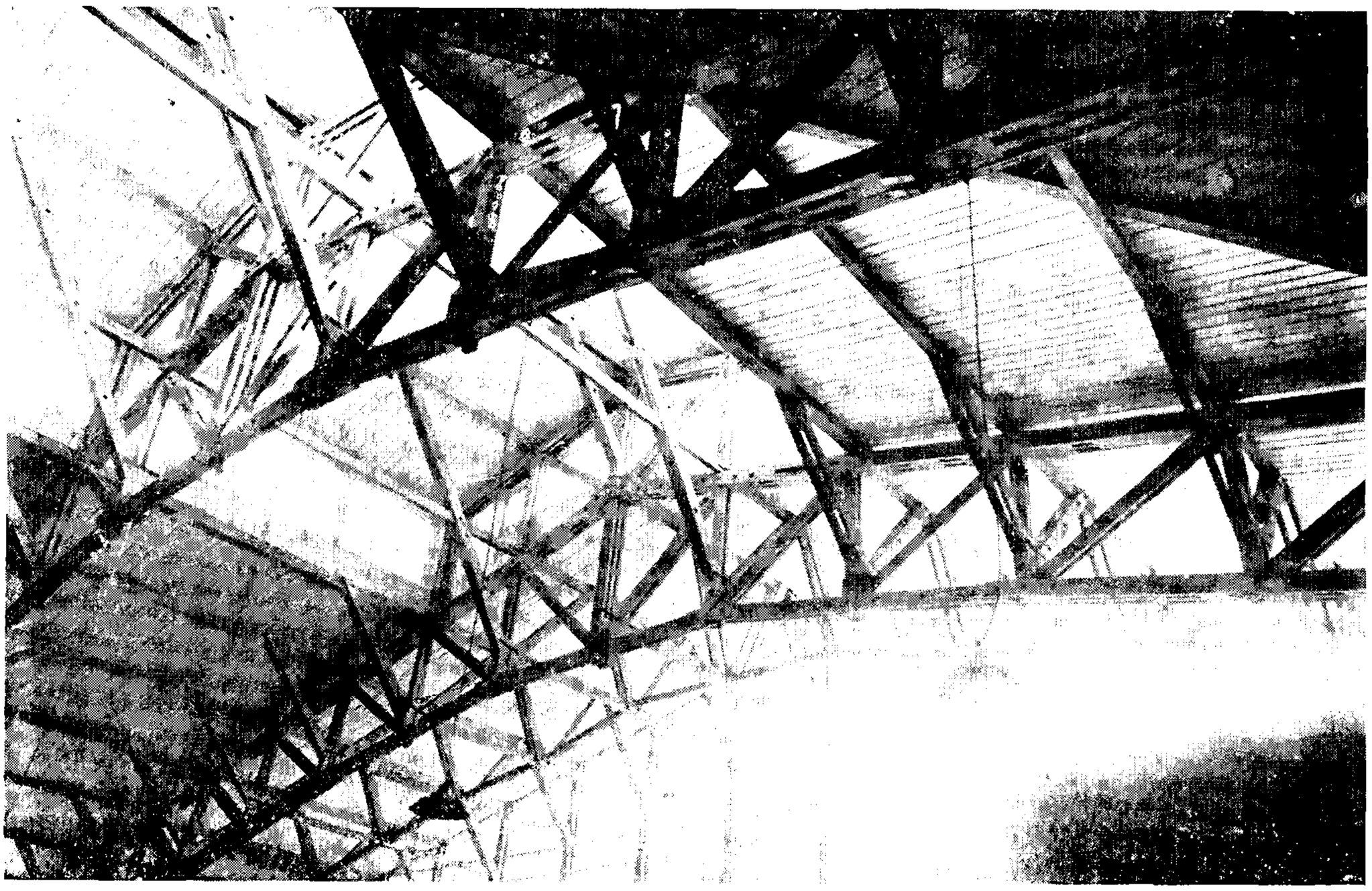

7
6
3
9
20-30м


6
8
0,5
9
25-30м

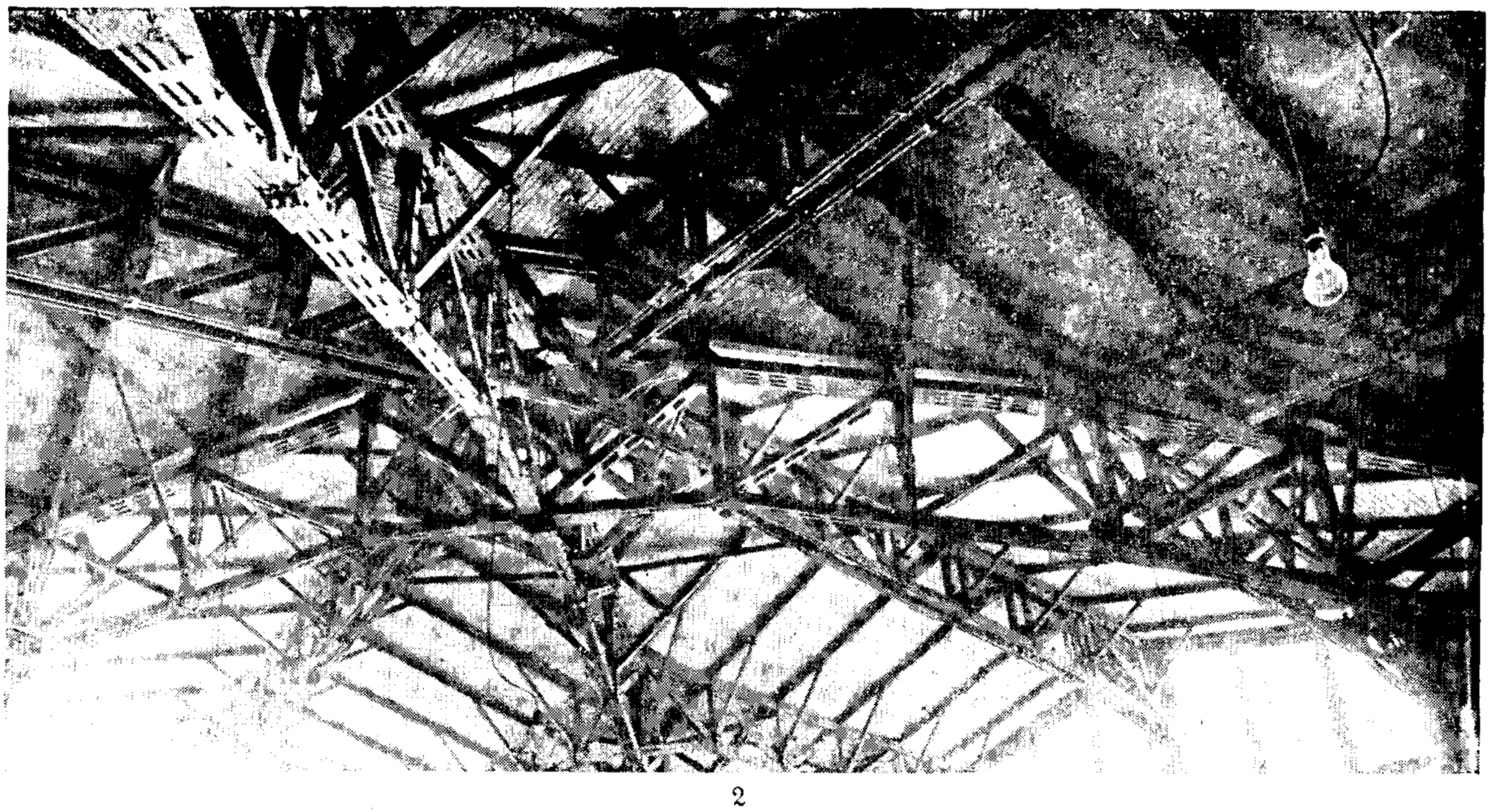

0,95
0,72
0,25
8
9
25-30м


10
55-5

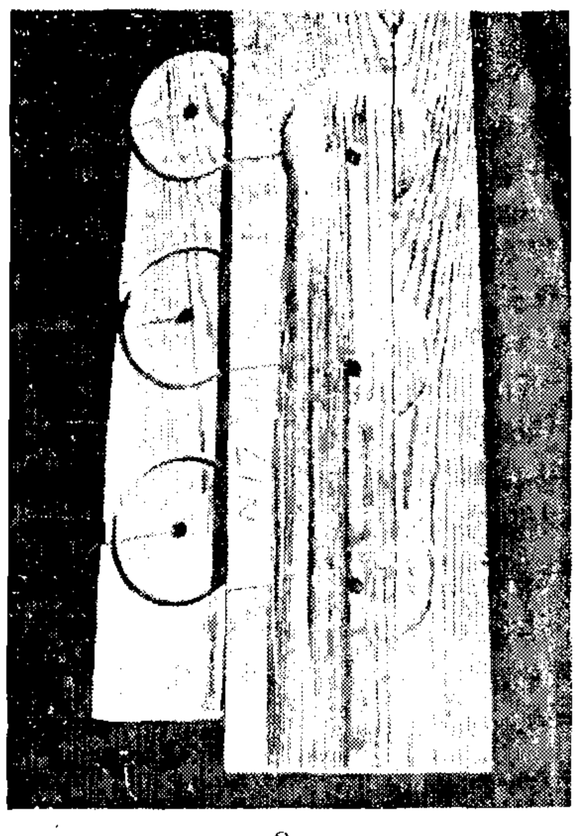
Фиг. 11.



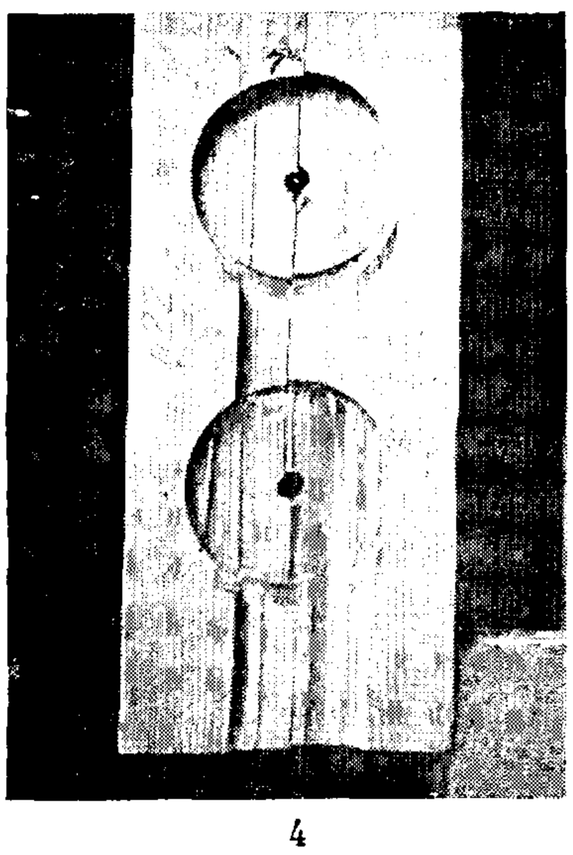
1



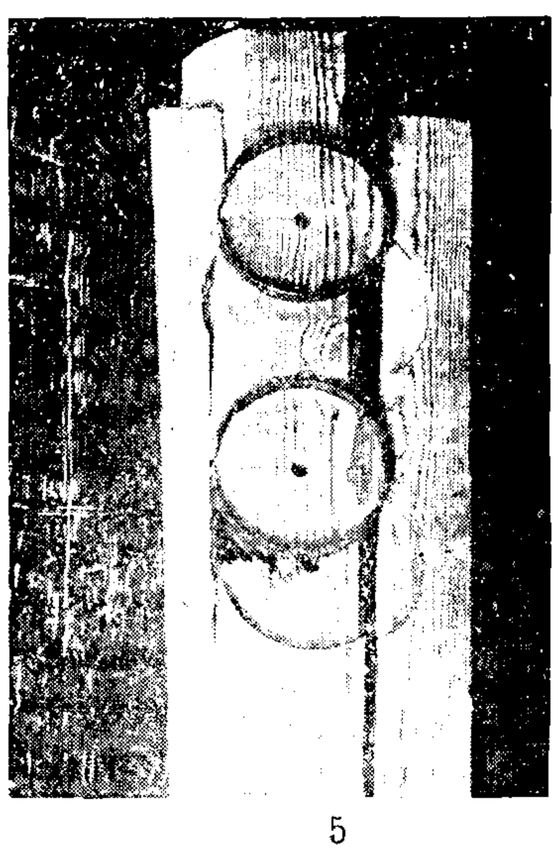
2



3



4

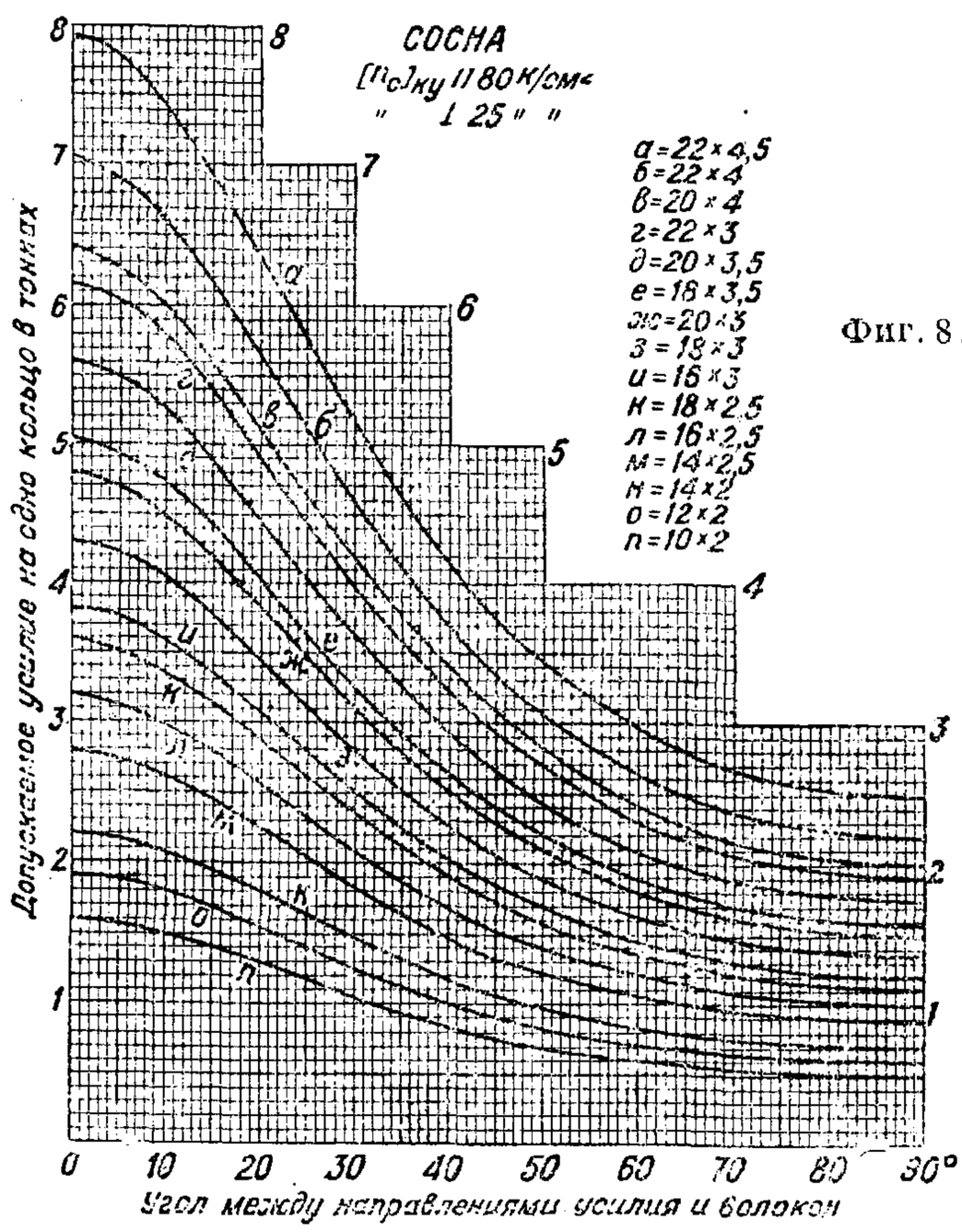


5

Табл. 2.—Наименьшая толщина досок (см).

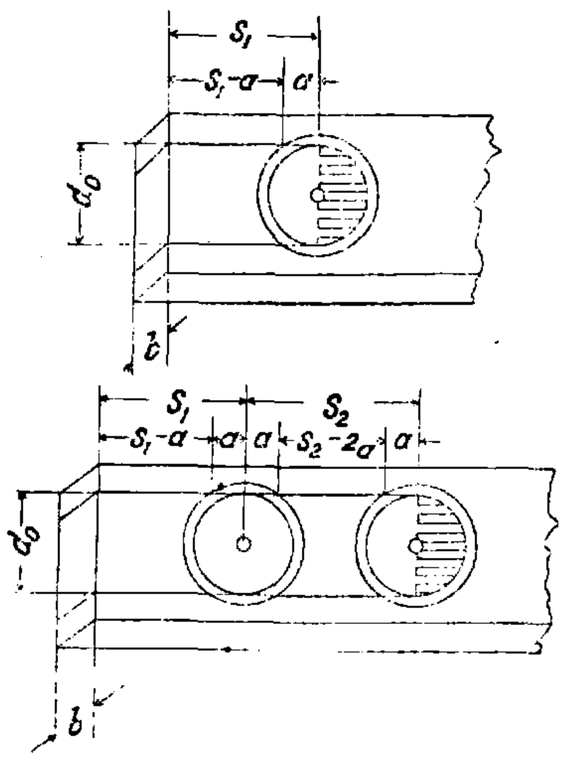
Диаметр кольца d_0	Ширина кольца b	В однорядн. соединениях	В двухрядн. соединениях
16	3,0	5,1	—
	2,5	4,5	—
14	2,5	4,5	6,0
	2,0	4,0	5,0
12	2,0	4,0	5,0
10	2,0	4,0	5,0

пространственной работе конструкции (в пролетных строениях мостов и т. п.). Конструкции на Т. к., занявшие в 1928—30 гг. почти моно-



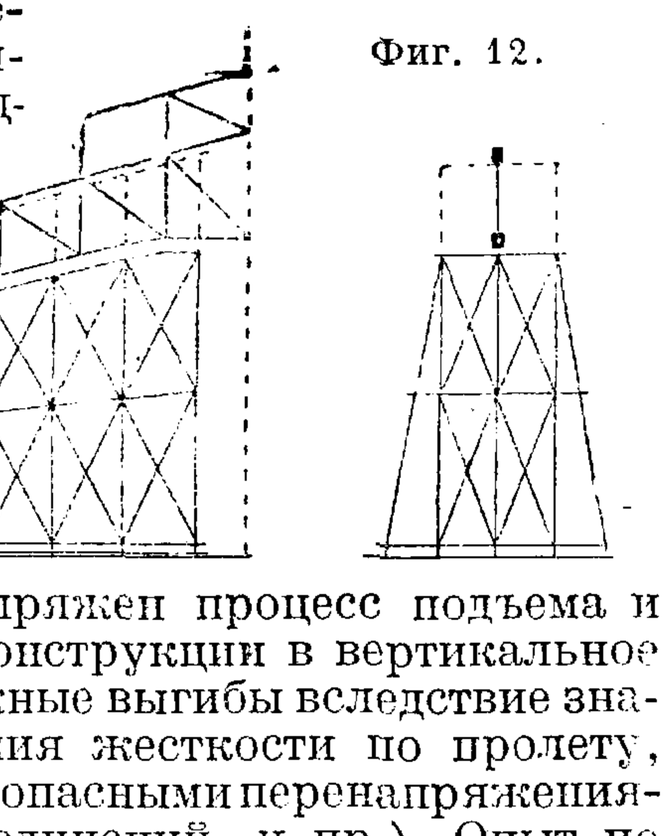
Фиг. 8.

польное положение в строительстве вследствие отсутствия других разработанных типов соединений, выгодно применять при условии механизации изготовления с применением специальных приспособлений в следующих случаях: 1) при крупных нагрузках, 2) при больших пролетах и 3) при необходимости получить сборно-разборную конструкцию. Конкурирующая с Т. к. зубчато-кольцевая шпонка и другие вкладыши, вдавливаемые в древесину, не требуют такой тщательности в обработке деревянных частей за счет более сложного технологического процесса по изготовлению самой зубчато-кольцевой шпонки или других вкладышей и во многих случаях имеют преимущество перед Т. к., а именно: 1) в присоединениях к гнутым составным элементам, 2) в качестве связей в составных элементах, изготовляемых с предварительным выгибом, и 3) для быстрого изготовления временных сооружений (леса, эста-



Фиг. 9.

кады, временные мосты и т. д.) при наличии лесоматериала на месте. С точки зрения перспектив применения деревянных конструкций в будущем внимания заслуживает одно качество конструкций на Т. к.—предельная расчлененность процесса изготовления, достигающая своего наибольшего использования при применении сборки в вертикальном положении. Основное преимущество вертикальной сборки заключается в том, что конструкция возводится постепенно по отдельным элементам, которые ставятся на место сразу в свое окончательное положение. При этом методе практически не существует предела в величине пролета. Между тем при обычном способе сборки в горизонтальном положении по мере увеличения пролета быстро возрастают труд-



Фиг. 10.

Фиг. 12.

ности, с к-рыми сопряжен процесс подъема и установки целой конструкции в вертикальное положение (неизбежные выгибы вследствие значительного колебания жесткости по пролету, сопровождающиеся опасными перенапряжениями элементов и соединений, и пр.). Опыт по вертикальной сборке арочных ферм пролета в 40 *м* и 56,5 *м* (см. вкл. л., *1* и *2*) с подвижных лесов (фиг. 12) с очевидностью показал преимущество этого способа производства работ. На вкл. л., *3*, *4* и *5* изображены разрушения растянутых соединений на кольца Тухшерера, а именно: на *3* и *4*—от скалывания и на *5*—от выкалывания.

Лит.: Щ у с е в П., О деревянных конструкциях в России, «Труды XXXIV совещательного съезда инж. службы пути ж. д. СССР, 1923 г.», М., 1924; К а р л с е н Г., Исследование кольцевой шпонки Тухшерера, М., 1925; Г е с т е ш и, Деревянные стропильные конструкции и их расчет, пер. с нем., М., 1925; К а м е н ц е в П., О работе кольцевых шпонок, «Труды I Всес. конференции по инж. дерев. констр., 1931» (печ.); И в а н о в Ю., Действительная работа дерев. констр. по результатам опытных исследов., там же (печ.); П а т о н Е., К л е х Е., Д я т л о в А., Опытное исследование соединений элементов деревянных конструкций, М., 1931; И в а н о в Ю., Причины случаев недостаточного запаса прочности деревянных конструкций, «СП», 1931, *8*; е г о ж е, Изготовление деревянных конструкций на кольцевой шпонке, там же, 1932, *3*; Ф р ы г и н В., Рациональный способ изготовления деревянных ферм на кольцевой шпонке, там же, 1932, *3*; П а т о н Е. и др., Кольцевые соединения, М., 1932; И в а н о в Ю., Опытное исследование сопряжений на кольцевой шпонке, «СП», 1933, *5*; е г о ж е, Кольцевая шпонка, Справочник для инженера-проектировщика, т. 5, М., 1933 (печ.); L e w e, Die Berechnung des geschlitzten Ringdübels, «Der Holzbau», 1920.

Ю. Иванов.

ТУШЬ, черная водяная краска, состоящая из смеси тонко раздробленного углерода с клеющим веществом. В качестве углерода в настоящее время применяют обычно наиболее тонкие и чистые сорта *сажи* (см.), гл. обр. газовой или ацетиленовой; в качестве клеящего вещества—животный (рыбий, кожный) или растительный

клей (гуммиарабик, трагант). К Т. прибавляют для уничтожения запаха сажи небольшое количество спиртового раствора камфоры или тинктуры мускуса, а для сообщения ей после высыхания прочности к воде (несмываемости)—раствора шеллака и др. веществ. Т. поступает на рынок в виде палочек, плиток и т. д. или в жидком состоянии, в виде т. н. жидкой Т. Китайцы с давних пор с успехом занимались приготовлением Т., к-рая поэтому и известна часто под именем китайской Т. Для получения последней в Китае употребляют сажу из сезамового или древесного масла, к-рую после просеивания смешивают с раствором рыбьего и кожного клея, вводят различные добавки и полученное т. о. тесто подвергают продолжительной и сложной ручной обработке. В Европе смесь сажи с клеем в виде густого теста обрабатывают сначала на толчеях, затем вальцуют в тонкие листы, к-рые складывают и раскатывают снова до получения весьма однородной массы, после чего пропускают последнюю через формовочную машину, разрезают на кусочки, прессуют и сушат. Для получения жидкой Т. берут напр. 1,25 *кг* свежеотбеленного шеллака, к-рый нагревают с 7,5 *л* воды и 600 *г* буры, фильтруют, прибавляют 0,5 *кг* сажи и тщательно растирают смесь на краскотерках почти до коллоидного состояния, после чего прибавляют тинктуру мускуса. Т. употребляется для черчения, рисования и других целей. После нанесения на бумагу она должна давать глубокий черный штрих, к-рый в сыром состоянии должен легко смываться, после же высыхания должен прочно соединяться с поверхностью материала и не расплываться при смачивании водой или нанесении красок.

Лит.: Buchwald A., Bleistifte, Tusche usw., Lpz.—W., 1909; «Technische Mitteilungen für Malerei», München, 1926.

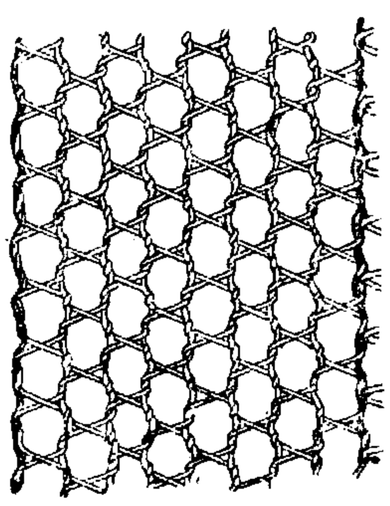
П. Черенин.

ТУЯ, вечнозеленые деревья и кустарники из рода Thuja (сем. Cupressineae Rich). Т. чрезвычайно декоративны и в большом количестве разводятся в садоводстве. Т.—растения однодомные и раздельнополые: мужские цветы располагаются на нижних боковых ветвях, женские, заметные уже с осени, закладываются на верхних боковых ветвях. Плоды—шишечки. Семя маленькое, продолговатое, чечевицеобразно сплющенное, с двойным тонким крылышком. Всходы с 2—5 семядолями. Т. может размножаться семенами, черенками и прививкой. Гигантская Т. (Thuja gigantea) родом из Сев. Америки (45—50° с. ш.)—крупное дерево, к-рое достигает на родине 30—60 *м* высоты, с ⌀ нередко в 4 *м* и остропирамидальной кроной. Рост весьма быстрый, но чувствительна к морозам. В молодости требует отенения и боковой защиты, плохо переносит излишек влаги в почве. Ее древесина—легкая, прочная и колкая—идет на шпалы, сваи и для столярных поделок. В Европу ввезена в 1853 г., и ее лесные культуры имеются в Германии в Брауншвейге, в большинстве же разводится как декоративное растение. Западная Т. (Thuja occidentalia)—дерево средней величины, часто переходящее в ветвистый кустарник, дает до 55 мелких форм, находящих себе применение в декоративном садоводстве. Ввезена в Европу из Америки (в 1545 г.). В Сев. Америке это дерево произрастает на болотистых пространствах. Чувствительна к морозам, предпочитает влажные почвы, на сухих почвах растет плохо. При затенении этот вид Т. образует раскидистую крону, на свету—пирамидальную. Древесина весьма прочная, красноватая, мало коробится и усыхает, пригодна в высокой степени для подземных и подводных построек и на шпалы. Восточная Т. (Th. orientalis), произрастающая в Персии, Китае и Японии,—дерево с приподнятыми вверх сучьями, образует много весьма ценных декоративных форм, с древесиной весьма прочной, красноватого цвета. Весьма пригодна для декоративных посадок на юге СССР.

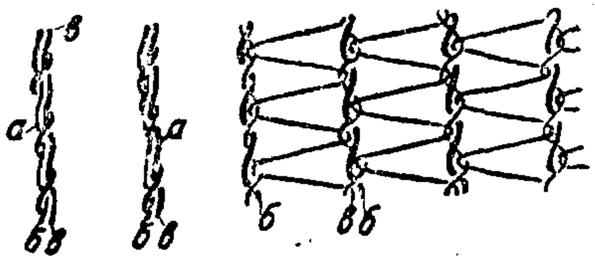
Лит.: Пеньковский В., Деревья и кустарники как разводимые, так и дико растущие в Европейской России, на Кавказе и в Сибири, ч. 1, Херсон, 1901; Beissner L., Handbuch d. Nadelholzkunde, 2 Aufl., B., 1909.

Н. Кобранов.

ТЮЛЕВОЕ ПРОИЗВОДСТВО, выработка разного рода гладкого и узорчатого (гардинного) тюля на особых тюлевых станках. Тюлевая ткань—прозрачная ткань, главным образом из хл.-бум. крученой, реже шелковой, пряжи, из двух (основа и уток) или нескольких систем нитей. Уточная нитка пересекает основу не под прямым углом, как обычно в тканях, а наклонно, причем в местах переплетения не только покрывает основную нить, но и обвивает ее. При выработке узорчатого тюля из трех или более систем нитей в основе кроме прямых имеются и узорчатые нити; уточная нить, пересекаясь с ними наклонно, перевивает две основные нити, причем прижимает узорчатую нить к прямой и обвивает их, благодаря чему образует ячейки разной величины (см. *Ткани*). В тюле гладком (фиг. 1)



Фиг. 1.



Фиг. 2.

имеется 2 системы нитей, в узорчатом (фиг. 2) 3 и 4 системы. Нити *б* идут по длине, нити *в*—наклонно к *б*, нити *а* скрепляют обе системы нитей, *б* и *в*, обвивая их.

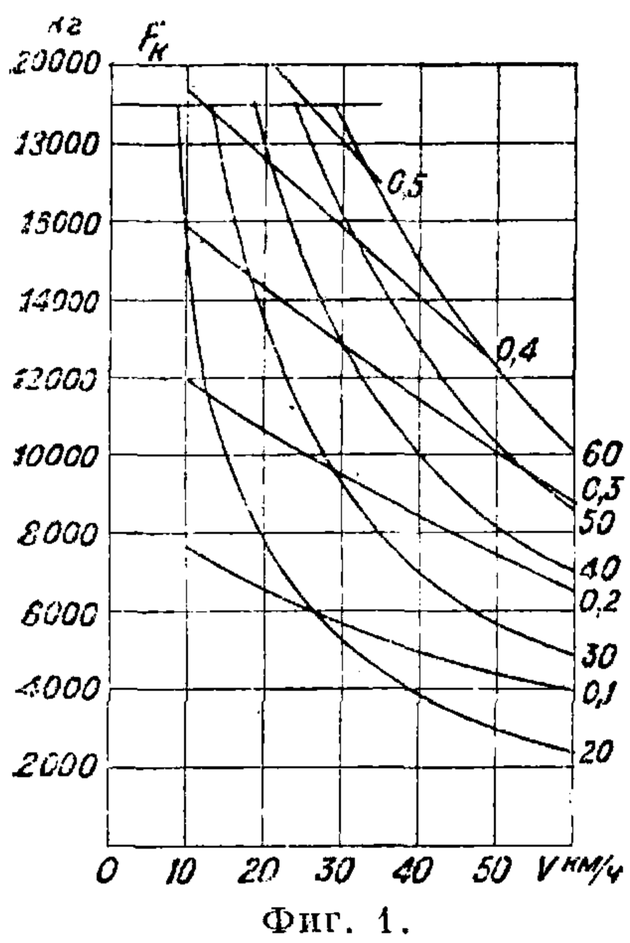
ТЯГОВЫЕ РАСЧЕТЫ, расчеты на тяговые качества машин механического транспорта.

Т. р. поезда. Теоретич. обоснованию Т. р. и практич. тяговым испытаниям уделялось много внимания за последние 20 лет, и в этой области в СССР сделано больше, чем в З. Европе и Америке. В 1928 г. Ин-том тяги НКПС были разработаны «Правила производства тяговых расчетов для железных дорог с паровой тягой», к-рые являются обязательными в НКПС. В 1932 г. эти правила были несколько переработаны и с 1933 г. должны заменить собой Правила 1928 г. Они обязательны также для тепловозной и электровозной тяги в тех частях, в к-рых эти виды тяги совпадают с паровой.

Основой для Т. р. является уравнение движения поезда, связывающее силы, действующие по линии движения поезда, а именно—силу тяги локомотива, сопротивление поезда и тормозную силу, с весом поезда и его ускорением. С помощью ур-ия движения поезда и посредством его интегрирования производится расчет составов поездов, решаются тормозные задачи и производится расчет времени хода поездов. В понятие Т. р. входит также определение расходов воды и топлива; этим отде-

лом Т. р. граничат с теплотехнич. расчетами. Для обычных практич. целей нет оснований делать расчеты с точностью, значительно превосходящей точность ф-л и цифровых величин, полученных опытным путем в средних условиях; последнюю можно грубо оценить в 5%, поэтому точность расчетов в 1% вполне достаточна.

Сила тяги локомотива—сила, возникающая от сцепления движущих колес локомотива с рельсами, приложенная к ободу колеса и действующая в направлении движения поезда. Среднее (по работе) значение этой действительной силы за оборот движущих колес называется силой тяги на ободе, или касательной силой тяги, обозначается $F_к$ и выражается в *кг*. Та величина силы тяги, которая могла бы получиться при отсутствии сопротивлений в машине локомотива и механизме, передающем движение движущим колесам, называется индикаторной силой тяги $F_и$. Локомотив обычно состоит из нескольких частей, последовательно превращающих некоторую энергию в работу силы тяги. В частности в паровозе котел превращает химическую энергию топлива в потенциальную энергию пара, затем машина превращает энергию пара во внутреннюю механич. работу и одновременно с этим экипаж с помощью рельсов превращает внутреннюю работу во внешнюю работу силы тяги. Т. к. реализуемая при какой-либо скорости паровоза сила тяги $F_к$ или F_i определяется работоспособностью слабейшего при этой скорости трансформатора энергии, то для определения силы тяги паровоза необходимо изучить в отдельности силу тяги по котлу, силу тяги по машине и силу тяги по сцеплению (по экипажу). На фиг. 1 представлена для паровоза серии ФД по опытам 1932 г. зависимость $F_к$ от скорости V *км/ч* по каждому из вышеуказанных трех трансформаторов. Кривые с цифрами 0,1; 0,2, ... 0,5, обозначающими отсечку ε (наполнение в долях хода поршня), дают $F_к = f(V, \varepsilon)$, т. е. силу тяги по машине при вполне открытом регуляторе. Зависимость $F_к$ от размеров машины выражается ф-лой:



Фиг. 1.

$$F_к = \frac{n\left(d^2 - \frac{d_ш^2 + d_{кш}^2}{2}\right) l p_к}{200\ D} \xi\eta_м = M\xi\eta_м. \quad (1)$$

При машине компаунд n и d заменяются через $n_н$ и $d_н$; n и d—число и диам. (в *мм*) цилиндров у паровоза однократного расширения, $n_н$ и $d_н$—число и диам. (в *мм*) цилиндров низкого давления у паровоза компаунд, $d_ш$ и $d_{кш}$—диам. штоков и контрштоков, l—ход поршня в *мм*, $p_к$—манометрич. давление пара в котле в *atm*; D—диам. движущих колес в *мм*, ξ—индикаторный коэф., равный отношению среднего индикаторного давления $p_и$ (ренкинизированной диаграммы при машине компаунд) к котловому давлению $p_к$, $\eta_м$—механич. кпд машины, равный $F_к : F_и$, M—модуль машины паровоза. Кривые с цифрами 20, 30, ... 60, обозначающими $z_м$, дают зависимость $F_к = f(V, z_м)$, т. е. силу тяги по котлу, где $z_м$—интенсивность парообразования по машине, т. е. часовой расход пара на машину паровоза, отнесенный к 1 $м^2$ испаряющей поверхности нагрева. Зависимость $F_к$ от котла выражается ф-лой:

$$F_к = \frac{270\ Hz_м}{U/N_к \cdot V}, \quad (2)$$

где H—испаряющая поверхность нагрева в $м^2$, $U/N_к$—расход пара на 1Р в час. Прямая $F'_к = 19\,000$ *кг* является практич. ограничением силы тяги по сцеплению. Зависимость $F_к$ от сцепления локомотива с рельсами выражается ф-лой:

$$F_к \leqslant 1\,000\ P_к \psi_к; \quad (3)$$

$P_к$—сцепной вес локомотива, т. е. вес, приходящийся на движущие оси, в $т$, $\psi_к$—коэф. сцепления на ободе, изменяющийся примерно в пределах от $^1/_3$ до $^1/_{10}$, гл. обр. в зависимости от состояния рельсов и поверхностей катания колес. Для неиспытанных паровозов расчетное значение $\psi_к$ для средних условий принимается по следующей таблице:

Расчетные значения $\psi_к$.

Тип машины	Товарн.	Пассаж.
Несимметричная и Маллеты . .	1/6	1/6
Симметр. с 2 или 4 цил. без кол. оси	1/5,3	1/5,5
Симметр. с 3 или 4 цил. с кол. осью	1/5,0	1/5,3

Удельная сила тяги $f_к$ есть сила тяги, приходящаяся на 1 $т$ веса поезда, т. е.

$$f_к = \frac{F_к}{P + Q}, \quad (4)$$

где P—расчетный вес локомотива с тендером в $т$, Q—вес состава (вагонов) в $т$.

Сопротивление поезда—равнодействующая проекций внешних сил, действующих на поезд, на направление, противоположное движению поезда. Тормозные силы и силы инерции в понятие сопротивления поезда не входят. Полное сопротивление поезда $W_к$ (*кг*) равно:

$$W_к = Pw'_0 + Qw''_0 \pm (P + Q)\, i + Pw'_r + Qw''_r; \quad (5)$$

при закрытом регуляторе правая часть ф-лы (5) имеет еще член $Pw_з$. Здесь w'_0—уд. сопротивление локомотива (на 1 $т$ веса локомотива с тендером), как повозки на прямой горизонтали, *кг/т*; w''_0—уд. сопротивление состава (вагонов) (на 1 $т$ веса состава) на прямой горизонтали, *кг/т*; i—величина уклона (подъема или спуска) в тысячных; знак + соответствует подъему, знак − соответствует спуску; w'_r и w''_r—уд. сопротивления соответственно локомотива и вагонов от кривой, *кг/т*; $w_з$—уд. сопротивление машины локомотива (на 1 $т$ веса локомотива с тендером) при закрытом регуляторе. Для товарных паровозов принимают

$$w'_0 = 1{,}5 + 0{,}05\ V\ кг/т; \quad (6)$$

при $V = 0 \div 10$ *км/ч*, $w'_0 = 2$ *кг/т*;

для пассажирских паровозов

$$w'_0 = 1{,}3 + 0{,}02\ V + 0{,}0005\ V^2\ кг/т. \quad (7)$$

Для товарных вагонов w''_0 принимается по формуле (6), если же известны тип и вес вагонов, то по следующим формулам:

для товарных двухосных вагонов

$$w''_0 = 1{,}4 + \left(0{,}04 + \frac{0{,}32}{q}\right) V \text{ кг/т}, \quad (8)$$

где q—вес вагона брутто в $т$;
для товарных четырехосных вагонов

$$w''_0 = \frac{V + 65}{12 + 0{,}55\, q} \text{ кг/т}; \quad (9)$$

для пассажирских двухосных и трехосных вагонов

$$w''_0 = 1{,}6 + 0{,}027\, V + 0{,}0003\, V^2 \text{ кг/т}; \quad (10)$$

для пассажирских четырехосных и шестиосных вагонов

$$w''_0 = 1{,}4 + 0{,}02V + 0{,}0002\, V^2 \text{ кг/т}; \quad (11)$$

w'_r принимается равным w''_r:

$$w'_r = w''_r = w_r = \frac{750}{R} \text{ кг/т}, \quad (12)$$

где R—радиус кривой в $м$.

Величина $w_з$ принимается по ф-лам:
для товарных паровозов без раздвижных золотников

$$w_з = 1{,}5 + 0{,}3\, V \text{ кг/т}; \quad (13)$$

для товарных паровозов с раздвижными золотниками

$$w_з = 1{,}5 + 0{,}1\, V \text{ кг/т}; \quad (14)$$

для пассажирских паровозов без раздвижных золотников

$$w_з = 1{,}5 + 0{,}03\, V + 0{,}001\, V^2; \quad (15)$$

для пассажирских паровозов с раздвижными золотниками

$$w_з = 1{,}5 + 0{,}01\, V + 0{,}0003\, V^2. \quad (16)$$

Удельное сопротивление поезда $w_к$ равно:

$$w_к = \frac{W_к}{P + Q} = w_0 + i + w_r. \quad (17)$$

Тормозная сила поезда—сумма проекций сил, возникающих от действия тормозов, на направление, противоположное движению поезда. Расчетная тормозная сила B в $кг$ выражается ф-лой:

$$B = \Sigma X \varphi_к = (P + Q)\, 1\,000\, \vartheta \varphi_к, \quad (18)$$

$$\vartheta = \frac{\Sigma X}{1\,000\,(P + Q)}. \quad (19)$$

ΣX—сумма нажатий тормозных колодок в $кг$; $\varphi_к$—коэф. трения тормозных колодок; ϑ—тормозный коэф. поезда; X для каждой тормозной оси не должен превышать практически 0,85 от нагрузки на рельсы этой оси во избежание заклинивания оси при малой скорости. В зависимости от условий $\varphi_к$ определяется по разным ф-лам. Для средних условий

$$\varphi_к = 0{,}24 - 0{,}0018\, V \text{ (при } V \text{ до } 80 \text{ км/ч}), \quad (20)$$

$$\varphi_к = 0{,}24 - 0{,}0024\, V + 0{,}000008\, V^2. \quad (21)$$

Для неблагоприятных условий (затяжные спуски свыше 15‰, большие давления на колодки)

$$\varphi_к = 0{,}2 - 0{,}0015\, V \text{ (при } V \text{ до } 80 \text{ км/ч}), \quad (22)$$

$$\varphi_к = 0{,}2 - 0{,}002\, V + 0{,}0000065\, V^2. \quad (23)$$

Для затяжных спусков свыше 20‰ $\varphi_к$ по ф-лам (22) и (23) д. б. понижено на 5%, а для затяжных спусков свыше 25‰—на 10%. Удельная тормозная сила в $кг/т$

$$b = 1\,000\, \vartheta \varphi_к. \quad (24)$$

Уравнение движения поезда—аналитич. зависимость между ускорением поезда (точнее—ц. т. поезда) в его поступательном движении и силой тяги, сопротивлением и тормозной силой. Ускорение поезда в $км/ч^2$

$$\frac{dV}{dt} = \zeta \frac{F_к - W_к - B}{P + Q} = \zeta\,(f_к - w_к - b). \quad (25)$$

При силе 1 $кг/т$ ускорение поезда ζ равно от 115 $км/ч^2$ (порожние товарные вагоны) до 122 $км/ч^2$ (груженые, пассажирские, паровозы); во всех случаях м. б. принято 120 $км/ч^2$. Интегрирование ур-ия движения поезда есть преобразование его в зависимости (аналитические или графические) между пройденным путем s, протекшим временем t, изменением скорости и действующей силой. Практически интегрирование производится только в конечных разностях в предположении, что сила $(f_к - w_к - b)$ в пределах интеграла (т. е. скоростей V_n и V_{n+1}) постоянна. Тогда:

$$t_{n+1} - t_n = \frac{V_{n+1} - V_n}{120\,(f_к - w_к - b)_{n,\,n+1}}; \quad (26)$$

$$s_{n+1} - s_n = \frac{4{,}17\,(V^2_{n+1} - V_n)}{1\,000\,\,(f_к - w_к - b)_{n,\,n+1}}; \quad (27)$$

$$s_{n+1} - s_n = \frac{(t_{n+1} - t_n)\,(V_n + V_{n+1})}{2}. \quad (28)$$

Интегрирование (в конечных разностях) по ф-лам (26—28) производится либо аналитически (при небольших вычислениях) либо графически (при массовых работах). Построение кривой $V = f(s)$ на основании кривой $f_к - w_к - b = f(V)$, а также построение кривой $t = f(s)$ на основании кривой $V = f(s)$ производится обычно графич. способами.

Расчет составов поездов—расчет веса состава на основании тяговой характеристики локомотива, профиля участка пути, заданной наименьшей скорости и других условий. Наивыгоднейшим составом товарного поезда с точки зрения пропускной способности дороги является состав наибольшего веса, к-рый только м. б. надежно и без буксований провезен локомотивом. Основная ф-ла:

$$Q = \frac{F_к - P\,(w'_0 + i + w_r)}{w''_0 + i + w_r}.$$

Наименьшая скорость 10—12 $км/ч$. При винтовых стяжках средним практич. пределом по прочности стяжки является $Q = 1\,500$—$2\,500$ $т$.

Тормозные задачи—расчеты, в к-рые входит тормозная сила поезда, точнее говоря, тормозный коэф. поезда ϑ, как заданная или как искомая величина. Тормозным путем поезда $s_к$ (в $м$) называется тот путь, к-рый поезд проходит с момента введения тормозов в действие от начальной скорости $V_н$ до конечной скорости $V_к$. Все тормозные задачи сводятся к нахождению одной из четырех величин: ϑ, $s_к$, $v_н$ и $v_к$ при трех известных. Расчет производится по ф-ле (27) или графич. способом.

Расчет времени хода поездов—расчет времени, нужного для прохождения поездом заданного перегона с известным профилем. Все способы расчета разделяются на две группы: точные и приближенные. Точные способы учитывают неравномерное движение поезда на элементе профиля и основаны на замене непрерывно меняющейся силы, действующей на поезд, постоянной силой, изменяющейся ступенями в зависимости от скорости; в пределах каждого приращения скорости определяются приращения пути и времени по ф-лам (26) и (27) либо непосредственно вычислением (что требует большой затраты времени и пригодно только для мелких работ) либо графически. Приближенные способы осно-

ваны на предположении, что поезд на каждом элементе профиля движется равномерно, со скоростью, зависящей от крутизны элемента, но не зависящей от его длины, причем скорость поезда на переломах меняется мгновенно от величины, соответствующей крутизне предыдущего элемента, до величины, соответствующей крутизне последующего элемента; наиболее распространенным из таких способов является т. н. графо-аналитический способ (способ равновесных скоростей). При всех способах для ускорения работы желательно пользоваться не действительным профилем участка, а спрямленным. Спрямление профиля состоит в том, что группы рядом лежащих сходных по крутизне элементов профиля заменяются одним прямым в профиле и в плане элементом, длина к-рого равна сумме длин входящих в него элементов, а уклон определяется тем условием, что работа сопротивления от него на всем протяжении равна суммарной работе сопротивлений от действительных уклонов и от кривых спрямляемой группы элементов на всем их протяжении.

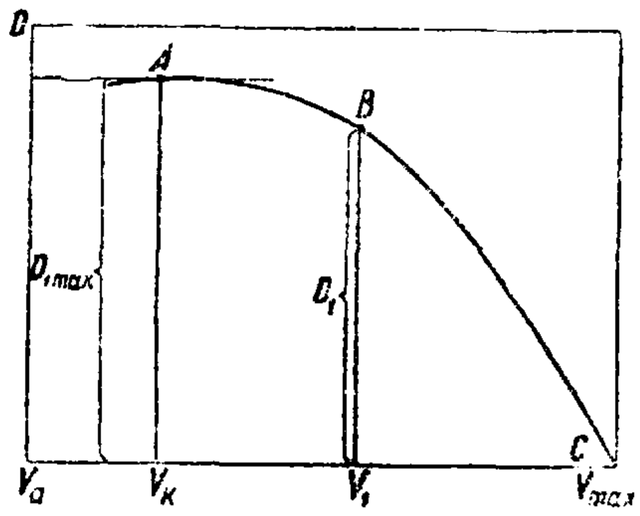
Определение расходов воды и топлива. Для определения расхода воды из тендера на перегоне при заданных паровозе, составе и профиле строится кривая интенсивности парообразования в зависимости от уклона, а по ней—кривая расхода воды на 1 *км* в зависимости от уклона; затем элементарные расходы умножаются на длины элементов спрямленного профиля и произведения складываются. Расход топлива определяется подобным же образом: строится кривая расхода топлива на 1 *км* в зависимости от уклона, элементарные расходы умножаются на длины элементов и произведения складываются.

Лит.: Егорченко В., Тяговые расчеты, 2 изд., Москва, 1929; Штанге Д., Тяговые расчеты, М.—Л., 1932.

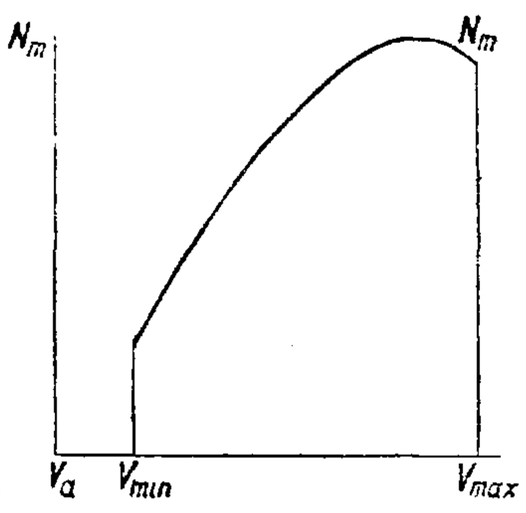
В. Егорченко.

Т. р. автомобиля. Задача Т. р. для конструктора заключается в том, чтобы по заданным тяговым качествам автомобиля определить необходимую мощность двигателя и все передачи между двигателем и ведущими колесами автомобиля. Кроме того Т. р. может быть применен в области эксплоатации автомобиля для определения среднего времени пробега, расчета грузооборота и т. д. Наконец Т. р. может быть применен при проектировании дорог для определения уклонов, поворотов и пр. При Т. р. автомобиля в число задаваемых тяговых качеств входят все основные элементы динамич. характеристики, а именно: V_{1max}—максимальная скорость автомобиля без учета сопротивления дороги, D_{1max}—максимальное значение динамич. фактора (см. *Динамика автомобиля*) на последней передаче, D_1—значение динамич. фактора при заданной средней эксплоатационной скорости V_1 на последней передаче, V_k—критич. скорость автомобиля на последней передаче, D_2—значение динамич. фактора при заданной скорости V_2 для случая работы автомобиля на промежуточной передаче, D_{max}—максимальное значение динамич. фактора на первой передаче. Кроме того для возможности проведения Т. р. должны быть заданы следующие конструктивные данные: 1) мертвый вес автомобиля G_0, 2) радиус ведущего колеса $r_к$, 3) коэф., оценивающий обтекаемость автомобиля, KF, 4) механич. кпд силовой передачи. Конструктивные данные выбираются на основании архивных данных по автомобилям выбранного типа. На основании Т. р. определяются: а) характеристика автомобильного двигателя N_m, б) постоянная передача автомобиля i_0, в) число скоростей в коробке передач, г) передаточные числа на отдельных скоростях в коробке передач.

а) Определение характеристики двигателя. На основании заданных измерителей по динамич. качествам автомобиля м. б. построена динамич. характеристика, как это и выполнено на фиг. 2. Здесь на оси абсцисс отложена точка, соответствующая максимальной скорости V_{max}. На скорости, соответствующей V_1, восстановлен перпендикуляр, равный заданному значению динамич. фактора D_1, и наконец в точке, соответствующей критич. скорости V_k, восстановлен перпендикуляр,



Фиг. 2.



Фиг. 3.

равный D_{1max}. Через полученные три точки проводится кривая, касательная к горизонтали, проведенной в точке A. Кривая ABC представляет собой динамич. характеристику проектируемого автомобиля на последней передаче.

Мощность автомобиля, соответствующая некоторой скорости v_a, может быть выражена через динамич. фактор на основании следующего уравнения:

$$N_m = \frac{D \cdot G_a \cdot v_a + KF \cdot v_a^3}{75\eta_m}. \qquad (29)$$

В этом ур-ии скорость v_a выражена в *м/сек*. Если выразить ее в *км/ч*, то получим окончательно:

$$N_m = \frac{D \cdot G_a \cdot V_a + KF \cdot V_a^3 \frac{1}{3,6^2}}{270\eta_m}. \qquad (30)$$

Пользуясь этим выражением, можно определить ту мощность N_m, к-рую должен развивать двигатель на любой скорости автомобиля, для того чтобы на этой скорости динамич. фактор D соответствовал кривой ABC (фиг. 2). На фиг. 3 дан примерный вид такой кривой. Для того чтобы от этой кривой перейти к характеристике двигателя, необходимо выразить масштаб абсцисс через обороты двигателя n_m. Это определяется или выбором коэф-та многооборотности η_n из выражения

$$\eta_n = \frac{n_m}{V_a} \qquad (31)$$

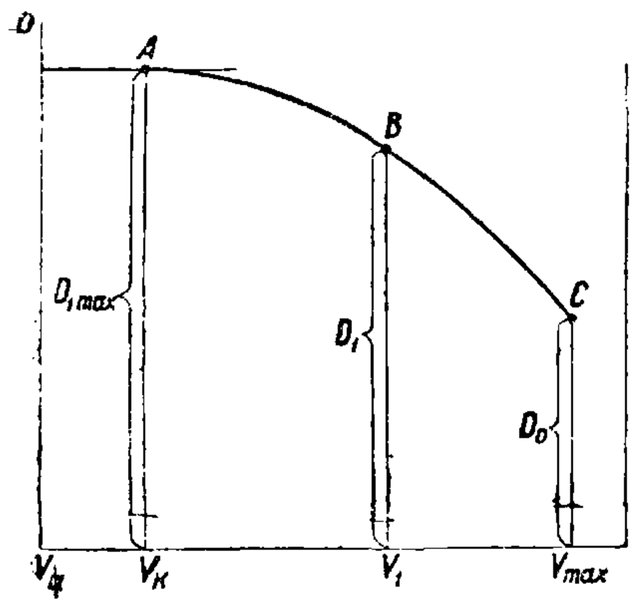
или же из установления максимального числа оборотов двигателя n_{max}, соответствующего максимальной скорости автомобиля V_{max}. Определив масштаб абсцисс в оборотах двигателя, можно получить необходимый рабочий объем двигателя из ур-ия:

$$\frac{pLn_m}{900} = N_m. \qquad (32)$$

Зная среднее эффективное давление p, к-рое можно получить на различных оборотах двигателя n_m, можно найти необходимый литраж двигателя L. При этом действительная кривая мощности N_m не совпадет в точности с той кривой N_m, к-рая на фиг. 3 получена расчетным

путем, но для обеспечения заданных тяговых качеств автомобиля действительная характеристика должна во всех точках перекрывать кривую, полученную расчетом.

При Т. р. грузового автомобиля, когда двигатель снабжен регулятором, характеристику двигателя N_m можно определить тем же методом, который был изложен выше для легкового автомобиля. Некоторым отличием здесь является то обстоятельство, что здесь при заданной максимальной скорости движения автомобиля должен оставаться еще некоторый запас тягового усилия, который оценивается соответствующим значением динамич. фактора D_0. Т. о. динамич. фактор автомобиля с регулятором изображается кривой, представленной на фиг. 4, где динамич. фактор D_0 оценивает запас тягового усилия на максимальной скорости движения автомобиля V_{max}.



Фиг. 4.

б) Определение главной передачи автомобиля. Для определения передаточного числа i_0 главной передачи автомобиля служит выражение:

$$i_0 = \frac{2\pi r_k \cdot n_m}{60 \cdot V_a} \cdot 3{,}6. \qquad (33)$$

Соотношение между оборотами двигателя n_m и скоростью автомобиля V_a определяется на основании заданного коэф-та многооборотности η_n или же на том основании, что заданы максимальные обороты двигателя n_{max}, соответствующие максимальной скорости автомобиля V_{max}. В приведенном выше ур-ии радиус r_k д. б. взят с учетом деформации шин.

в) Выбор числа скоростей в коробке передач в большой степени связан с определением числовых значений этих передач. Главным же образом он определяется величиной динамич. фактора на последней передаче. Для большинства современных автомобилей, имеющих максимальное значение динамич. фактора на последней передаче 7% и выше, применяется трехскоростная коробка. Для автомобилей же, имеющих динамич. фактор ниже 7%, применяется четырехскоростная коробка.

г) Определение передаточных чисел в коробке передач. Последняя скорость в коробке передач обычно является прямой, т. е. передаточное число при этом равно 1. Первая скорость определяется вне зависимости от числа и соотношения передаточных чисел. Она определяется по тому максимальному сопротивлению дороги ψ_{max}, к-рое должен преодолеть автомобиль на первой передаче. Если задаться таким сопротивлением, то передаточное число на первой скорости определится из ур-ия:

$$i_1 = \frac{G_a \cdot \psi_{max} \cdot r_k}{M_m \cdot \eta_m \cdot i_0}. \qquad (34)$$

В это ур-ие следует вводить максимальное значение M_m. Передаточное число i_1, получаемое по ур-ию (34), не должно превосходить такого своего значения, при к-ром начнется буксование ведущих колес на дороге, обеспечивающей хорошее сцепление с шинами. Максимальное тяговое усилие, к-рое м. б. передано через ведущие колеса, определяется из выражения:

$$Q_{max} = mG' \cdot \varphi. \qquad (35)$$

Здесь m—коэф., учитывающий изменение нагрузки на ведущие колеса в связи с наличием тягового усилия, G'—сцепной вес автомобиля или вес, приходящийся на ведущие колеса, φ—коэф. сцепления между шинами и дорогой. Максимальное усилие, развиваемое на ведущих колесах на первой передаче, не должно превосходить этой величины, т. е. получаем

$$\frac{M_m \eta_m i_0 \cdot i_1}{r_k} \leqslant m \cdot G' \cdot \varphi. \qquad (36)$$

Отсюда определяется предельное максимальное значение передаточного числа на первой передаче

$$i_1 \leqslant \frac{m \cdot G' \cdot \varphi r_k}{M_m \eta_m i_0}. \qquad (37)$$

Значение коэф-та сцепления φ на хорошей дороге м. б. при этом принято равным: для шин низкого давления (баллоны) $\varphi = 0{,}6 - 0{,}65$; для шин высокого давления $\varphi = 0{,}55 - 0{,}6$; для шин массивных $\varphi = 0{,}45 - 0{,}5$.

Соотношение передаточных чисел для промежуточных передач целесообразно брать по возможности ближе к геометрич. пропорции, т. к. при этом при разгоне автомобиля используется наибольшая средняя мощность двигателя, а поэтому обеспечивается наиболее быстрый разгон. Для второй скорости трехскоростной коробки передач

$$i_2 = \sqrt{i_1}, \qquad (38)$$

для второй скорости четырехскоростной коробки передач

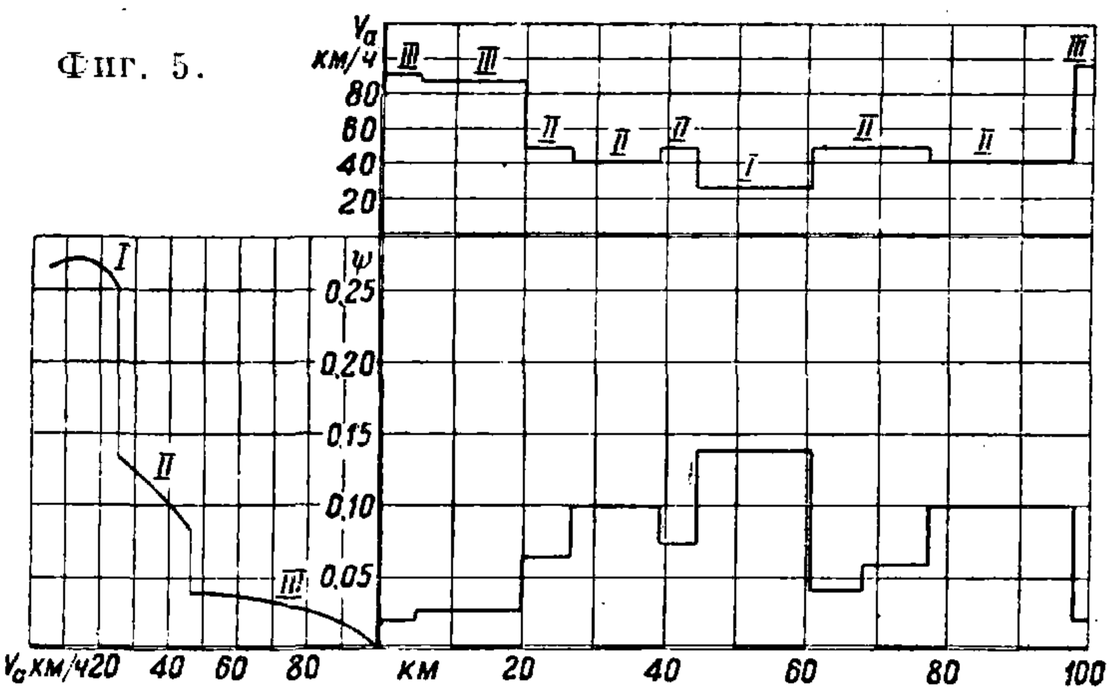
$$i_2 = \sqrt[3]{i_1^2}, \qquad (39)$$

для третьей скорости четырехскоростной коробки передач

$$i_3 = \sqrt[3]{i_1}. \qquad (40)$$

Для суждения о правильности выбора отдельных передаточных чисел в применении к заданным дорожным условиям целесообразно пользоваться графиком, представленным на фиг. 5. Здесь с правой стороны внизу приведена кривая коэф-та сопротивления дороги для такого участка пути, на к-ром предполагается работа автомобиля. Слева представлена динамич. характеристика для проектировки автомобиля. Т. о. легко м. б. установлено, на какой передаче и с какой скоростью может двигаться автомобиль на отдельных участках дороги. Сверху справа представлены максимальные скорости установившегося движения автомобиля на отдельных участках. Пользуясь этим графиком, можно путем небольшого изменения

Фиг. 5.



передаточных чисел поднять скорость движения автомобиля на отдельных участках дороги. Из того же графика м. б. определены средняя скорость движения на заданном участке и время, затрачиваемое на пробег. При расчете автомобиля, снабженного прицепом или полуприцепом, следует пользоваться теми же самыми ур-иями, но при этом необходимо правильно учитывать величину сцепного веса G'. Для случая автомобилей с прицепами величина нагрузки G' определяется нормальным образом, как и для автомобилей без прицепов. В случае же полуприцепов надо в этой нагрузке учесть груз, получающийся от передка полуприцепа. Приближенно его можно принять равным половине всего веса полуприцепа. **Е. Чудачов.**

ТЯЖЕЛАЯ АРТИЛЛЕРИЯ. Образцы тяжелых орудий появляются уже в 14—15 вв., но из-за малой подвижности используются только при осаде и обороне укрепленных городов. Развитие фортификации, особенно во второй половине 17 века, заставляет иметь в составе полевой артиллерии наряду с легкими орудиями также и орудия Т. а. Войны начала 20 в. (Русско-японская и Балканская) с особой резкостью подчеркнули значение Т. а. в составе полевых армий для разрушения фортификационных сооружений противника и борьбы с его артиллерией. В период, предшествовавший войне 1914—18 гг., артиллерия сухопутных армий классифицируется на основе ее боевого использования на: полевую, крепостную, осадную и береговую. Каждый из этих видов артиллерии имел специальную материальную часть, приспособленную для решения соответствующих боевых задач (например полевой бой, атака или оборона крепости, борьба с морским флотом). Поскольку основным требованием, предъявляемым к полевой артиллерии, являлась подвижность, постольку в артиллерии крепостной, осадной и береговой на первое место ставилось требование могущества. На войну 1914—18 гг. все воюющие государства выступили с артиллерией, которая делилась на основе могущества и подвижности на: полевую легкую, горную,

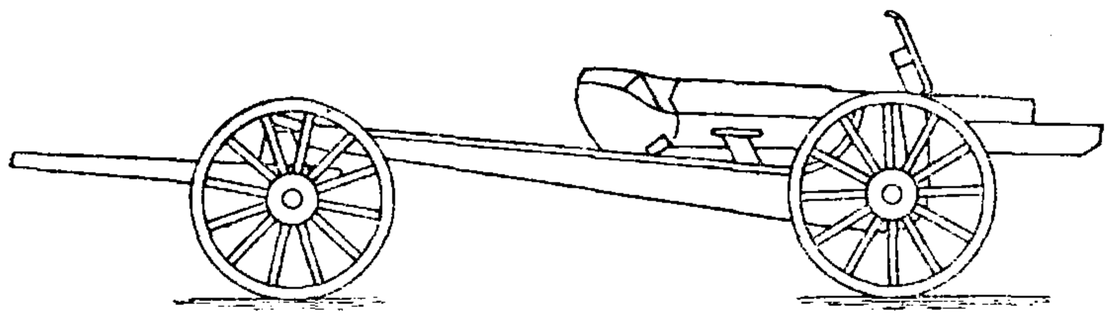
Табл. 1.—Орудия полевой тяжелой артиллерии к 1914 г.

Страна	Система, завод, год изготовления	Калибр в *мм*	Длина ствола в калибрах	Вес снаряда в *кг*	Вес разр. заряда в *кг*	Начальная скорость в *м/сек*	Предельная дальн. в *км*	Обстрел в градусах: гориз.	Обстрел в градусах: вертик.	Вес сист. в *кг*: положение боевое	Вес сист. в *кг*: положение походн.
Россия	42-лин. скоростр. пушка Шнейдера обр. 1910	107	28	16,1	2,0	580	11,7	±3	− 5 ÷ + 37	2 172	2 486
	6″ гаубица Шнейдера обр. 1910	152	28	40,9	8,8	381	7,7	±2,5	− 1 ÷ + 12	2 160	2 520
Франция	Короткая полевая пушка обр. 1890	120	28	20,3	4,2	285	5,7	±5	−12 ÷ + 44	1 475	2 365
	Короткая пушка обр. 1890	155	28	45,0	12,0	300	6,1	±5	− 5 ÷ + 65	3 115	3 865
	15-*см* тяжелая гаубица обр. 1904	155	—	43,0	13,0	276	6,5	±5	−10 ÷ + 41	3 200	2 400
Германия	10-*см* тяжелая полевая пушка обр. 1904	105	—	17,8	2,2	553	10,3	±2	− 5 ÷ + 30	2 755	3 232
	15-*см* тяжелая полевая гаубица обр. 1902	150	—	40,5	6,0	325	7,1	±2	0 ÷ + 42	2 035	2 700
Австро-Венгрия	15-*см* тяжелая полевая гаубица обр. 1899	150	13	39,0	7,4	285	6,6	—	—	2 330	2 660

Табл. 2.—Орудия тяжелой (осадной) артиллерии к 1914 г.

Страна	Система, год изготовления	Калибр в *мм*	Вес снаряда в *кг*	Вес разр. заряда в *кг*	Начальная скорость в *м/сек*	Наибольш. дальность в *км*	Обстрел в градусах: гориз.	Обстрел в градусах: вертик.	Вес системы в *кг*: положение боевое	Вес системы в *кг*: положение походн.
Россия	42-лин. пушка обр. 1877	107	16,4	2,0	509	9,6	0	− 6 ÷ + 40	2 457	3 079
	6″ пушка обр. 1904 (200 п.)	152	41,0	8,8	580	12,1	0	− 5 ÷ + 40	5 323	5 930
	6″ пушка обр. 1877 (190 п.)	152	33,2	5,1	457	8,7	0	− 5 ÷ + 45	4 750	5 373
	6″ пушка обр. 1877 (120 п.)	152	33,2	5,1	427	8,3	0	− 6 ÷ + 40	3 112	3 734
	6″ осад. пушка обр. 1910	152	41,0	5,7	640	12,3	—	− 5 ÷ + 40	5 733	4 095
	9″ легк. мортира 1877	230	137,2	18,0	280	6,4	—	+20 ÷ + 60	2 680	6 552
	9″ берег. пушка обр. 1867	230	106,5	8,1	460	10,3	360	− 4 ÷ + 40	32 700	15 151
	10″ пушка в 45 кал. дл.	254	225,2	18,8	777	20,4	360	− 4 ÷ + 30	48 140	28 994
	11″ пушка обр. 1877	280	213,0	23,3	518	12,9	360	− 4 ÷ + 35	57 331	28 665
	11″ пушка обр. 1887	280	343,0	43,1	624	12,3	360	− 4 ÷ + 19	83 421	47 831
	11″ берег. мортира	280	292,8	59,4	304	8,7	360	0 ÷ + 65	26 203	10 450
Франция	Длинная пушка обр. 1878	120	20	4,0	585	8,5	0	0 ÷ + 30	2 700	3 700
	Короткая пушка обр. 1881	155	43,0	12,0	284	6,1	0	0 ÷ + 55	2 080	3 050
	Длинная пушка обр. 1877	155	42	10,0	523	10,0	0	—	5 700	7 000
	Мортира обр. 1891	220	118,0	36,0	256	5,2	0	0 ÷ + 60	4 100	5 050
	Осадная мортира	270	152	38,3	328	7,4	±15	0 ÷ + 65	16 125	7 600
Германия	10,5-*см* пушка обр. 1904	105	18,0	2,0	558	10,3	—	—	2 735	3 505
	13-*см* скорострельная пушка обр. 1907	135	40	4,01	695	14,4	—	—	1 838	4 700
	15-*см* тяжелая пушка	149	50,5	3,27	595	15,6	± 2	0 ÷ + 42	1 990	2 465
	21-*см* бронз. мортира	211	119	17,4	308	7,2	0	+45 ÷ + 70	3 000	4 300
	21-*см* мортира обр. 1910	211	83	8,0	353	8,2	+ 3	+20 ÷ + 70	6 435	4 300
	28-*см* мортира з-да Круппа	280	338	52	335	11,0	+ 5	+ 60	14 600	—
	30,5-*см* берег. мортира	350	335	42	—	8,8	—	—	16 000	—
	42-*см* мортира	420	400÷800	50÷137,5	330÷466	9,3÷12,2	±10	+30 ÷ + 70	42 600	17 000
Австро-Венгрия	30,5-*см* мортира обр. 1911	305	209	—	407	11,0	±60	+40 ÷ + 75	20 900	—

полевую тяжелую и тяжелую (осадную). Обладая подвижностью, не во многом уступающей (предельный вес системы в походном положении до 3 *m*) подвижности полевой легкой артиллерии (предельный вес системы до 2 *m*), полевая Т. а. в значительной степени превосходила ее как в разрушительном действии снарядов, так и в дальнобойности. Появление полевой Т. а. явилось как



Фиг. 1.

бы первым шагом на пути применения в полевых боях мощных орудий Т. а. Широкое использование в артиллерии механической тяги орудий, получившее распространение в период войны 1914—18 гг., еще более расширило применение тяжелых орудий в полевых боях; вопрос подвижности был разрешен мотором, без ограничения предела могущества. Такое же разрешение получил вопрос о тяжелых орудиях береговой артиллерии—путем приспособления их к перевозке тракторами и на ж.-д. установках. Таким обр. новые средства перевозки орудий совершенно стерли резкую грань, разделявшую прежде полевую артиллерию от крепостной, осадной и береговой. В настоящее время Т. а. любого могущества найдет самое широкое применение как в полевых боях, так и в условиях атаки и обороны укрепленных средствами долговременной фортификации позиций и в борьбе берега с флотом.

Основным признаком для отнесения того или иного орудия к Т. а. служил прежде вес системы орудия в походном положении, характеризовавший его подвижность. На основе этого признака к Т. а. относились все орудия весом от 3 *m* и более. В настоящее время вес системы орудия не характеризует уже его подвижности, а следовательно и не может считаться основным признаком для решения этого вопроса,—напр. последняя модель америк. 75-*мм* пушки Т-3, стреляющей как по наземным, так и по воздушным целям с начальной скоростью в 900 *м/ск*, на дистанцию 16—17 *км*, не м. б. названа орудием Т. а., хотя вес ее и превосходит 3 *m*. На основе установившейся еще до войны 1914—18 годов классификации артиллерийских орудий и по настоящее время к Т. а. принято относить пушки калибром от 100 *мм* и выше, гаубицы—от 150 *мм* и выше и мортиры—от 200 *мм* и выше; до войны

Табл. 3.—Данные новых конструкций орудий тяжелой артиллерии (АРГК) (1932).

Страна	Система, завод, год изготовления	Калибр в *мм*	Вес снаряда в *кг*	Начальная скорость в *м/ск*	Наибольшая дальность в *км*	Обстрел в градусах		Вес системы в *m*		Тип лафета*1	Способ перевозки*1
						гориз.	вертик.	боевое положение	походн. положение		
	Пушки										
Франция	155-*мм* длинная мощная пушка Шнейдера	155	50	900	26	360	−8+45	16,4	8,8*2	—	—
	155-*мм* арм. тяжелая пушка С.-Шамона обр. 1924	155	—	—	25	—	—	—	—	—	тр.
	194-*мм* тяжелая пушка С.-Шамона обр. 1924	194	125	800	30	—	+40	40	—	гус.	тр.
	355-*мм* ж.-д. пушка Шнейдера обр. 1927	335	618,7	808	36	7—360	0+50	132,7	295,7	—	ж.-д.
США	155-*мм* полевая тяжелая пушка обр. 1920	155	43,1	853,5	22,5	—	+65	12,7	—	—	тр.
	155-*мм* полевая тяжелая пушка обр. 1921 на арм. самоходн. установке	155	43,15	853,5	22,8	10	+65	21,3	—	—	тр.
	То же на самоходн. установке Кристи	155	43,15	735	16	13	—	20	—	—	тр.
	8″ ж.-д. пушка обр. 1919	203	101,2	1 020	29,2	360	0+15	—	—	тумб.	ж.-д.
	14″ пушка на ж.-д. установке	355	753	885	39,0	1—360	0+22	—	—	—	ж.-д.
Чехо-Словакия	150-*мм* тяжелая пушка обр. 1915—20 завода Шкода	150	56	760	25,5	3	−6+45	13,6	—	—	—
	220-*мм* тяжелая пушка завода Шкода	220	103,0	766	24	360	+40	25	—	—	—
Голландия	150-*мм* тяжелая пушка Голл. об-ва торг. и пром.	149,3	50,0	749	23	5	−3+42	10	6,2+5,7	—	—
	Гаубицы										
Франция	220-*мм* арм. тяжелая гаубица сист. С.-Шамона обр. 1921	220	—	—	15	—	—	—	—	—	тр.
	305-*мм* тяжелая гаубица системы С.-Шамона обр. 1924	305	400	—	15	—	+40	40	—	гус.	тр.
США	8″ тяж. гаубица обр. 1920	203,2	91	—	17	—	+65	10,9	—	раз.	тр.
	8″ » » на арм. самоходной установке обр. 1921	203,2	91	—	16,5	10	+65	21,3	—	—	—
	240-*мм* самоходная гаубица обр. 1918	240	150	510	15,1	2	+60	—	—	—	тр.
	240-*мм* тяжелая гаубица С.-Шамона обр. 1920	240	161,4	—	22,9	—	—	36,3	—	гус.	тр.
	16″ гаубица ж.-д. обр. 1920	406	1 089	680	27,4	—	−7+65	—	—	—	ж.-д.
Швеция	21-*см* гаубица дл. в 14,5 кал.	210	120	400	10,5	4	+6+70	7,2	—	—	тр.
Чехо-Словакия	220-*мм* мортира завода Шкода	220	128,0	500	14,5	—	—	—	—	—	—

*1 Обозначения в графе тип лафета: гус.—гусеничный, тумб.—тумбовый, раз.—раздвижной; в графе способ перевозки: тр.—трактор, ж.-д.—железнодорожный. *2 Вес самой тяжелой повозки (всех повозок 3).

1914—1918 гг. это были минимальные калибры орудий, вес системы которых был около 3 *т*.

Характеристика баллистических данных основных орудий Т. а., состоявших на вооружении главнейших европейских армий к 1914 г., дана в табл. 1 и 2. Данные новых конструкций орудий Т. а. к концу 1932 г. приведены в табл. 3.

Эволюция техники артиллерии после войны 1914—18 гг. как в отношении артиллерии в целом, так в частности и Т. а. идет по линии увеличения дальнобойности и увеличения разрушительного действия снарядов. Проблема т. наз. сверхдальней стрельбы была разрешена в герм. армии еще в период 1914—18 гг. в конструкции 21-*см* сверхдальнобойной тяжелой пушки. Характеристика этого орудия Т. а.: калибр 21 *см*, длина тела орудия 37 *м* (ок. 70 калибров), угол наибольшего возвышения 55°, начальная скорость 1 500÷1 600 *м/ск*, относительный заряд >1, вес снаряда 120 *кг*, наибольшее давление в канале орудия 3 000 *atm*, наибольшая дальность 120 *км*, высота траектории 40,6 *км*, т. е. бóльшая часть траектории снаряда лежит в очень разреженном воздушном пространстве. Современная французская сверхдальнобойная пушка Шнейдера имеет следующие данные: калибр 210 *мм*, длину ствола 110 калибров, вес снаряда 108 *кг*, вес заряда 160 *кг*, начальную скорость 1 450 *м/ск* и наибольшую дальность 120 *км*. В отличие от германской сверхдальнобойной пушки во французской армии эта пушка установлена на железнодорожном лафете 520-*мм* гаубицы. Вся система установлена на четырехосных тележках. Система рассчитана всего на 200 выстрелов.

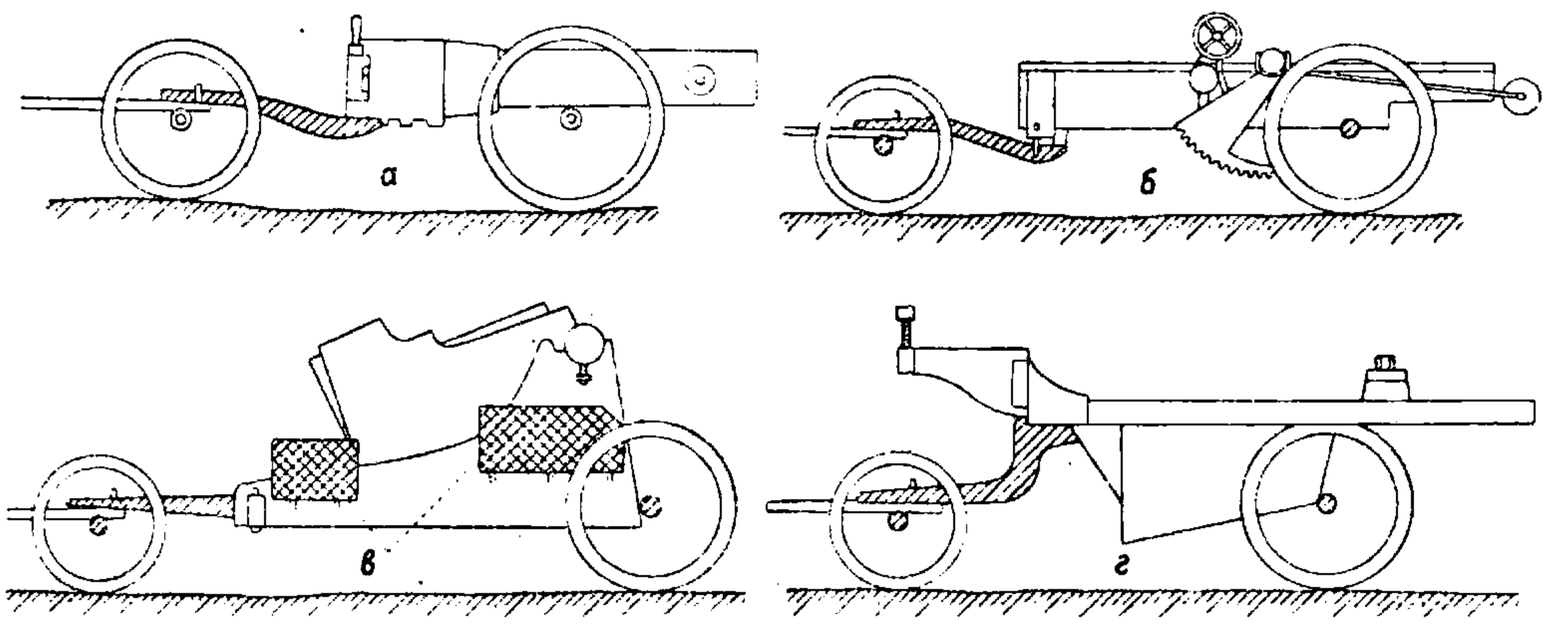
Характеристика Т. а. будущего согласно современным взглядам французских и германских специалистов приведена в табл. 4.

Табл. 4. — Характеристика тяжелой артиллерии будущего.

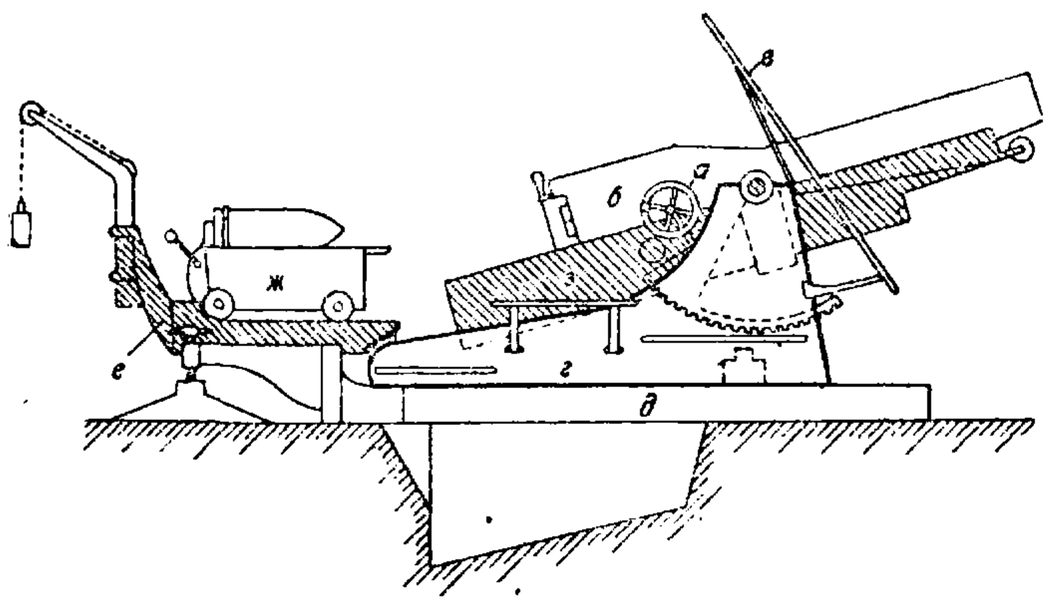
Задачи	По данным франц. военных специалистов			По данным герм. военных специал.	
	калибр в *мм*	способ перевозки	дальнобойность в *км*	калибр в *см*	дальнобойность в *км*
Разрушение материальн. препятствий	155 *1	Гусеничный трактор	11	20÷24	18—20
	240 *1		12—16		
	150 *2		20—25		
Поражение дальних целей	150 *2	Трактор	20—25	15÷18	30—35
	194 *2		30		
Особо мощные калибры	400 *1	Ж.-д. установка	20	—	20÷200
	210 *2		40		
	270 *2		60		
	200 *2		200		

*1 Гаубица. *2 Пушка.

Современная Т. а. делится на полевую, входящую в состав полевых армий, крепостную, состоящую на вооружении крепостей, и береговую. По признаку подвижности Т. а. подразделяется на собственно тяжелую (калибром орудий до 105÷155 *мм*), большой мощности (свыше 155 *мм*) и сверхмощную (куда следует отнести системы орудий калибром 400 *мм* и выше). По способу тяги Т. а. бывает тракторная, возимая, самоходная и железнодорожная.

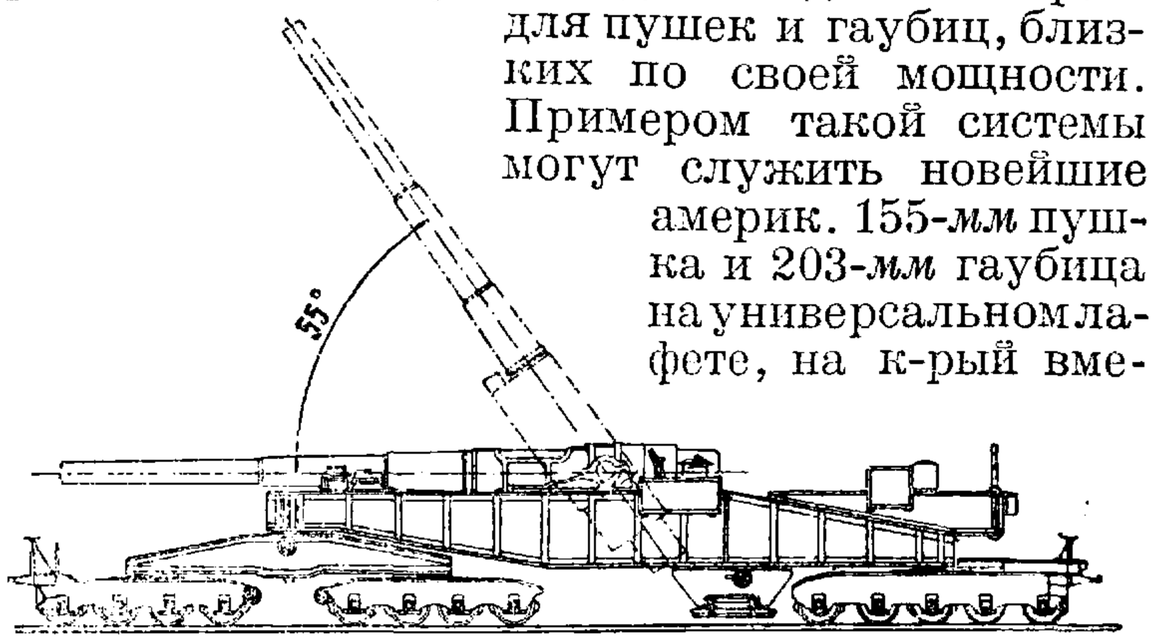


Фиг. 2.



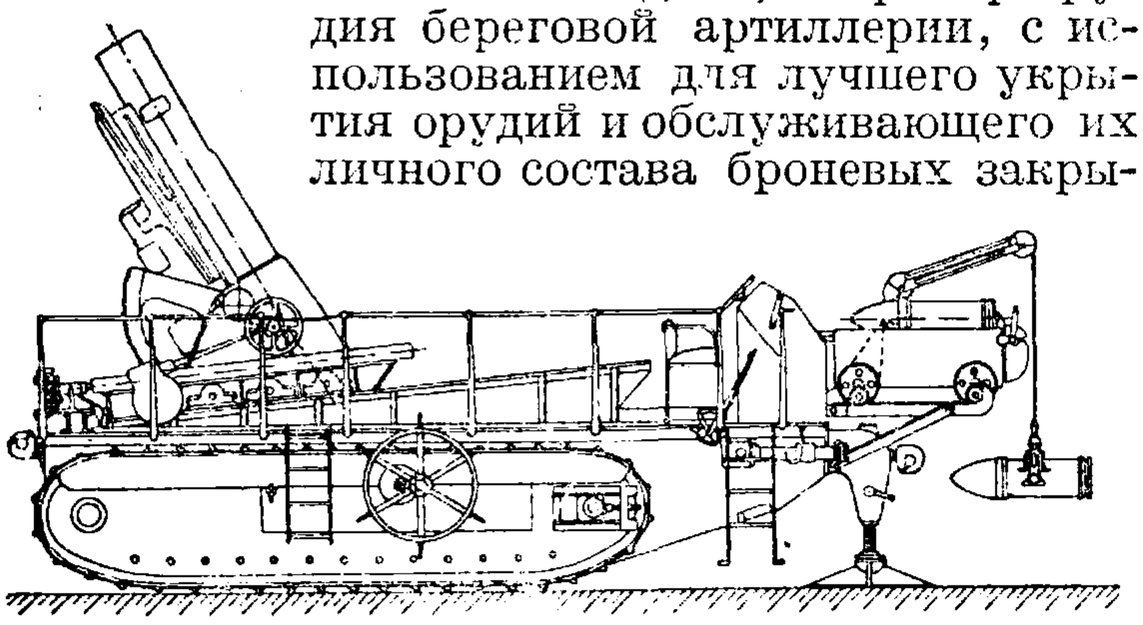
Фиг. 3.

Особенности в конструкции орудий Т. а., резко отличающей ее от полевой легкой артиллерии, в основном заключаются в следующем: 1) Разделение системы орудия для перевозки на несколько отдельных частей, вес к-рых определяется, с одной стороны, тяговой силой трактора или тягача, а, с другой,—условиями проходимости через речные преграды (мосты, понтоны и пр.). Схема походного порядка 152-*мм* пушки сист. Шнейдера дана на фиг. 1 и схема походного порядка 280-*мм* мортиры сист. Шнейдера—на фиг. 2, где *а*—представляет схему мортирной повозки, *б*—схему люлечной повозки, *в* и *г*—схемы лафетной и платформенной повозок. 2) Стандартизация артиллерийских систем путем создания единого лафета для пушек и гаубиц, близких по своей мощности. Примером такой системы могут служить новейшие америк. 155-*мм* пушка и 203-*мм* гаубица на универсальном лафете, на к-рый вместо гаубичного ствола м. б. надет 155-*мм* пушечный ствол. Для перевозки система разбирается на две части: ствол и лафет. Орудие снабжено колесами с мощными баллонными шинами для уменьшения удельного давления



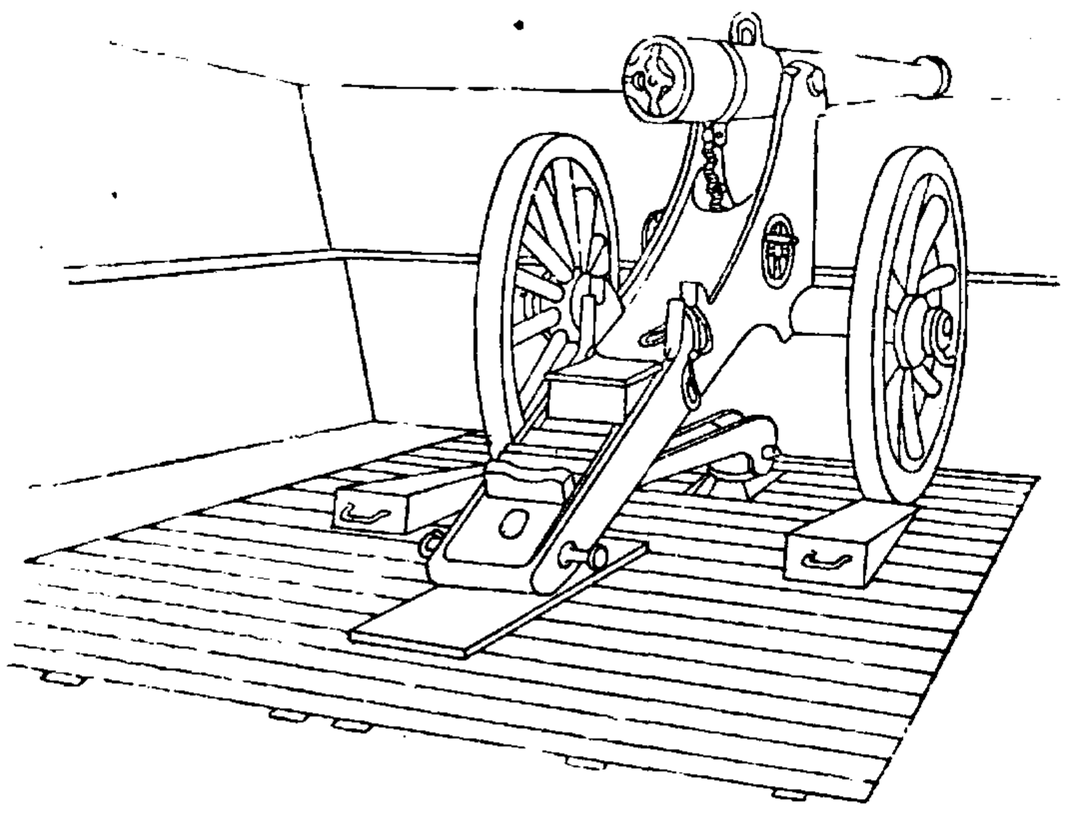
Фиг. 4.

на почву. 3) Все лафеты современных тяжелых орудий подрессорены и для увеличения горизонтального обстрела имеют раздвижные станины. 4) Применение стационарных установок в системах орудий, имеющих определенные постоянные боевые задачи, например орудия береговой артиллерии, с использованием для лучшего укрытия орудий и обслуживающего их личного состава броневых закры-



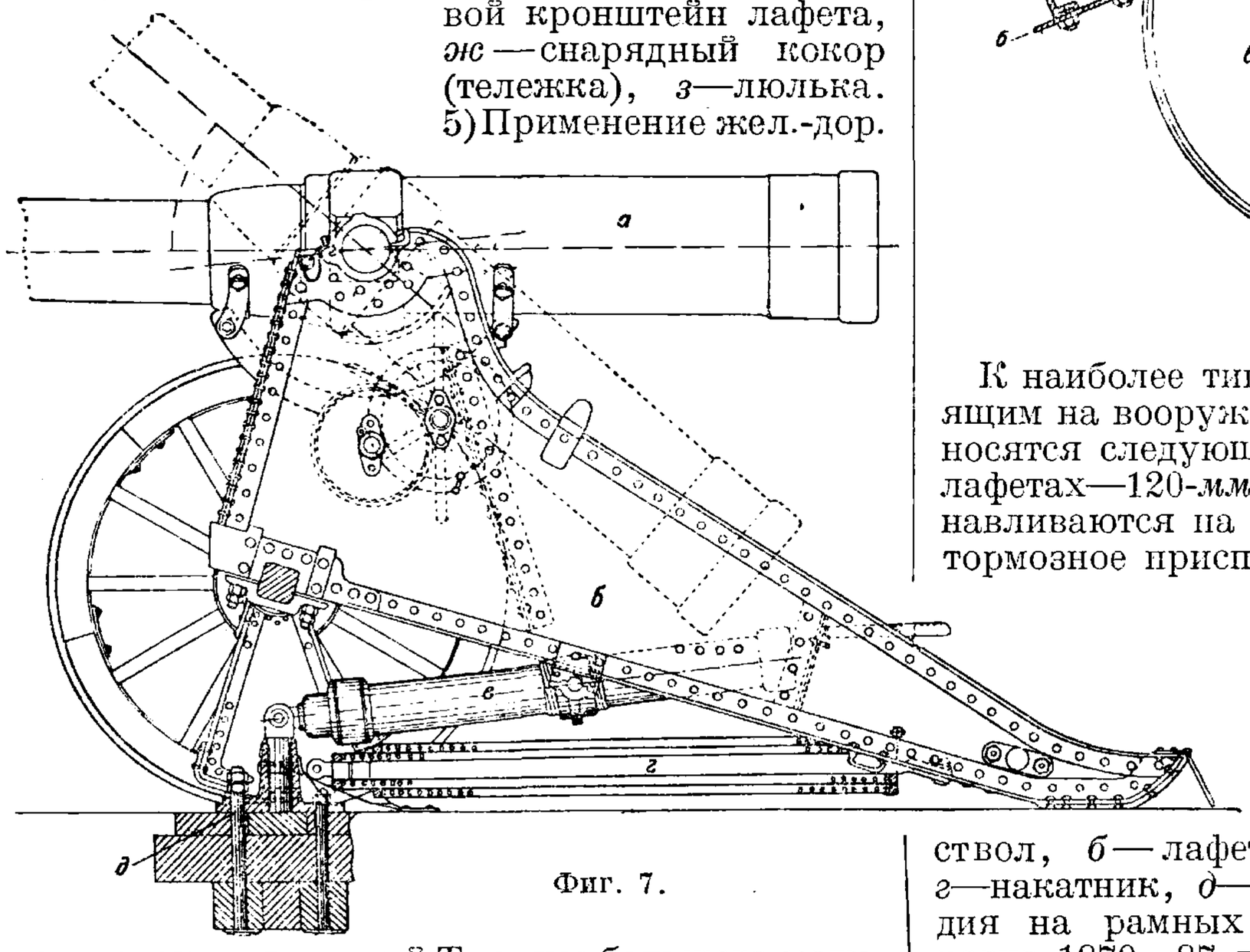
Фиг. 5.

тий, устройство скрывающих установок и пр. На фиг. 3 изображена стационарная установка



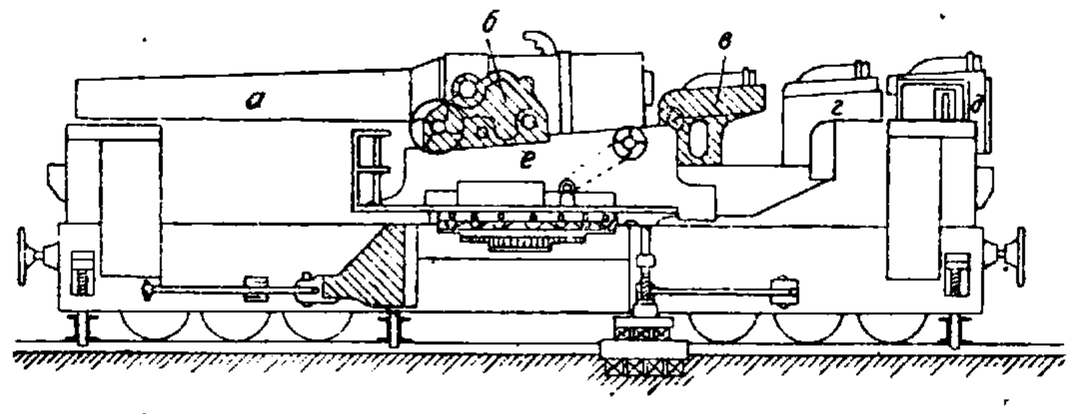
Фиг. 6.

орудия Т. а., где *а*—подъемный механизм, *б*—ствол, *в*—щит, *г*—лафет, *д*—платформа, *е*—хвостовой кронштейн лафета, *жс*—снарядный кокор (тележка), *з*—люлька. 5) Применение жел.-дор.

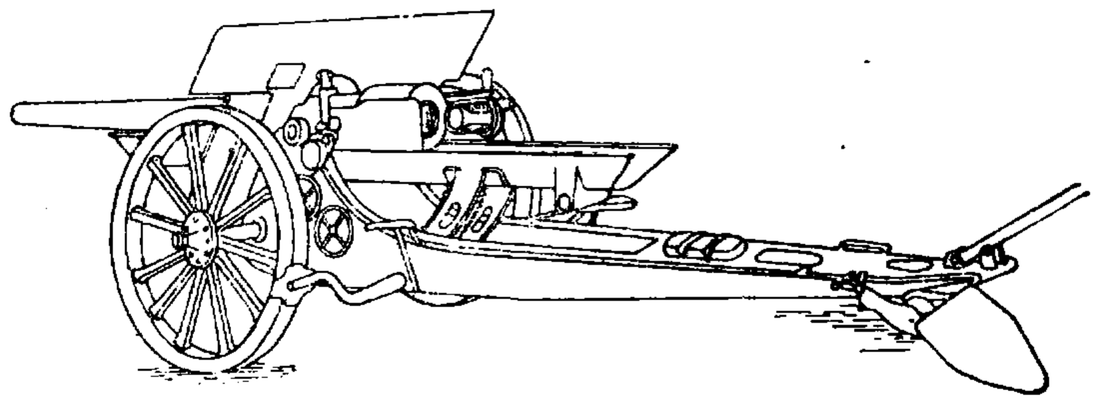


Фиг. 7.

установок для орудий Т. а. наибольшего могущества. Современные тенденции сводятся к конструированию таких установок, к-рые не требовали бы много времени для перехода из походного положения в боевое и для к-рых требовалось бы меньше работ по подготовке огневых позиций (фиг. 4). 6) Применение самоходных установок на гусеничном ходу. Эти установки имеют ряд существенных недостатков, а именно—большой вес, специальность и сложность конструкции, дороговизна изготовления, громоздкость, уязвимость жизненных частей и т. п. Тенденции при конструировании самоходных

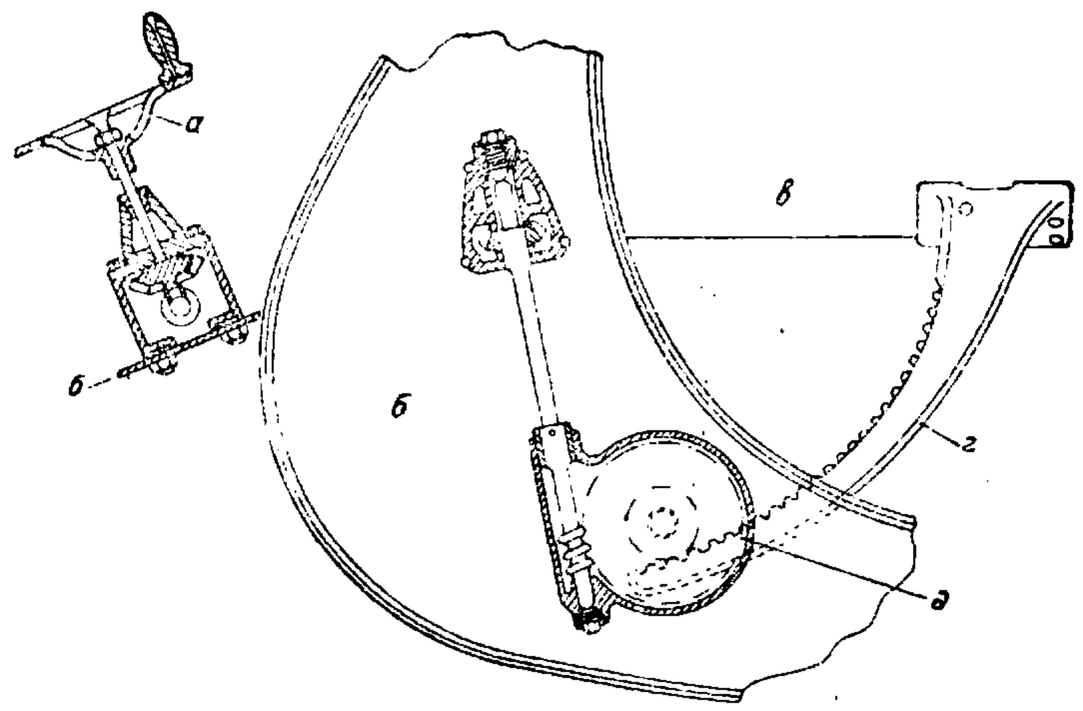


Фиг. 8.



Фиг. 9.

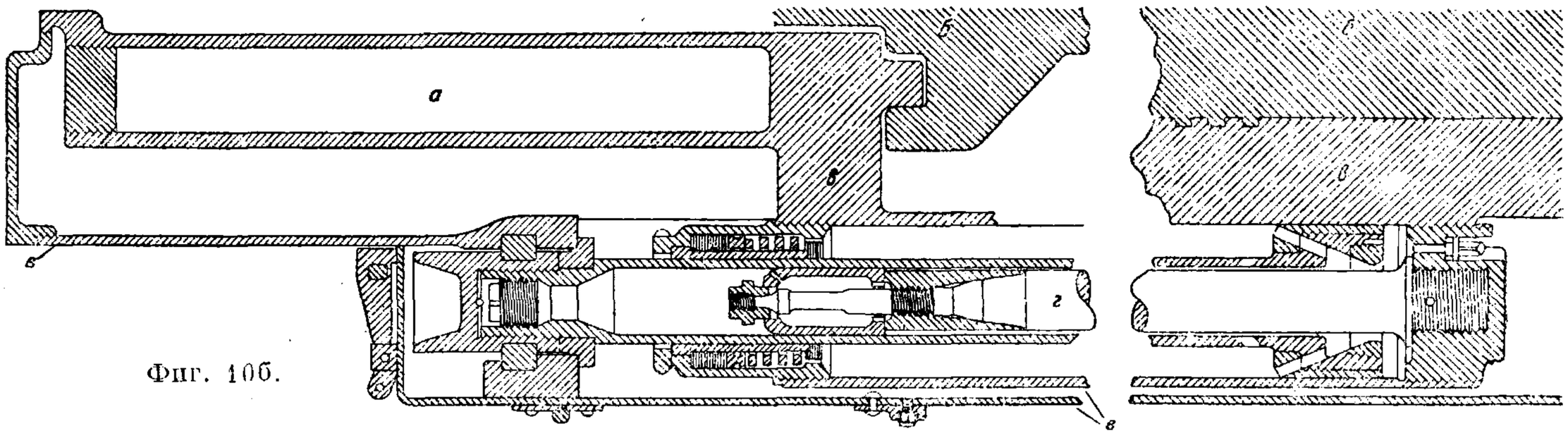
установок направлены в сторону борьбы с отрицательными свойствами этих установок. Разрабатываются установки как открытого, так и забронированного типа. Самоходные установки приобретают большое значение в связи с мото-механизацией армии (фиг. 5).



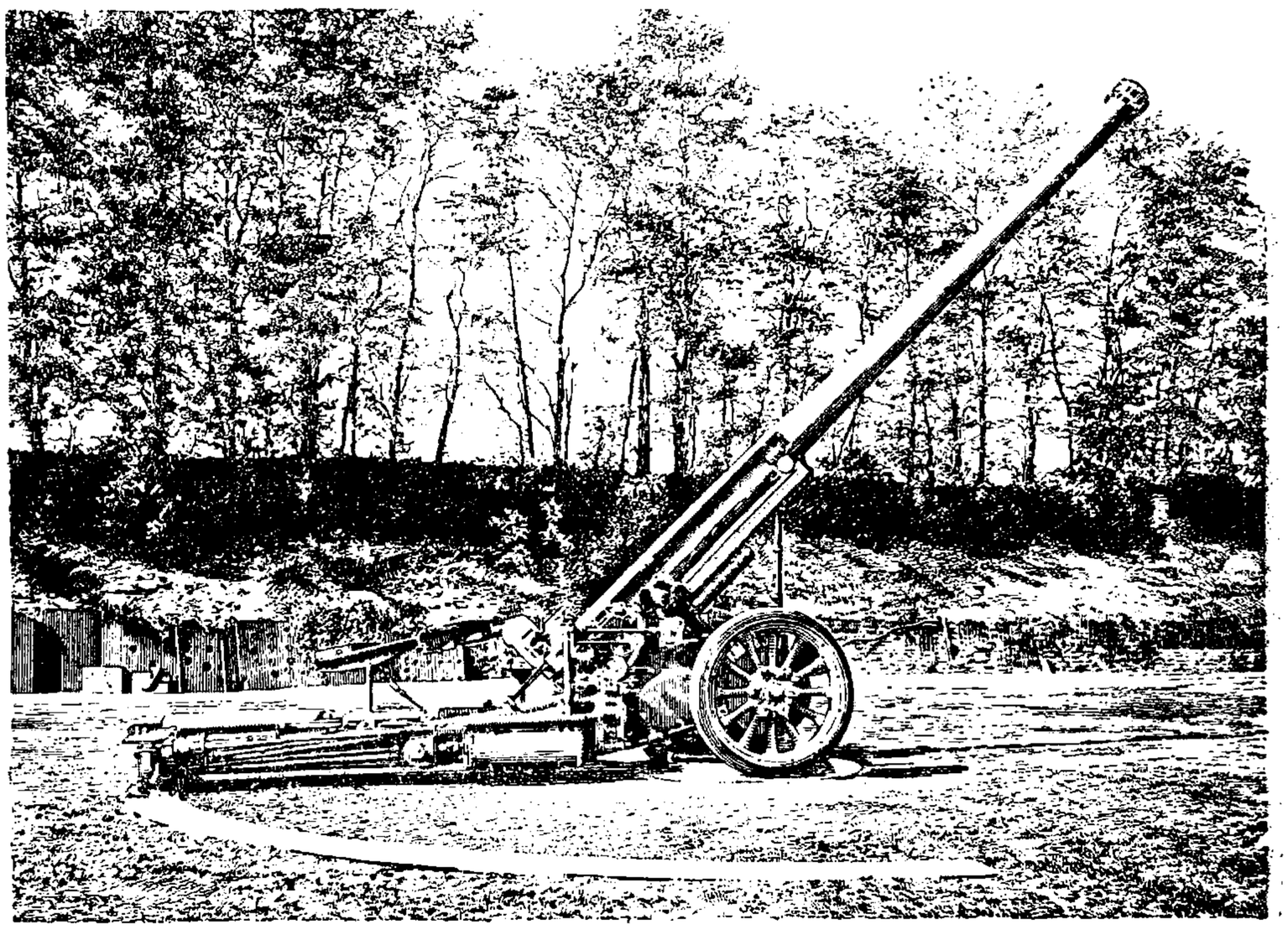
Фиг. 10а.

К наиболее типичным орудиям Т. а., состоящим на вооружении французской армии, относятся следующие. 1) Орудия на неупругих лафетах—120-*мм* пушка образца 1878 г.—устанавливаются на деревянной платформе, имеют тормозное приспособление для устранения отката системы и клинья для накатывания колес (фиг. 6). К такой же конструкции относится изображенная на фиг. 7 152-*мм* пушка образца 1904 г., находящаяся на вооружении Красной армии (*а*—ствол, *б*—лафет, *в*—цилиндр компрессора, *г*—накатник, *д*—тумба компрессора). 2) Орудия на рамных лафетах—240-*мм* пушка образца 1870—87 гг.—на ж.-д. лафете-платформе [фиг. 8, где *а*—ствол в положении для заряжания, *б*—лафет (станок), *в*—кокор, *г*—подвижный приемник, *д*—снарядный подъем-

ник, *е*—рама орудия]. 3) Орудия на лафетах с откатом ствола—105-*мм* французская полевая тяжелая пушка системы Шнейдера образца 1913 г. (фиг. 9). Детали лафета этого орудия показаны на фиг. 10а (где *а*—маховик подъемного механизма, *б*—левая станина, *в*—люлька, *г*—зубчатая дуга, *д*—винтовое колесо) и фиг. 10б (где показан продольный разрез по оси ствола, салазок и тормоза; *а*—соединительный канал воздушного резервуара и цилиндра гидравлического накатника, *б*—ствол, *в*—салазки, *г*—тормоз). На фиг. 11 изображена новая 155-*мм* пушка Шнейдера большой мощности, где салазки откатываются вместе со стволом и изготовлены на цельной стальной поковке, в которой просверлены каналы для компрессора и накатника. Люлька из листовой стали своими цапфами лежит в цапфенных гнездах станка лафета. По полозьям люльки скользят салазки. Орудие для стрельбы устанавливается на круглую платформу и предназначается как для борьбы на сухопутном фронте, так и для береговой обороны. В настоящее время французский орудийный завод Шнейдера совершенствует состоящую на вооружении французской артиллерии 520-*мм* гаубицу. Орудие поставлено на железнодорожную установку и имеет снаряд весом 1 400 *кг* с 300 *кг* взрывчатого вещества. Начальная скорость 500 *м/сек*. Дальнобойность 17,5 *км*. Вертикальный обстрел 15÷65°. Стрельба ведется с железнодорожного пути непосредственно. Переход из походного положения в боевое требует 2 часов. Вес всей системы 263 *т*. В настоящее время во французской армии ведутся опыты над следующими калибрами: 400-*мм* гаубица с дальнобойностью 20 *км*, 240-*мм* пушка с дальнобойностью 35 *км* и 380-*мм* пушка с дальнобойностью 60 *км*. Ведутся изыскания над 450-*мм* пушкой с дальнобойностью 60 *км* и 340-*мм* с дальнобойностью 65 *км*. Эти орудия будут использованы в береговой обороне.



Фиг. 10б.



Фиг. 11.

Лит.: Нилус А. и Яковлев В., Основания устройства материальной части артиллерии, ч. 2, Осадная, крепостная и береговая артиллерия, СПБ, 1911; Нилус, История артиллерии, отд. I и II, 2 изд., 1909 (литогр.); Свойства орудий и краткие указания для их применения, 1917; Альвен и Андре, Французская тяжелая артиллерия, пер. с франц., П., 1917; Рожe Ж., Артиллерия при наступлении, пер. с франц., М.—Л., 1927; Камнана Ж., Успехи артиллерийской техники, сокращ. перевод с французского, Москва—Ленинград, 1927; Римальо, Артиллерия полевых армий, перевод с французского, Москва—Ленинград, 1927; Руководство службы при 152-*мм* (6 дм.) пушке образца 1904 г., Москва, 1926; Справочник по сухопутной военной технике иностранных государств, ч. 1, Тяжелая артиллерия, Москва, 1928.

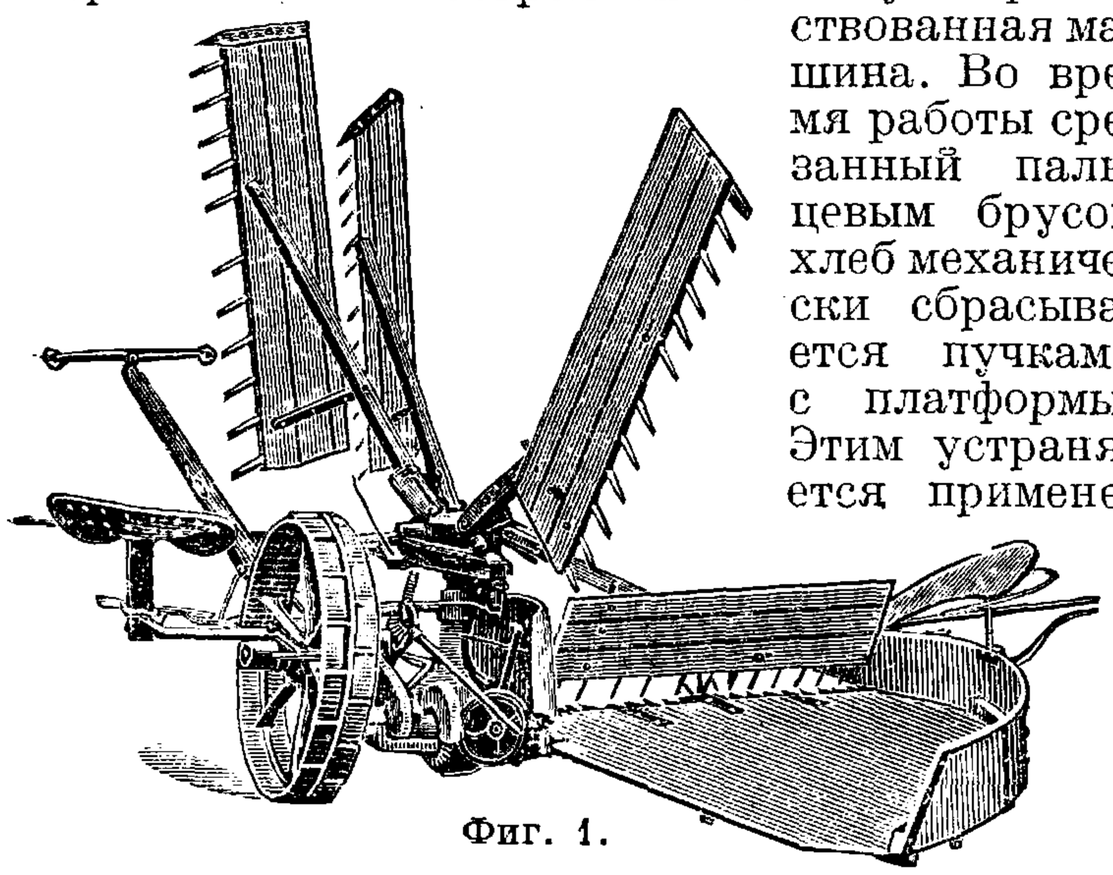
В. Грендаль.

У

УБОРОЧНЫЕ МАШИНЫ, машины, применяемые в сел. х-ве для уборки урожая. Термин У. м. обнимает собою все машины, предназначенные для уборки зерновых хлебов, корнеплодов и клубнеплодов, и машины для уборки технических культур.

У. м. для зерновых хлебов. 1. Лобогрейка—одна из самых несложных хлебоуборочных машин, требующая при своем применении значительного физич. усилия со стороны работающего на ней человека. При современном направлении широкой механизации сел. х-ва лобогрейка—машина, отживающая свой век. В недалеком будущем ее производство будет совершенно прекращено на заводах СССР. Лобогрейка до настоящего времени еще довольно широко применяется на Ю. и Ю.-В. Европейской части СССР, что отчасти объясняется ее сравнительной дешевизной и простотой конструкции. Главная же причина сравнительно широкого применения лобогрейки—недостаточная насыщенность рынка более совершенными У. м. и недостаток сноповязального шпагата. Конструктивное ее описание см. *Жатвенные машины*, жнеи.

2. Самосбрасывающая жнея (фиг. 1) в сравнении с лобогрейкой—более усовершенствованная машина. Во время работы срезанный пальцевым брусом хлеб механически сбрасывается пучками с платформы. Этим устраняется применение физич. труда при ручном сбрасывании, необходимом при работе на лобогрейке, а также отпадает необходимость во втором работнике, т. к. один человек управляет парой лошадей и следит за работой механизмов машины. Конструктивное ее описание см. *Жатвенные машины*, жнеи.



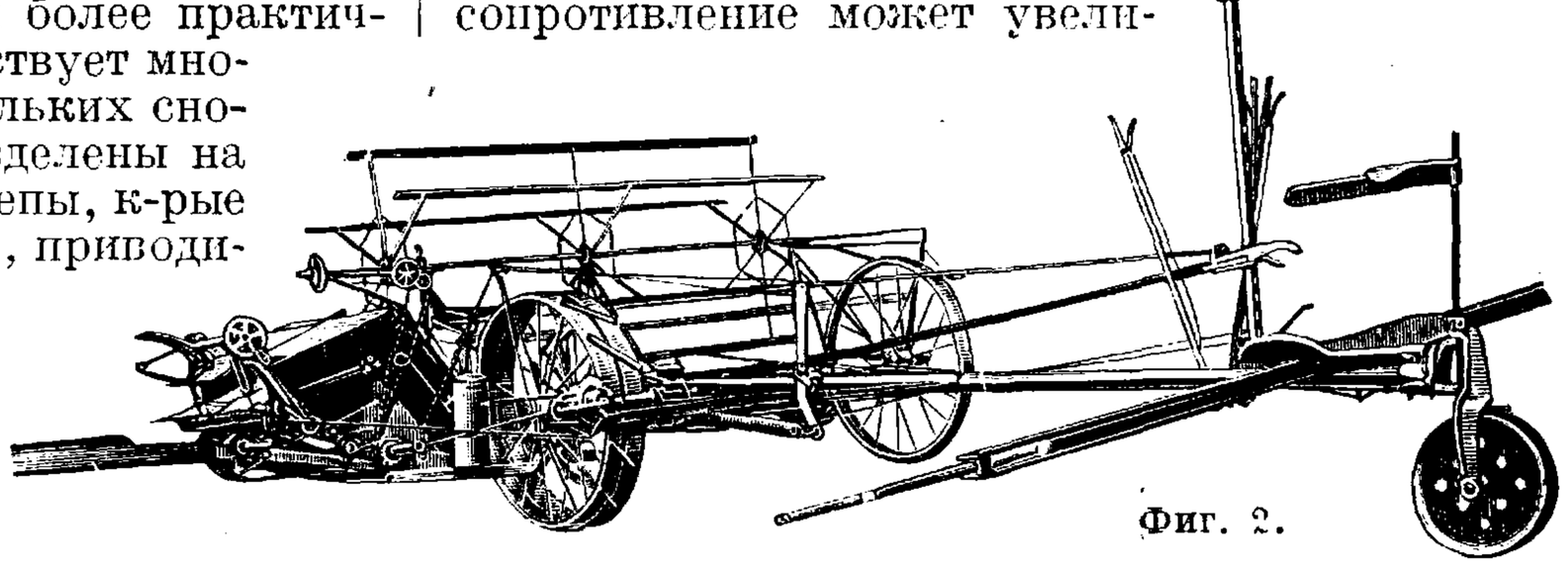
Фиг. 1.

3. Сноповязалка. Хлебная сноповязалка, как указывает само название,—У. м., к-рая срезает с корня хлеб, набирает из него снопы и автоматически перевязывает их шпагатом (бечевой). От современного типа сноповязалки требуется, чтобы она чисто убирала всякого рода зерновой хлеб (как прямо стоящий, так и полегший) и вместе с тем представляла возможность срезать его выше или ниже от поверхности почвы, а также в зависимости от рода и свойства убираемого растения образовывала б. или м. объемистые снопы. Последние д. б. достаточно туго и прочно связаны, чтобы укладка их в копны, на повозку или подача в молотилку не представляли каких-либо затруднений. Из всех с.-х. машин, имеющих широкое распространение, сноповязалка—одна из самых сложных, в особенности если принять во внимание, что ее механизмами управляет всего лишь один человек, но и вместе с тем из всех хлебоуборочных машин она более всех универсальна как в отношении рода, так и состояния убираемого хлеба. Сноповязалка м. б. применена при любом хлебостое. Если в нек-рых случаях ей иногда предпочитают косилку, даже косу и серп, то происходит это не потому, что сноповязалка отказывается или не может справиться с полегшим или спутанным хлебом, а потому, что работа в подобных условиях требует присутствия на машине лица высокой квалификации, к-рое должно уметь безошибочно и быстро пользоваться при помощи рук и ног всеми семью рычагами сноповязалки. В настоящее время существует один лишь тип т. н. элеваторной сноповязалки, который и распространен повсеместно. Хотя почти каждый з-д вносит в конструкцию сноповязалки нек-рые незначительные изменения, но в принципах и способах работы между машинами различных з-дов большой разницы нет, и все они выполняют свое назначение приблизительно одинаково. Кроме всем известной конной сноповязалки с появлением трактора все з-ды, строящие У. м., выпускают специальные тракторные прицепные сноповязалки в 2,5—3,0 *м* захвата, приводимые в движение от ходового колеса или в большинстве случаев от приводного вала трактора (fake off). Последний способ дает возможность увеличить захват машины до указанного предела, что при приведении в движение ее механизмов от ведущего колеса на нек-рых рыхлых почвах не всегда возможно благодаря недостаточному сцеплению последнего с почвой и происходящему при этом буксованию. Передача движения непосредственно от трактора имеет кроме того еще и то преимущество, что представляется возможность работать

при большой скорости трактора, что повышает производительность машины на 40—50%. Конструктивное описание сноповязалки см. *Жатвенные машины*, ж н е и.

К сноповязалке м. б. отдельно от нее приобретено значительное число приспособлений, применяемых при различных способах уборки хлеба, зависящих как от рода убираемого растения, так и от состояния, в к-ром оно находится во время уборки. Для уборки напр. короткосоломистого хлеба невязанным или при высокой его срезке м. б. применено «хедерное приспособление», представляющее собой элеватор, к-рый передает с платформы отделенного узловязателя хлеб в приспособленную для его приема повозку. Лен невязанными снопами м. б. убран кучками при помощи «флэкс-бунчера», состоящего из полукруглой решетки, прикрепляемой к платформе снятого с машины узловязателя. Срезанный лен поднимается на вязальный стол, на к-ром паковщиками образуется сноп. Когда льна в решетке набралось достаточно, ее поднимают при помощи педали на шарнире, и несвязанный сноп падает на землю. Чтобы облегчить сбор разбросанных по полю машиною связанных снопов, м. б. применен «снопонос», при помощи к-рого несколько набранных им снопов м. б. при нажатии педали сброщено на определенном месте. При первом круге сноповязалки по полю следует аккуратно сбрасывать через известный промежуток на одинаковом расстоянии по несколько снопов. При втором и последующих кругах снопы должны также сбрасываться против сбросанных при первом проходе. При таком способе пользования снопоносом все поле после уборки бывает покрыто рядами снопов, сбор которых и укладка в копны требуют значительно меньше времени. Сбрасывая снопы при первом проходе, следует обращать внимание на то, чтобы снопы не оставались на углах поля, т. к. они могут мешать при следующих проходах поворотам трактора или лошади. Для уборки спутанного или полегшего хлеба применяют добавочную делительную доску, а на концах бруса устанавливают специальные длинные пальцы, к-рые, идя впереди бруса, поднимают лежащий хлеб и направляют его к ножу, благодаря чему бывает менее срезанных колосьев, к-рые при обычном способе уборки, не попадая на полотно платформы машины, теряются в стерне. Для уборки риса в виду специфических условий его культуры и твердости стебля сноповязалки имеют более усиленную конструкцию и снабжаются колесами, спицы и обод к-рых с обеих сторон защищены прикрепленными к ним дисками. Этим устраняется возможность накопления на внутренней стороне обода сырой земли. Для надежного сцепления с почвой ведущее колесо машины (не специально тракторные приводные сноповязалки) снабжается высокими шпорами. Нож и пальцевый брус сноповязалки ничем особенным не отличаются от подсобных режущих механизмов в прочих У. м. (косилках, лобогрейках, жатках и пр.) за исключением того, что в сравнении с сенокосилкой скорость ножа возвратно-поступательного движения наполовину меньше, благодаря чему изнашивание частей режущего механизма этой сноповязалки соответственно меньше. Возможность уменьшения скорости движения ножа обусловливается тем, что хлеб растет вообще не так густо, как трава, и срезка хлебных стеблей с корня легче срезки травы. Платформа с полотном, передающим хлеб элеватору, в зависимости от состояния убираемого хлеба (высокого, низкого или спутанного и полегшего) м. б. опущена ниже или поднята выше, а также наклонена вперед или установлена горизонтально. Для этого она снабжена подъемными механизмами на ходовом и полевом колесе, а также рычагом наклона. Мотовило, от положения к-рого зависит правильность срезки стеблей и укладки их на полотно, бывает снабжено несколькими рычагами, при помощи которых все мотовило в целом м. б. вынесено вперед за пальцевый брус или установлено над ним, а также поднято выше или опущено ниже. Стебли хлеба, перенесенные элеватором с полотна на вязальный стол, собираются в сноп компрессорами и подбойкой. Первые схватывают поступающие стебли и прижимают их друг к другу, а подбойка выравнивает нижний конец снопа (торец или гузовье), на к-ром он м. б. установлен в поле для просушки. Для того чтобы шпагат перевязал сноп на требуемом месте в зависимости от длины убираемого хлеба, подбойка при помощи особого рычага устанавливается ближе или дальше от узловязателя. Конструкции узловязателя во всех сноповязалках мало чем отличаются друг от друга. Узловязатель довольно простой, но очень нежный механизм, требующий бережного обращения и точной регулировки. Будучи жизненным органом сноповязалки, узловязатель является также и главным источником неудовлетворительной работы машины. Если же процесс вязки вполне усвоен работающим на машине и применяемый для вязки шпагат соответствующего качества, то правильно отрегулированный узловязатель работает безотказно, и при случайных неполадках легко устранимы дефекты вязки. Вопрос сцепления сноповязалки с трактором очень серьезный и требует в каждом отдельном случае внимательного к себе отношения. Прицеп должен быть установлен так, чтобы трактор при работе шел колесами на расстоянии по меньшей мере 30 *см* от линии стоящего на корню хлеба и чтобы пальцевый брус сноповязалки захватывал хлеб во всю свою длину. Вообще почти невозможно добиться при тракторной тяге удовлетворительной работы сноповязалки без правильно сконструированного и правильно примененного специального тракторного прицепа. Такой прицеп не должен препятствовать платформе сноповязалки принимать тот или иной уклон, необходимый для правильной и чистой уборки хлеба, а также должен допускать повороты машины на концах поля, на которых желательно хлеб срезать по возможности под прямым углом. Если сцепление сноповязалки с трактором сравнительно длинно и тракторист недостаточно опытен и расторопен, более целесообразно иметь для управления сноповязалкой на ее сиденьи отдельное лицо. Этим самым будет уменьшен риск поломки машины и обеспечен более долгий срок ее службы. Не следует также упускать из виду, что для полной производительности машины ее пальцевый брус должен скашивать хлеб полным захватом, а при полегшем хлебе для управления рычагами наклона платформы и мотовила необходим очень опытный рабочий, сознательно относящийся к порученному ему делу. Сцепление двух сноповязалок с трактором — довольно сложная задача, и к этому способу работы следует прибегать лишь в том случае, если убираемое поле достаточно обширно и необходимо загрузить всю мощность

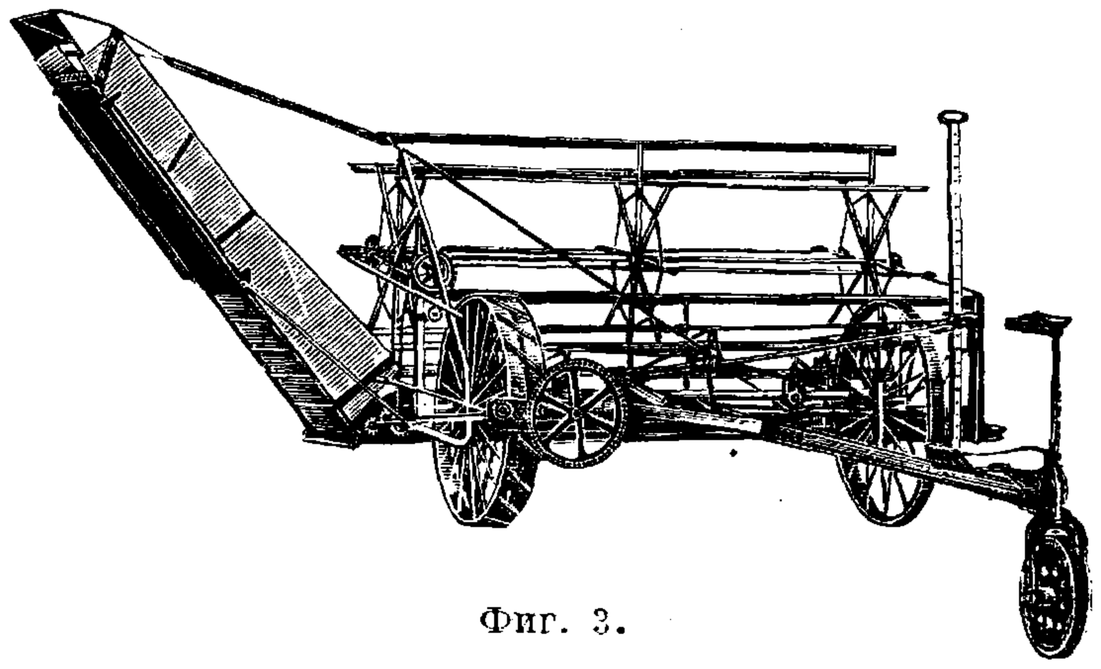
трактора. Главное затруднение при совместной работе двух сноповязалок состоит в правильном выполнении поворотов по концам загона. Работа же двух или более сноповязалок на склонах является пока задачей неразрешенной. При применении одновременно нескольких сноповязалок для управления их механизмами и использования полного захвата каждой машины более практично иметь на каждой машине по рабочему. Вообще нет расчета делать прицеп для сноповязалки домашними средствами, если его можно приобрести готовым сравнительно по недорогой цене, т. к. заводский прицеп обыкновенно бывает рассчитан более правильно и на деле оказывается более практичным. В настоящее время существует много систем прицепов для нескольких сноповязалок, к-рые м. б. подразделены на две группы, а именно: 1) прицепы, к-рые при помощи особого механизма, приводимого в движение человеком на сиденьи сноповязалки, изменяют положение последней во время работы и при поворотах, и 2) автоматич. прицепы, выполняющие то же, что и первые, без участия человека. Последний тип прицепа (Хенсмена) более сложен и требует очень точной регулировки для того, чтобы машина работала при полном захвате и при работе поворачивалась на конце загона под прямым углом.


Фиг. 2.

Производительность сноповязалки. Размер площади, с к-рой сноповязалка может за день убрать хлеб, зависит от скорости ее передвижения, состояния, в к-ром находится сжинаемый хлеб, т. е. прямо ли он стоит на корню или полег и спутан, ширины захвата, степени исправности машины, а также и навыка лица, на ней работающего. Теоретически 2-*м* (7-фт.) сноповязалка при скорости движения трактора 4 *км/ч* должна сжать в десятичасовой день 8,5 *га*. Из данных Департамента земледелия США можно усмотреть, что при работе на лошадях «средняя производительность 2-*м* машины не превышает 6,0 *га*, т. е. ~ 3,0 *га* на 1 *м* захвата машины». Скорость хода специальной тракторной сноповязалки м. б. вполне доведена до 4,8 и даже до 5,25 *км/ч*, что соответственно увеличит и производительность машины. На этом основании вполне возможно считать производительность тракторной сноповязалки равной 3,9÷4,6 *га* на 1 *м* захвата, что для 2-*м* сноповязалки составит 8,4÷9,8 *га*. 3-*м* (10-фт.) сноповязалкой по тому же расчету можно убрать 12÷14 *га* в день. Были примеры, что машины подобного захвата убирали в день и до 20 *га* овса (см. *Жатвенные машины*, табл. «Производительность уборочных машин»).

Тяговое сопротивление сноповязалки всецело зависит от рода убираемого хлеба, его урожайности, свойства его соломы, свойства почвы и состояния исправности механизмов машины. Уклоны почвы также оказывают нек-рое влияние на увеличение тягового сопротивления, т. к. вполне понятно, что гораздо труднее подниматься на гору, чем с нее спускаться. В общем можно принять, что среднее тяговое сопротивление при уборке пшеницы среднего качества 2,5-*м* сноповязалкой, механизмы которой приводятся в движение от ходового колеса, передвигающейся со скоростью 3,25 *км/ч*, на ровном месте и по почве, предоставляющей надежное сцепление колесу, будет ~320 *кг*. Род убираемого хлеба и его урожайность могут изменить приводимую цифру в пределах 290—530 *кг*. За нормальное же среднее сопротивление можно считать 134,5 *кг* на 1 *м* захвата пальцевого бруса машины. Из приведенных данных видно, что тяговое сопротивление изменяется в очень широких пределах. На 3-*м* новой машине, правильно смазанной, при вполне исправном ее состоянии, тяговое сопротивление невелико — около 295 *кг*. У подобной же машины, но бывшей несколько лет в работе, у которой подшипники разработаны и рама перекошена, тяговое сопротивление может увеличиться до 450 *кг*. В некоторых случаях, при очень тяжелых условиях работы, ухудшаемых еще слишком натянутыми полотнами, тяговое сопротивление достигает 680÷820 *кг* и может даже увеличиться до того, что ведущее колесо перестанет вращаться и будет скользить по земле (буксовать). Машина, снабженная антифрикционными подшипниками (роликовыми или шариковыми), имеет обыкновенно тяговое сопротивление на 18÷25% меньше.

4. Пуш-бейндер и пуш-хедер. Эти машины в США с введением в хозяйство тракторных сноповязалок широкого захвата и комбайнов, как и лобогрейка в наших условиях, отживают свой век и строятся в очень ограниченном количестве. Это чисто конные машины и применение их с тракторной тягой сопряжено с громоздкими длинными прицепами. Пуш-бейндер (фиг. 2), как и обыкновенная сноповязалка, сжинает и вяжет хлеб в снопы, но для устранения боковой тяги, получаемой вследствие широкого захвата пальцевого бруса, лошади в него впрягаются сзади и как бы толкают его перед собою. Пуш-хедер (фиг. 3) схож с пуш-бейндером, но отличается от него отсутствием вязального аппарата. Эта машина срезает лишь колосья с небольшой частью стебля и при помощи элеватора передает их в рядом идущую повозку, снабженную объемистым ящиком. Хедер вообще применяется для скашивания очень короткостебельного хлеба или одних колосьев, благодаря чему количество соломы, проходя-


Фиг. 3.

щей через его механизм, очень невелико. На хедере или бейндере работает обыкновенно один лишь человек, к-рый справляется с его механизмами также легко, как и с механизмами сноповязалки. Производительность бейндера выше, чем сноповязалки, вследствие большого его захвата и того, что машине этой приходится иметь дело с небольшим количеством соломы. Имеется лишь один тип пуш-бейндера. Хотя машины разных заводов и отличаются друг от друга в нек-рых деталях, но в общем конструкция их одна и та же. Нек-рые з-ды строят т. н. комбинированные пуш-бейндеры, к-рые м. б. превращены в пуш-хедеры. Подобные машины строятся с захватом 3,0÷4,3 *м* (10÷14 фт.). Самый ходовой размер пуш-бейндера 3,7 *м* (12 фт.). Хедер имеет приспособление (элеватор) для передачи срезанных колосьев непосредственно в повозку, а также и приспособление для копнения скошенного льна, но он не м. б. превращен в бейндер. Хедеры сравнительно с бейндером имеют более широкий захват; размер 4,3 *м* (14 фт.) считается наиболее употребительным.

5. Хлебоуборочная машина Ньюуэй (стоговая жатка) представляет собою совершенно особый тип У. м., работающей на новом принципе. Она состоит из хедера захватом в 3,7 *м* (12 фт.), передающего элеватором срезанный хлеб в круглый приемник ⌀ 2,13 *м* и высотою 1,83 *м*, представляющий собою металлич. каркас, обтянутый полотном. Благодаря вращению во время работы дна приемника поступающий в него с элеватора хлеб ложится колосьями к центру, а стеблями к окружности. По заполнении приемника хлебом передняя часть стенки при помощи рычага откидывается кверху, а задняя сдвигает образованный стожок с платформы на землю, где он и остается для просушки и обмолачивается затем на обыкновенной хлебной молотилке, к к-рой подвозится в цельном виде особыми стальными граблями-волокушами. Преимущества этого способа уборки по сообщению фирмы следующие: 1) сравнительно невысокая стоимость машины; 2) возможность при обслуживании ее одним рабочим без затраты на шпагат производить уборку больших площадей, складывая хлеб в плотные, хорошо сложенные стожки, непроницаемые для дождя; 3) зерно сложенного таким способом хлеба дозревает и высыхает в стожке так же удачно, как в снопах, уложенных в копны, и при обмолоте дает вполне сухое зерно, не требующее дальнейшей сушки для хранения; 4) в виду плотности и непроницаемости сложенных стожков с перевозкой их и обмолотом можно не торопиться,—зерно (даже из перезимовавших в поле стожков) вполне сохраняет свой цвет и качество; 5) при помощи грабель-волокуш цельный стожок подвозится к молотилке без потери зерна, неизбежной при других способах уборки; 6) при настоящем способе уборки часть соломы и мякина могут быть легко сохранены для кормления животных и других целей и не приходится их собирать по полю отдельно, как это имеет место при уборке хлеба комбайном.

6. Комбайн, или жнея-молотилка. Своевременная тщательная уборка хлеба в хозяйстве, в особенности когда урожай его обилен, до последнего времени считалась одной из самых трудных задач, требовавших наличия значительного количества рабочих рук и расхода мускульной силы.

Мысль о постройке производительной машины для уборки и одновременного обмолота хлеба зародилась в США около ста лет тому назад, и первый патент на подобную машину был выдан в 1836 г. В 1887 г. в Калифорнии впервые появились единичные экземпляры жаток-молотилок. Благодаря удачным результатам их работы в 1890 г. приступили к их заводскому производству, предназначая их для уборки пшеницы на атлантическом побережьи. С 1912 г. двигатель внутреннего сгорания постепенно вытесняет и заменяет паровую силу как на машине, так и для передвижения по полю. В Австралии и Аргентине, в особенности в первой, до этого времени был значительно распространен *стриппер* (см.), но уже в 1914 г. в виду того, что стриппер неудовлетворительно справлялся с полегшим и спутанным хлебом, приступили к постройке нового типа машины, у которой механизм, отрывающий колос от стебля, был заменен режущим механизмом хедера. Как комбинированный австралийский стриппер, так и жатка-молотилка - автохедер предназначены для уборки и обмолота колоса с небольшим стеблем, а потому их барабаны и веялка рассчитаны на переработку небольшого количества соломы, чем они и отличаются от современного комбайна, пропускная способность к-рого в отношении соломы больше.

Современный комбайн—не что иное, как комбинация в одной машине хедера и обыкновенной молотилки. Машина эта срезает хлеб на различной высоте, тут же его обмолачивает, б. или м. удовлетворительно очищает зерно от примесей и передает его в идущую рядом повозку или высыпает его в мешки, к-рые на ходу затем сбрасываются в поле на определенных местах. Выгодность применения этих машин в местностях, где по состоянию хлеба это возможно, состоит в быстрой и своевременной уборке и одновременном обмолоте зерна при минимальной затрате на это рабочей силы, в уменьшении потери зерна как от осыпания, так и при самой уборке, а также в отсутствии затрат на приобретение шпагата для вязки снопов. В виду того что при одном проходе комбайна по полю получается вполне готовое зерно, отпадают все работы по вязке снопов, по сбору их после сноповязалки, по укладке в копны, перевозке к месту молотьбы и по подаче их в барабан молотилки. Благодаря быстрой уборке урожая имеется возможность вслед за проходом комбайна начать осеннюю вспашку. Рано вспаханное поле дает более высокие урожаи, чем вспаханное поздно или же когда за недостатком времени вспашка откладывается до весны. После прохода комбайна обыкновенно вся вымолоченная солома бывает разбросана по полю. Запаханная в сырую почву солома быстро разлагается и механически улучшает ее строение, что также отражается благоприятно на последующем урожае. Указанные преимущества уборки так заманчивы, что применение комбайнов в США шло быстрыми шагами, и почти нет штата, где бы они не применялись. В СССР построены гиганты-заводы для производства комбайнов. Комбайны предназначены гл. обр. для местностей с сухим климатом, в к-рых зерно вызревает равномерно на корню и имеется возможность убирать его сухим и годным для хранения. В местностях с более сырым климатом и на хлебах, в к-рых много сорных трав, вопрос о применении комбайна остается пока нерешенным. Стремление ввести тем или иным способом комбайн в местностях, в к-рых он по климатич. условиям казалось не должен бы давать удовлетворительных результатов, м. б. объяснено повидимому тем экономич. эффектом в отношении удешевления и ускорения уборки, к-рый дает комбайн в странах с более засушливым климатом. Уборка хлеба в более сырых местностях, производимая старым способом—сноповязалкой с обмолотом его затем молотилкой, не может удовлетворить наше крупное социалистич. с. х-во, а потому приходится изыскивать способы уборки урожая, используя машины, имеющиеся в соц. секторе с. х-ва. Главное препятствие к применению комбайна в местностях с более сырым климатом—обилие сорняков в хлебе, повышающих % влаги в зерне

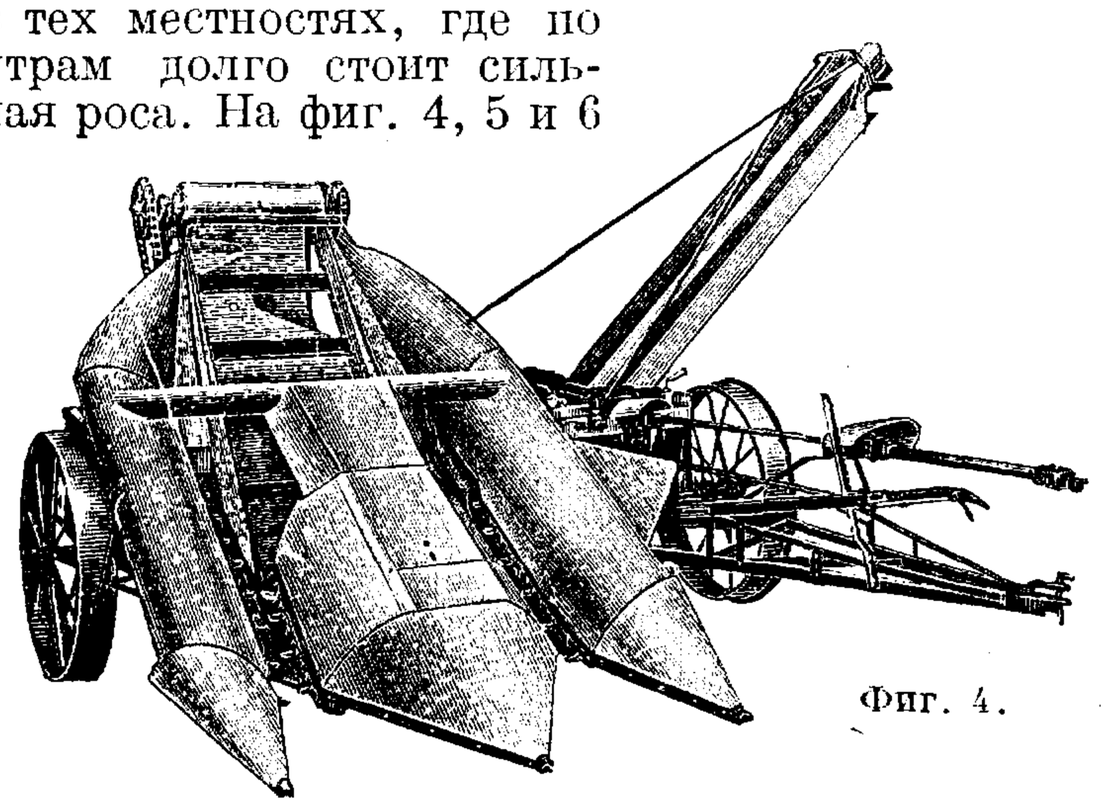
после обмолота, и недостаточно сухое зерно во время уборки. Чтобы иметь возможность применять комбайн в сырых местностях и устранить указанные выше недочеты его работы, в последнее время стали применять раздельный способ уборки, при к-ром сначала при помощи хедера, отнятого от молотилки, или специального виндроуера хлеб скашивают и укладывают в рыхлые валы, в которых он некоторое время остается на поле для просушки, после чего особым подборщиком, прикрепленным к пальцевому брусу машины или непосредственно к молотилке, хлеб передается на ходу в ее барабан. При укладке хлеба в валы, последние не прикасаются к земле, поддерживаются стерней на весу, благодаря чему воздух свободно циркулирует как под валом, так и внутри его, что обеспечивает быструю и равномерную сушку зерна и находящихся в хлебе сорняков. При применении способа раздельной уборки хедер или виндроуер м. б. пущен в работу одновременно с выходом в поле сноповязалок. Виндроуер по конструкции напоминает обыкновенный хедер. Механизм машины весьма несложен и состоит из платформы с полотном или полотнами, пальцевого бруса и мотовила. Нормальный захват виндроуера 3,7÷4,9 *м* (12÷16 фт.). Некоторые виндроуеры снабжены одним полотном, к-рое сносит в бок срезанные стебли и укладывает их в один вал. Другие виндроуеры снабжены двумя полотнами с просветом между ними в 90 *см*. Полотна движутся в противоположные стороны и сносят хлеб к отверстиям в платформе, через к-рые он проходит и укладывается валом на срезанной стерне. Последняя д.б. срезана на $^1/_3$ общей высоты стебля, что обеспечивает поддержку вала на требуемом расстоянии от поверхности почвы для правильной циркуляции под ним воздуха. Подборщик в большинстве случаев состоит из планкового элеватора с зубьями, поднимающими вал хлеба и передающими его на полотно платформы, к-рое в свою очередь направляет его в барабан молотилки. Может казаться на первый взгляд, что применение виндроуера, а затем отдельно от него и подборщика, сведет всю выгоду от применения комбайна к нулю. Но это не совсем правильно, т. к., с одной стороны, виндроуер срезает обыкновенно более широкую полосу хлеба, чем комбайн обычного размера, и благодаря несложности своих механизмов может скашивать хлеб при большей скорости передвижения, с другой,—молотьба с подборщиком производится быстрее, чем при прямой уборке, т. к. в барабан попадает хлеб, скошенный с более широкой полосы, и благодаря сухости хлеба и находящихся в нем высохших сорняков молотьба происходит с меньшей затратой работы мотора, вымолот зерна чище, меньше его потери и оно суше.

К невыгодной стороне этого способа следует отнести то, что хотя каждая из двух операций в отдельности выполняется быстрее, чем прямая уборка комбайном, в сумме — затраты на них времени и мощности трактора больше.

Комбайнов—два типа. Первый из них снабжен отдельным мотором, к-рый приводит в движение все отдельные механизмы машины, а трактор лишь служит для перемещения комбайна по полю. Второй тип (небольшого захвата) не имеет отдельного мотора, и механизмы его приводятся в движение от приводного вала трактора, к-рый одновременно служит для его перемещения по полю. Оба типа машин в свою очередь могут быть подразделены на два класса, а именно: на машины для ровных местностей (прери-комбайн) и машины для холмистых местностей (хилсайд-комбайн). Первые машины имеют ось у молотилки, к-рая не изменяет своего положения, а потому они могут работать только по совершенно ровной местности. Вторые—снабжены приспособлением, к-рым молотилка на склонах удерживается в горизонтальном положении, в то время как платформа приноравливается к склону. Размер комбайнов определяют по ширине пальцевого бруса, к-рый бывает 2,44÷7,82 *м*. В настоящее время довольно широко распространены сравнительно небольшие комбайны для ровных местностей с захватом 3,7÷4,9 *м*. Ширина барабана молотилки в зависимости от ширины захвата пальцевого бруса колеблется в пределах 0,5÷0,9 *м*. Задняя часть корпуса этих молотилок, в к-рой помещаются механизмы, выделяющие зерно из соломы, и веялка, немного шире, а именно от 0,9 до 1,4 *м*.

Комбайн (см.) представляет собой соединение двух отдельных машин в одно целое. Часть машины, срезающая хлеб с корня, есть не что иное, как обыкновенный хедер, соединенный под прямым углом с молотилкой. Бесконечное полотно платформы хедера переносит срезанный хлеб непосредственно на транспортер барабана молотилки (если по конструкции молотилки барабан расположен довольно низко) или же применяется еще и наклонный транспортер, как в сноповязалке. В виду того что в молотилке комбайна обмолачивается обыкновенно малосоломистый хлеб и поступает его сравнительно мало, механизмы его для обмолота и очистки зерна более простого устройства, хотя те же, что и в обыкновенной хлебной молотилке. Число рабочих для обслуживания машины зависит гл. обр. от ее размера. Для небольшого комбайна с захватом в 2,5÷3,7 *м*, непосредственно сцепленного с трактором, достаточно двух рабочих (не считая тракториста): один из них наблюдает за работой хедера и управляет наклоном платформы и мотовила, другой же занят насыпкой зерна в мешки и их завязыванием. Мешки по мере их завязывания на ходу спускаются на землю. Если зерно от комбайна принимается насыпью при посредстве особого винтового конвейера в ящик повозки, идущей рядом с машиной, то второй человек уже лишний. Повозка, принимающая зерно, м. б. временно сцеплена особым прицепом с машиной и передвигаться по полю рядом с нею за счет мощности того же трактора. Подобное сцепление не мешает поворотам и быстрой замене нагруженной повозки порожней. Более крупные машины, снабженные приспособлением для выравнивания корпуса молотилки при работе на склонах, требуют для своего обслуживания большего числа рабочих: один, ответственный за работу всей машины, бывает занят исключительно смазкой и наблюдением за всеми механизмами. Второй—управляет рычагами наклона платформы, хедера и его мотовила. Если этот рабочий довольно опытен, то ему м. б. одновременно поручено и управление механизмом для выравнивания горизонтального положения молотилки. За горизонтальностью корпуса молотилки необходимо очень внимательно следить, т. к. в противном случае она не будет в состоянии правильно выполнять свое назначение. На больших комбайнах для насыпки и завязки или зашивки мешков необхо-

димо двое рабочих. Уборка пшеницы, которая представляет в нек-рых случаях затруднение, требует для чистого своего вымолота увеличения числа оборотов мотора молотилки и уменьшения скорости хода трактора. Тот же прием необходим для удовлетворительного вымолота в тех местностях, где по утрам долго стоит сильная роса. На фиг. 4, 5 и 6

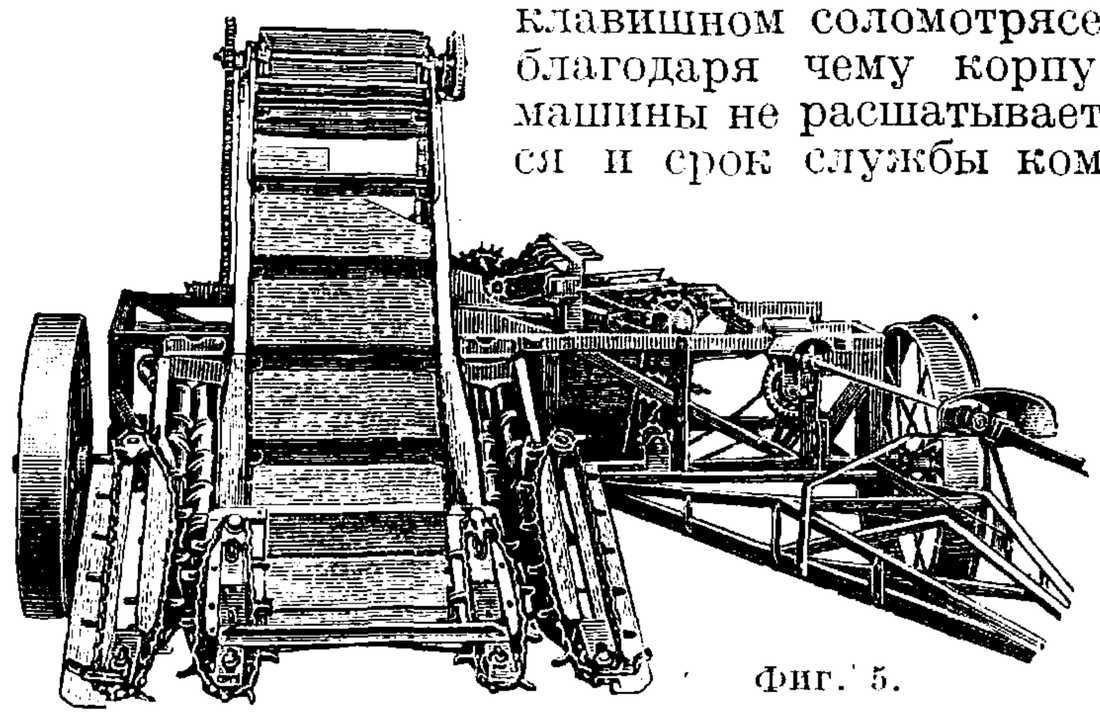


Фиг. 4.

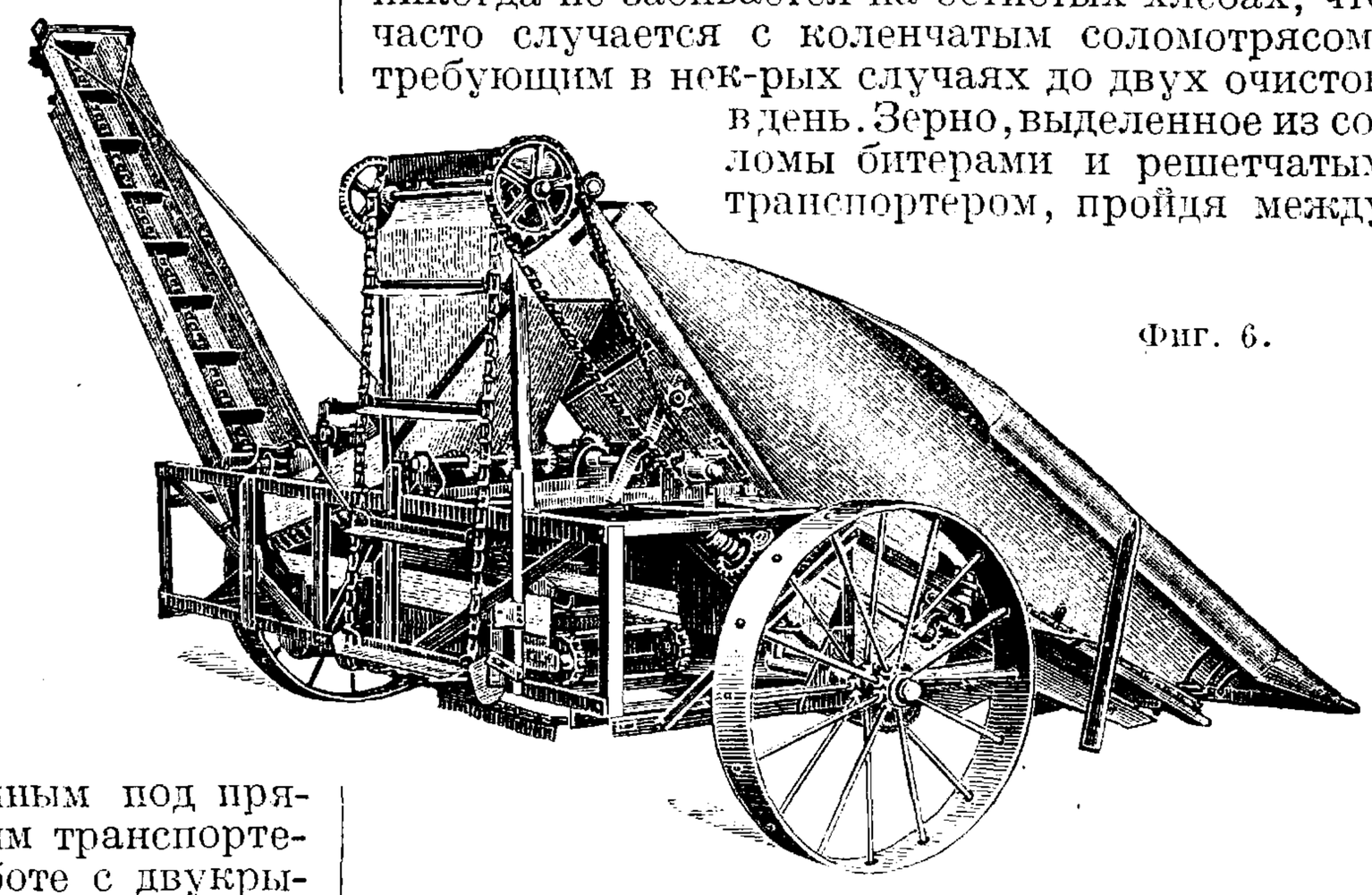
дан комбайн сист. Нью-Идеа (общий вид и расположение механизмов машины). Для более ясного представления о процессе работы комбайна и значения его механизмов в отдельности приводится краткое описание и разрез комбайна «Коммунар» ЖМ-4,6 з-да «Коммунар» в г. Запорожье.

На фиг. 7 дан разрез комбайна, где *1*—элеватор для очищенного зерна, *2*—вентилятор II очистки, *3*—зерновой шнек II очистки, *4*—скатная доска, *5*—распределительный шнек II очистки, *6*—битер, *7*—транспортер вороха, *8*—доска соломотранспортера, *9*—битер, *10*—соломоперетряхиватель, *11*—битер, *12*—соломотранспортер, *13*—сито грохота I очистки, *14*—скатная доска, *15*—колосовой шнек, *16*—барабан, *17*—самоподаватель барабана, *18*—подбарабанье. Настоящий комбайн с захватом пальцевого бруса в 4,6 *м*, построенный по установившемуся в США типу комбайнов, состоит из хедера и молотилки, снабженной двойной очисткой зерна и сортировальным цилиндром для отсева семян сорняков. При перемещении по полю комбайна стебли хлеба, срезаемые пальцевым брусом хедера, наклоняются шестикрылым мотовилом и укладываются на полотно платформы, к-рое непрерывной лентой переносит их к приемной камере молотилки. Чтобы обеспечить правильный подъем хлеба по наклонной части полотна хедера, как и у сноповязалки, имеется второе короткое бесконечное полотно, благодаря которому устраняется возможность обратного скатывания стеблей и разноса их ветром. В приемной камере молотилки стебли подхватываются помещенным под прямым углом к полотну планковым транспортером, к-рый при совместной работе с двукрылым битером направляет их в барабан, снабженный 85 зубьями. Вымолот зерна производится барабаном, вращающимся со скоростью 1 000 об/м., при помощи деки из трех секций, снабженных 44 зубьями (1-я и 3-я секции с зубьями, средняя, глухая, без зубьев), после чего вся обмолоченная масса выбрасывается на наклонно установленный перед барабаном транспортер-элеватор. Последний состоит из бесконечного полотна, на которое на ребро нашиты тонкие планки, между которыми размещаются зерно и мелкие примеси, а солома как более крупная, не могущая поместиться между планками, удерживается на них сверху. Дойдя до верхнего валика транспортера-элеватора, солома подхватывается быстро вращающимися битерами и перебрасывается на решетчатый планковый транспортер, к-рый и выносит ее из корпуса молотилки. При переходе соломы с битеров на транспортер она встречается со струей воздуха малого вентилятора, помещенного под битерами, что способствует окончательному выделению из нее зерна.

Применение транспортерной решетки вместо клавишного соломотряса, как это имеет место во многих других комбайнах, упрощает конструкцию машины: нет необходимости в установке коленчатых валов, подшипников на каждом колене и т. п. Такое упрощение, с одной стороны, удешевляет производство, а, с другой,—уменьшает стоимость ремонта и облегчает обслуживание. Транспортерная решетка не производит тех толчков, к-рые получаются при клавишном соломотрясе, благодаря чему корпус машины не расшатывается и срок службы комбайна увеличивается. Одним же из главных преимуществ транспортерной решетки перед клавишным соломотрясом является то, что она никогда не забивается на остистых хлебах, что часто случается с коленчатым соломотрясом, требующим в нек-рых случаях до двух очисток в день. Зерно, выделенное из соломы битерами и решетчатым транспортером, пройдя между



Фиг. 5.

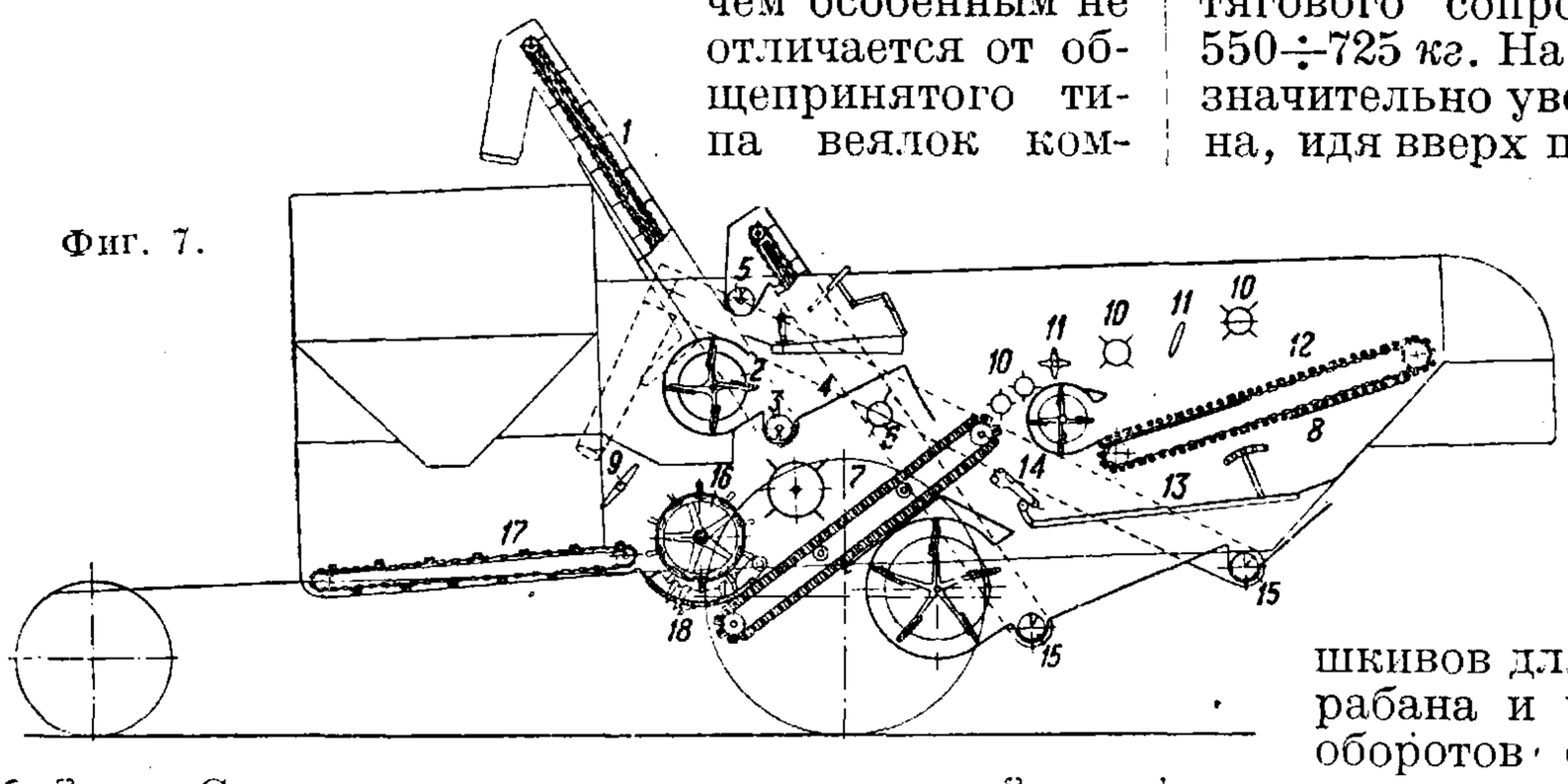


Фиг. 6.

его планок, собирается на щите-скате, помещенном под ним, с которого он счищается нижней стороной решетки транспортера на решето первой веялки. Зерно с мякиной, поднятое между планками наклонного полотна перед барабаном, при обходе верхнего валика пересыпается в ковш веялки и переходит на ее решето, где

очищается от примесей одновременно с зерном, поступающим с наклонного щита-ската. Б. или м. чистое зерно по дну ковша веялки захватывается зерновым шнеком и передается зерноэлеватором во вторую веялку, помещенную над барабаном молотилки. Первая веялка ничем особенным не отличается от общепринятого типа веялок комбайнов. С решета веялки недомолоченный колос сбегает через ряд прутьев, установленных на конце решета, в шнек колосового элеватора, который переносит его в приемную камеру молотилки для домолота. На второй веялке зерно, распределяемое особым шнеком по ситу, окончательно очищается и передается нижним шнеком в сортировальный цилиндр, в котором отсеиваются все мелкие семена сорняков. Как и остальные комбайны, «Коммунар» снабжен зерновым баком-бункером, к-рый по наполнении периодически выгружается при помощи трубы с помещенным в ней шнеком в ящик грузовика. Весь комбайн построен из стали и железа, а все быстро вращающиеся валы снабжены шариковыми подшипниками, что придает машине особую легкость в работе. Для перевозки комбайна от него отнимается хедер, который помещается на транспортной тележке вдоль молотилки. Комбайн в нормальных условиях работы легко передвигается по полю трактором. Для уменьшения числа оборотов барабана, что бывает необходимо при обмолоте нек-рых хлебов, на валу барабана устанавливается шкив большого диаметра и, чтобы не уменьшить числа оборотов прочих механизмов молотилки, нормальные зубчатки заменяются особыми, помеченными маркой «С». Смазка всего комбайна производится под давлением густою мазью при помощи шприца.

Фиг. 7.



Производительность комбайна. Ниже приводится таблица производительности комбайна, при составлении к-рой скинуто 5% времени на повороты, но не принято в расчет потребное время на остановки для смазки и выгрузку зерна из бункера. При ходе 3 *км/ч* м. б. убрано 0,28 *га* на 1 *м* захвата; при 3,75 *км/ч* 0,37 *га*; при 4,5 *км/ч* 0,42 *га*. На склонах работа комбайнов должна производиться более медленно, благодаря чему производительность соответственно понижается.

Потребная мощность трактора для работы с комбайном. Ответить на вопрос, какой мощности д. б. трактор для работы с комбайном, довольно трудно, т. к. очень много условий, к-рые в значительной степени изменяют тяговое сопротивление комбайна, как например вес комбайна, род и условия почвы, имеются ли или нет склоны, прямо стоящий или полегший хлеб, имеется ли в хлебе много сорняков и пр. Единственно, что можно рекомендовать—это иметь трактор с большим запасом мощности для преодоления могущих встретиться неблагоприятных условий работы. В обычных условиях работы—на ровной местности с твердым грунтом, при не особо густом хлебе—комбайн с небольшим захватом имеет 410÷550 *кг* тягового сопротивления; на песчаной почве 550÷725 *кг*. На склонах тяговое сопротивление значительно увеличивается, и 6-*м* (20-фт.) машина, идя вверх по склону на слабом грунте, требует тяговой мощности трактора 1275÷1600 *кг*. Почва, ее состояние и склоны поля—самые главные факторы, влияющие на тяговое сопротивление комбайна. Для уборки специальных хлебов, как например гороха, бобов (сои), клевера и пр., комбайн должен быть снабжен набором соответствующих шкивов для изменения числа оборотов барабана и удержания нормального числа оборотов его остальных механизмов, а также и специальными решетками, ситами и прочими приспособлениями.

Производительность комбайна.

Ширина захвата пальцевого бруса, *м*	Производительность, *га/ч*	Ширина захвата пальцевого бруса, *м*	Производительность, *га/ч*
2,5	0,73 0,96 1,10	5,5	1,65 2,18 2,48
3,0	0,92 1,21 1,38	6,1	1,83 2,42 2,76
3,7	1,10 1,45 1,66	6,7	2,16 2,66 3,04
4,3	1,28 1,69 1,93	7,3	2,20 2,90 3,31
4,9	1,16 1,93 2,21	9,1	2,75 3,62 4,14

Кукурузоуборочные машины. Способы уборки кукурузы и соответственно с ними выбор машин зависят от цели, к-рую преследуют при выращивании этого растения, т. е. для получения или зерна или силосного материала. Уборку кукурузы на зерно в настоящее время производят двумя совершенно различными способами. Предпочтение, даваемое тому или другому из них, зависит от того, используются ли в хозяйстве в качестве кормового материала стебли и оболочки с початком или же преследуется лишь цель получения початков, а стебли, не использующиеся в хозяйстве, остаются неубранными в поле. Первый способ уборки—более дорогой и требует большего числа рабочих рук, т. к. для получения готовых очищенных початков необходимо выполнить несколько отдельных операций, а именно: 1) срезать с корня и связать кукурузу машиной, 2) установить срезанную кукурузу на поле в бабки для просушки, 3) нагрузить высушенные снопы и перевезти их к месту обработки, 4) пропустить снопы через хескер-шреддер для отделения и очистки початков, а также и измельчения стеблей. При втором способе ограничиваются одним проходом особой машины пиккера, или початкосрывателя, по полю и отвозу полученных початков к месту их хранения. Последний способ по сравнительной дешевизне уборки и бы-

строте, с к-рой она выполняется, очень замапчив, но при нем теряется вся зеленая масса, могущая быть использованной на корм, который по америк. исследованиям равноценен зерну, снятому с той же площади. Для уборки с корня всего растения кукурузы с початками в большинстве случаев применяют кукурузные сноповязалки и менее часто (на небольших площадях) кукурузорезки. Благодаря простой конструкции последних их часто строят домашними средствами, т. к. они представляют собой лишь приспособление, заменяющее и облегчающее срезку кукурузных стеблей ножом вручную.

1. Кукурузная сноповязалка, называемая также и рядовой сноповязалкой, предназначена срезать с корня стебли растущей кукурузы и одновременно связывать их в снопы. Машина эта срезает при проходе лишь один ряд стеблей, выполняя это довольно удовлетворительно как на ровной или покатой местности, так и на низкой или высокой кукурузе. Полегшая или спутанная кукуруза убирается вообще довольно трудно, но эта машина все же справляется относительно удачно и с этой задачей. Кукурузная сноповязалка напоминает хлебную тем, что так же, как и последняя, имеет режущий механизм, элеватор и вязальный аппарат; для вязки снопов применяют шпагат. Все кукурузные сноповязалки—однорядные машины и существует их пока лишь два типа: конная, у к-рой все механизмы приводятся в действие от ходового колеса, и тракторная, приводимая в действие от дополнительного вала трактора, а ходовое колесо служит только для перекатывания машины. К кукурузным сноповязалкам м. б. приобретены отдельные приспособления для передачи связанных снопов на повозку. Также имеются приспособления для копнения снопов, но они пока не оказались достаточно практичными и экономически выгодными, а потому редко применяются. Кукурузная сноповязалка, как и хлебная, имеет раму, поддерживаемую с одной стороны ходовым колесом, а с другой—полевым, снабженными механизмом для поднятия рамы на большую или меньшую высоту над поверхностью почвы. Режущий механизм машины состоит из двух неподвижных ножей, помещенных по сторонам направляющих щитов, и одного подвижного ножа, срезающего стебли кукурузы при возвратно-поступательном движении. Последний представляет собой треугольный стальной сегмент с серповой насечкой, скользящий по неподвижным ножам, заменяющим в этой конструкции пальцы с пластинками хлебной сноповязалки. Щиты, направляющие и захватывающие стебли, установлены с наклоном приблизительно в 45° и вынесены несколько вперед от рамы машины. Для подъема полегших и спутанных стеблей и подвода их к ножам щиты снабжены приспособлением, при помощи к-рого их концы м. б. ближе подведены к поверхности почвы или от нее удалены. Захват и подвод стеблей кукурузы к ножу, а затем к вяжущему аппарату производятся при помощи бесконечных цепей с зацепами, вращающимися на звездчатках, установленных на направляющих щитах. Таких цепей на сноповязалках 6, а именно: две, расположенные во всю длину щитов, захватывают стебли на середине их высоты и проводят их между направляющими щитами; две другие, более короткие, помещены на коротких щитках, расположенных в конце над направляющими щитами, и служат для направления и подвода верхней части стеблей к вязальному аппарату. Пятая и шестая цепи расположены друг над другом, под направляющими щитами, они способствуют сдвиганию по наклонной плоскости подбойки концов срезанных стеблей. Натяжка цепей с зацепами производится смещением звездчаток в прорезах, в к-рых закреплены их кронштейны. Вяжущий механизм кукурузной сноповязалки не отличается от такого же механизма хлебной за исключением того, что он более солидно построен и установлен в ином положении. В нек-рых машинах он устанавливается для вязки снопа в вертикальном положении, в других—в горизонтальном или с небольшим наклоном. Так же, как в хлебной сноповязалке, в вяжущем механизме имеются паковщики для образования снопа, приспособление для изменения его объема и выбрасывания. Все сноповязалки снабжаются снопоносом, который состоит из стальных прутьев или транспортера. В виду тяжести снопов эти приспособления довольно прочно построены. Снопонагрузчик считается приспособлением, к-рое уменьшает в значительной степени ручной труд накладки снопов на повозку, идущую во время работы рядом с машиной. Подъем кукурузных снопов с поля и укладка их на повозку в виду их большой длины и веса представляют вообще нек-рое затруднение при уборке кукурузы и значительно увеличивают число занятых ею рабочих. В особенности удачно применение снопонагрузчика при уборке кукурузы на силосование, когда кукурузу следует сейчас же после срезки отвозить для измельчения в силос. При уборке кукурузы на зерно, в особенности когда она еще сыра, связанные снопы устанавливают в поле в бабки для просушки, и потому в этих случаях снопонагрузчик не применяют. Сцепление кукурузной сноповязалки с трактором довольно просто. Следует лишь обратить внимание на то, чтобы сцепление не препятствовало поворотам, к-рые вообще на этой машине довольно затруднительны.

Производительность кукурузной сноповязалки—величина, зависящая гл. обр. от той скорости, с к-рой передвигается машина по полю. При скорости трактора 3,6 *км/ч* машина может срезать 2 *га* кукурузы в день; это максимально, что при подобной скорости и расстоянии междурядий в 1 *м* можно от нее требовать. Специальная тракторная кукурузная сноповязалка, работая со скоростью 4÷5,25 *км/ч*, может срезать до 3 *га* в день. На небольших полях производительность уменьшается и, наоборот, на обширных увеличивается благодаря менее частым поворотам по концам рядов. Для расчета производительность тракторной кукурузной сноповязалки при нормальных условиях работы можно принять 0,34 *га/ч*.

Потребная мощность трактора зависит от урожайности кукурузы, а отчасти и от высоты срезаемых растений, т. к. последняя имеет влияние на объем срезаемого материала. Тяговое сопротивление машины на рядовом или гнездовом посеве почти одинаково, т. к. объем срезаемой массы на единицу площади в обоих случаях приблизительно тот же. Срезка кукурузы для силосования в зеленом виде легче, чем срезка в зрелом виде на зерно. Среднее тяговое сопротивление машины для срезки кукурузы на ровном месте при урожайности 18÷21 *ц* зерна на 1 *га* равно примерно 216 *кг*. После дождя по сырому грунту тяговое сопротивление

больше и при неблагоприятных условиях может увеличиться на 40%. Применение снопонагрузчика для непосредственной передачи снопов на повозку увеличивает тяговое сопротивление приблизительно на 45 *кг*.

2. Кукурузная жатка представляет собой почти равнобедренную треугольную платформу с острыми ножами по бокам, перемещаемую на полозьях или на колесах между двумя рядами кукурузы. В виду того что ножи, образующие треугольник, в задних концах расставлены между собою на расстоянии, превышающем ширину междурядий, они при передвижении машины вперед срезают сразу оба ряда. Срезанные растения подхватываются двумя рабочими, сидящими на жатке, к-рые по накоплении достаточного количества стеблей сбрасывают их пучками на землю. Это—простейший тип машины, к-рая строится обыкновенно домашними средствами. При применении колес высота резки м. б. устанавливаема по желанию. Приспособление это очень несложно: при уборке им кукурузы не требуется затраты шпагата и ремонт ее недорог. В более сложной заводской конструкции этой машины имеются направляющие щиты и захватные цепи, как у сноповязалки, к-рые наклоняют при срезке верхнюю часть стеблей и укладывают их на полок машины. Два ряда кукурузы срезаются одновременно ножами, имеющими возвратно-поступательное движение, и, когда для образования снопа стеблей наберется достаточное количество, машину останавливают и сбрасывают кукурузу на поле или вяжут ее в снопы. Недостаток подобного рода машин тот, что ими можно работать лишь на прямостоящей кукурузе и в виду частых остановок работа их недостаточно производительна.

3. Кукурузный пиккер, или початкосрыватель,—машина, предназначенная срывать с стоящих на корню кукурузных стеблей зрелые початки, одновременно снимать с них оболочку и при помощи особого элеватора передавать их в ящик идущей с ней рядом повозки. После прохода машины по полю остается на корню ряд стеблей без початков и выброшенные машиной оболочки. Ручное срывание початков со стеблей, а в особенности их очистка от оболочек—работа довольно медленная, требующая для выполнения значительного числа рабочих рук, а потому и сравнительно дорогая. Рабочие, убирающие кукурузу, должны не оставлять на стеблях низко растущих початков, иначе часть урожая останется в поле. Пиккер выполняет более аккуратно работу, заменяя 6—7 рабочих. Поэтому в тех местностях, где стебли кукурузы не представляют собой ценности, эта машина может оказаться очень выгодной, т. к. с ее применением удешевляются расходы по уборке и выполняется она сравнительно быстро и своевременно. Уборка кукурузы производится быстрее и раньше обыкновенного, что дает возможность воспользоваться выпасом для скота и использовать т. о. оставшиеся на стеблях листья и недозрелые початки. Главные возражения против применения этого способа уборки следующие: 1) пиккер сминает при работе стебли и листья, что затрудняет их уборку и частью делает их непригодными для кормления животных зимою; 2) вышелушивает часть зерна из початков и, если кукуруза полегла, оставляет часть початков несорванными; 3) срывает с початков лишь 25÷75% оболочек, что зависит от спелости початков, их сухости и влажности воздуха. При прямостоящей кукурузе пиккер относительно удовлетворительно справляется со своей задачей как при низкой, так и при высокой урожайности кукурузы. Не следует однако ожидать, чтобы пиккер одинаково удачно срывал початки с сильно полегшей кукурузы, а также и все недозрелые початки. Передняя часть машины, идущая по ряду кукурузных стеблей, напоминает своим внешним видом и отчасти устройством ту же часть в кукурузной сноповязалке. Стебли кукурузы по мере передвижения машины вперед захватываются с обеих сторон движущимися при помощи звездчаток бесконечными цепями с рядом зацепов и подводятся к наклонно установленной паре вальцов. Последние, вращаясь и затягивая промеж себя стебли, скорее отщипывают, чем отрывают, початки, к-рые затем поступают на находящийся рядом транспортер и передаются им на несколько пар вальцов, служащих для снятия оболочек. Очищенные от оболочек початки переносятся особым элеватором в ящик идущей рядом повозки. При достаточно мощном тракторе повозка (посредством особого цепного приспособления) сцепляется с трактором и следует рядом с пиккером, пока ящик не окажется наполненным початками. По его наполнении повозка отцепляется и заменяется порожней. Лошади, доставившие порожнюю повозку, впрягаются в наполненную и отвозят ее на место хранения початков. Этим приемом достигается то, что одна пара лошадей работает попеременно с двумя повозками. При нормальной уборке кукурузы вальцы, отрывающие початки от стеблей, одновременно снимают частью с них оболочки, но бóльшая часть их удаляется на нескольких парах специальных вальцов. В зависимости от состояния початков во время уборки часть зерна при снятии оболочки неизбежно вышелушивается и, проходя с оболочками между вальцами на небольшое сито, отделяется на нем от последних и сбегает по наклонному щиту в ковш элеватора початков, к-рый и переносит их в ящик повозки. Лучшим временем для применения пиккера в уборке кукурузы считается то, когда початки достигнут той степени зрелости, при к-рой они м. б. без опасения убраны в кош. Машина также м. б. применена и для уборки кукурузы поздней осенью или даже в начале зимы, но все же лучшие результаты получаются в указанное время. Пиккер, как и кукурузная снопoвязалка, был однорядной машиной, но теперь появились тракторные двухрядные пиккеры, механизм к-рых приводится в движение от приводного вала трактора. Они не так чисто очищают початки от оболочек, как однорядные, но зато превосходят их в два раза своею производительностью. Сцепление однорядного пиккера с трактором, как и кукурузной сноповязалки, не представляет каких-либо затруднений. Двухрядные пиккеры—тракторные машины и потому снабжаются специальными заводскими прицепами, соединяемыми с крюком трактора.

Производительность. При тракторной тяге со скоростью хода в 3,7 *км/ч*, при междурядиях кукурузы в 1 *м* однорядный пиккер в среднем может убрать початки с 1,3—2 *га* в день. При особо благоприятных условиях работ, напр. на совершенно гладкой, ровной местности и при прямостоящей кукурузе, производительность м. б. увеличена до 2,7 *га* в день. Понятно, что при увеличенной скорости хода трактора производительность пиккера будет

выше, но чрезмерное ее увеличение вообще рекомендовать нельзя и со скоростью, превышающей 3,7 *км/ч*, работать не следует. При большей скорости некоторые стебли могут оказаться вырванными с корнем и в этом случае не все початки будут с них сорваны, что экономически невыгодно.

Потребная мощность трактора для работы с пиккером зависит от того, приводятся ли в движение его механизмы от дополнительного вала трактора или же они работают от ходовых колес машины. При вращении механизмов пиккера от ходовых колес тяговое усилие трактора при нормальных условиях работы ок. 520 *кг*, а при более тяжелых—доходит и до 810 *кг*. При работе от мотора трактора тяговое сопротивление пиккера в среднем 385 *кг*; оно может увеличиться на песчаном грунте до 450 *кг*. Вообще имеется много факторов, влияющих на тяговое сопротивление пиккера, но из них самые главные—исправность машины и смазка ее. На тяговое сопротивление отчасти влияет и урожайность кукурузы, но все же не в такой степени, как указанные условия.

В последнее время с появлением в сельском хозяйстве тракторных однорядных и двухрядных пиккеров Международная компания жатвенных машин выпустила также на рынок как однорядные, так и двухрядные пиккеры специально для своих тракторов. В однорядных машинах устранена необходимость прицепа к ним повозки, взамен которой сбоку машины на достаточной высоте приспособлен бак для сбора початков по типу бункера зерновых комбайнов. По наполнении початками бака на конце ряда его содержимое быстро высыпается в ожидающую его повозку. Однорядных пиккеров два типа: первый прикрепляется непосредственно к трактору «Фармол» и составляет с ним одно целое, второй же—прицепной для трактора «Фармол» или «Интернационал» (10/20). У того и другого типа механизмы приводятся в движение от приводного вала трактора и обслуживаются трактористом с своего сидения. Двухрядный пиккер построен специально для трактора «Фармол» и подвешивается непосредственно к нему так, что щиты, захватывающие стебли, перемещаются по рядам, находясь с правой и левой стороны трактора, а корпус последнего перемещается над междурядием. Благодаря подобному соединению с трактором пиккер не имеет собственных колес и прицепа, что удешевляет его стоимость и устраняет обычную боковую тягу. Для приема початков рядом с пиккером должна перемещаться повозка, т. к. бака для початков машина не имеет. Кроме указанных выше машин для уборки кукурузы на зерно в 1930 г. в США было выпущено в продажу особое приспособление к хлебному комбайну (сист. Глинер), при помощи к-рого производится уборка кукурузы. Это приспособление, названное кукурузным комбайном, при проходе по рядам кукурузы вышелущивает початки и дает в бак машины совершенно чистое готовое зерно, оставляя на поле измятые барабаном стебли, вышелушенные стержни початков и оболочки. Машина построена для одновременной срезки двух рядов кукурузы. Напоминая собою отчасти двухрядный пиккер, она имеет три направляющих щита, идущих по сторонам рядов, в к-рых ходят на роликах бесконечные цепи с зацепами; при помощи последних стебли подводятся к двум режущим приборам и после срезки передаются на винтовой конвейер, а последний направляет их в барабан молотилки комбайна. Каждый из режущих приборов состоит из двух заходящих друг за друга круглых пил, установленных в горизонтальной плоскости, к-рые при быстром вращении срезают подводимые к ним цепями стебли. Приспособление для уборки кукурузы устанавливается вместо платформы комбайна, а потому после уборки хлеба комбайн м. б. приспособлен для уборки кукурузы. Вышелушивание початков происходит на бичевом барабане, для чего его дека д. б. удалена на нек-рое расстояние от барабана. Способ уборки кукурузы при помощи комбайна совершенно новый и раньше не применялся. Если результаты будут удачны, вопрос уборки кукурузы может значительно облегчиться, и не потребуется в хозяйстве, производящем уборку хлеба комбайном, приобретать отдельные машины для уборки кукурузы. Благодаря же тому, что комбайн будет использован большее число дней в сезоне уборки, амортизационные расходы и % на затраченный капитал на каждый убранный этим способом *га* значительно понизятся. Подлежит однако большому сомнению, что такой способ уборки был бы применим повсеместно в кукурузных районах и в особенности в тех, где кукуруза вызревает поздно и зерно сыро. Вообще принято для лучшей просушки зерна оставлять срезанную кукурузу в поле в бабках для просушки и затем выдерживать ее нек-рое время в початках до ее вышелушивания. Без таких мер предосторожности ссыпанная в закром кукуруза самонагревается и портится. Применение кукурузного комбайна, как и применение хлебного, в сырых местностях повидимому возможно будет лишь при искусственной сушке зерна тотчас после его обмолота. У. м. для кукурузы, предназначаемой для переработки в силосованный корм, те же, что и для уборки всего растения кукурузы с корня, т. е. кукурузные сноповязалки и жатки. Срезанные этими машинами снопы или пучки кукурузы перевозятся к силосной башне, где происходит их измельчение силосорезкой. Т. к. промежуточные работы между моментом срезки кукурузы и наполнением силосной башни требуют значительной затраты рабочей силы и времени, то нек-рыми фермами в США в последнее время были произведены попытки скомбинировать работу У. м. с силосорезкой, к-рая на ходу измельчала бы кукурузу, и последняя в этом виде подвозилась бы к силосной башне. Идя навстречу этим попыткам, Международная К° жатвенных машин построила кукурузную жатку-силосорезку, удовлетворяющую вышеуказанным требованиям. В сравнении с обычным способом уборки кукурузы и переработки ее в резку для наполнения силосной башни машина эта значительно сокращает потребность в рабочих руках и улучшает качество силосованного корма. Жатка-силосорезка с успехом могла бы быть названа силосным комбайном, т. к. она представляет собою комбинацию кукурузной сноповязалки (без узловязателя) и силосорезки. Идя по ряду кукурузы, эта машина захватывает своими цепями, снабженными зацепами, стебли растений, к-рые одновременно, как в сноповязалке, срезаются ножом и, приподнятые в вертикальном положении по наклонной плоскости конвейера к приемному отверстию ножевого барабана, опускаются в него для измельчения. Измельченная барабаном масса передается элеватором в рядом идущую повозку с

ящиком, к-рая и отвозит ее к силосной башне. Последняя наполняется обычным способом при помощи пневматич. элеватора или же обыкновенного планкового (если только башня не особенно высока). Механизм жатки-силосорезки приводится в движение от приводного вала трактора. При применении этой машины кроме сокращения числа рабочих, занятых при уборке кукурузы, отпадает также расход на шпагат, необходимый при уборке кукурузы сноповязалкой, не приходится подбирать на поле выброшенные машиной длинные снопы кукурузы и укладывать их в специально заготовленные для этой цели низкие платформы, что в виду длины и веса стеблей требует значительной затраты физич. труда, а затем сгружать эти снопы с повозки и укладывать их в жолоб силосорезки. Машина обслуживается трактористом и требуется еще один рабочий для присмотра и питания пневматич. элеватора у силосной башни.

Машины, служащие для уборки специальных культур (напр. льна, картофеля и пр.), даны под соответствующими терминами. **К. Шиловский.**

Лит.: см. *Жатвенные машины, Комбайн, Молотилки.*

УВИОЛЕВОЕ СТЕКЛО, стекло прозрачное для *ультрафиолетовых лучей* (см.). Цшиммер[1] отметил ряд стекол, прозрачных в ультрафиолетовой части спектра. Результаты его исследований указывают на высокую «ультрафиолетовую» прозрачность чистого борного ангидрида, значительно уменьшающуюся при замещении его K_2O и Na_2O, причем K_2O снижает его прозрачность в меньшей степени, чем Na_2O. Стекла Локка [2], обладающие высокой ультрафиолетовой прозрачностью, по своему составу резко отличаются от составов обычных торговых стекол. Они содержат: 42÷57% SiO_2, высокий % борной к-ты (9÷30%), иногда 19÷31% окиси свинца; щелочи отсутствуют. Стекла Фрича и Линдеманна [3] содержат 70 вес. ч. борного ангидрида и 30 вес. ч. плавикового шпата с нек-рой добавкой глинозема. Стекло «Корекс» не содержит кремнекислоты и щелочей и состоит из борной и фосфорной к-т с добавлением извести. Это стекло химически неустойчиво, т. к. легко растворяется в слабой соляной к-те. Все указанные выше стекла д. б. отнесены к одной категории, отличительным признаком к-рой является высокое содержание борного ангидрида и отсутствие щелочей. Плавление стекол подобных составов в ванных печах в больших массах невозможно. Для выработки в широких размерах оконного стекла такие составы неприемлемы.

К другой категории д. б. отнесены стекла, по своему составу также резко отличные от обычных торговых стекол, однако химически более устойчивые и занимающие промежуточное положение между стеклами первой категории и обычными торговыми стеклами (все они по составу силикатные). Борная к-та либо совершенно в них отсутствует либо содержится в весьма небольших количествах. Щелочи же не во всех стеклах отсутствуют. Авторы этих стекол придают видимо большое значение нек-рым щелочноземельным металлам. В большинстве стекол этой группы отсутствует CaO, к-рая заменяется BaO и ZnO. Нек-рые из этих стекол, напр. стекла Гаже и Тейлора [4], содержат также до 12% NiO и непрозрачны для видимой части спектра. Особняком стоит стекло «Увиоль» Шотта, представляющее боросиликат с высоким содержанием щелочей при совершенном отсутствии группы щелочноземельных металлов. Стекло японского исследователя Сюжи [5] молекулярной формулы $6SiO_2+Na_2O+14CaO$ является переходом от стекол второй категории к нормальным стеклам. Результаты Сюжи не совпадают с результатами других исследователей. В то время как Шотт исключает из состава CaO, Сюжи вводит ее в таком высоком проценте, что практически сварить его в промышленном масштабе невозможно. Стекло состава Сюжи обладает высокой кристаллизационной способностью и в печах должно кристаллизоваться, выделяя волластонит. Сюжи в своих выводах подтверждает положительное влияние ZnO на увеличение ультрафиолетовой прозрачности. Однако по его мнению замена Na_2O через K_2O не повышает прозрачности, а, наоборот, в цинковых стеклах понижает ее. В его же исследованиях отмечается повышение прозрачности при добавлении NiO и CaO.

Турнер и Штарке [6], Розе [7] детально изучали влияние окислов железа на ультрафиолетовую прозрачность стекол. Они показали, что окисное железо в сильной степени понижает прозрачность стекол, и на основании своих исследований пришли к заключению, что важнейшим фактором получения прозрачного для ультрафиолетовых лучей стекла является применение чистейших сырых материалов, содержащих следы железа или минимальные его количества, к-рые при помощи плавки с восстановителями д. б. переведены в закисное состояние. Розе указывает на главную и единственную роль окисного и закисного железа и не придает значения составу стекла в целом. Т. к. последние две работы пытаются дать теорию получения ультрафиолетовых стекол, ниже выясняется, возможно ли пренебрегать химич. составом стекла и верны ли предположения, что лишь количественное содержание окиси железа решает вопрос получения У. с.

Турнер [6] показал, что с возрастанием содержания окислов железа в стекле одного и того же химич. состава уменьшается ультрафиолетовая прозрачность, и установил, что в стеклах с повышенной ультрафиолетовой прозрачностью отношение закисного железа к окисному максимальное. Из таблицы содержания окиси и закиси железа, помещенной в работе Турнера, видно, что обыкновенное натрокальциевое стекло P/100, содержащее только 0,005% Fe_2O_3, имеет предел ультрафиолетовой прозрачности 2 640 Å. Практически в заводской обстановке получить стекла с таким (0,005%) содержанием окислов железа невозможно. Фактически все лучшие рыночные заграничные У. с. содержат 0,02—0,03% Fe_2O_3. По Турнеру натрокальциевое стекло № 15, содержащее 0,029% Fe_2O_3, имеет предел ультрафиолетовой прозрачности 4 830 Å. Количественный спектральный анализ этих стекол показывает, что стекло P/100, содержащее 0,005% Fe_2O_3, пропускает только 8,8% лучей с волной короче 3 000 Å, а стекло № 105—лишь 1,6%, т. е. практически нуль. В то же время стекла Вита, Сана, содержащие окислов железа не менее, чем стекло № 105, показывают предел ультрафиолетовой прозрачности 2 520 Å и 2 450 Å и количественную прозрачность 54% и 73% (для длины волн 3 150—2 950 Å). Если сравнить данные, касающиеся содержания окислов железа и предела прозрачности рыночных У. с., приведенные в этой же работе Турнера, мы заметим, что никакой закономерности проследить нельзя. Так напр., стекло Хелио, содержащее 0,041% Fe_2O_3, имеет предел про-

зрачности 2 600 Å, а стекло «Увиоль», содержащее меньше железа (0,028%), имеет предел прозрачности 2 680 Å. Стекло Хелио, содержащее 0,041% Fe_2O_3, и стекло Вита, содержащее 0,026% Fe_2O_3, имеют одинаковую количественную прозрачность (3 150—2 950 Å). Эти результаты убеждают нас в том, что не одно количественное содержание окислов железа является решающим фактором и что обыкновенное натрокальциевое стекло, изученное Турнером, не может быть отнесено к стеклам, практически прозрачным для ультрафиолетовых лучей (3 150—2 950 Å). Интересно отметить весьма важное указание Турнера, что определение соотношения закисного и окисного железа в стеклах, содержащих суммарное железо ниже 0,065%, практически невозможно. Методы наших определений для таких малых количеств железа недостаточно точны, что создает большие затруднения при изучении вопроса о переводе малых количеств окисного железа в закисное. Розе [7] также отмечает недостаточную точность существующих методов химич. анализа количественного определения закисного железа в стеклах с весьма малым суммарным его содержанием. Поэтому Розе, изучая влияние окисного и закисного железа на ультрафиолетовую прозрачность стекол, впервые использовал водные растворы окисных и закисных солей железа. Работа Розе представляет интерес потому, что, придавая большое значение переводу окисного железа в закисное, он в ней приводит результаты экспериментальных испытаний влияния ряда восстановителей. В качестве восстановителя он пользовался закисью олова и испытывал также действие NaCl. Последний не оказал никакого восстановляющего действия по мнению Розе вследствие своей летучести. Выводы Розе таковы: а) не во всех случаях пониженное содержание окислов железа повышает ультрафиолетовую прозрачность, б) нельзя злоупотреблять добавкой восстановителя, в) прозрачность зависит гл. обр. от химич. состава стекла, г) уменьшение содержания CaO увеличивает при всех прочих равных условиях ультрафиолетовую прозрачность. Инглиш приходит к следующим выводам: 1) каждый простой щелочной силикат обладает значительно меньшей прозрачностью, чем SiO_2; 2) из основных окислов меньше всего в смысле уменьшения прозрачности действуют ZnO, BaO и Al_2O_3; 3) B_2O_3 может заменить SiO_2 без резкого изменения в прозрачности; 4) Fe_2O_3 сильно уменьшает прозрачность; 5) удаление железа добавкой хлоридов, благодаря к-рым железо должно бы превратиться в летучее $FeCl_3$, не имеет места.

Китайгородский [8] указал, что роль самого состава как растворителя весьма ощутима при плавке цветных стекол. Известно, что стекла различного состава, окрашенные одним и тем же красителем, показывают различную прозрачность. Если это положение верно в отношении видимой части спектра, то нет никаких оснований полагать, что прозрачность в ультрафиолетовой части при одних и тех же красящих окислах, в данном случае Fe_2O_3, будет одинакова в стеклах, различных по своему составу. Последний и в этом случае будет иметь определенное влияние на получение стекла различной ультрафиолетовой прозрачности. Величина прозрачности будет зависеть от содержания тех или иных усиливающих или ослабляющих это свойство компонентов. Так, известно, что окись свинца в сильной степени поглощает короткие лучи спектра и является одним из основных компонентов при плавке защитных от рентгеновских лучей стекол. Бесспорно положительное влияние ZnO на увеличение ультрафиолетовой прозрачности. Для получения стекол высокой ультрафиолетовой прозрачности требуется: а) удачно выбранный состав, включающий компоненты, увеличивающие ультрафиолетовую прозрачность стекол, б) по возможности чистые сырые материалы с минимальным содержанием окислов железа, в) восстановительная среда плавки с целью перевести по возможности бо́льшую часть железа в закисное состояние.

Варгин [9] в результате своих исследований приходит к следующим выводам. 1) На прозрачность стекла для ультрафиолетовых лучей существенное влияние оказывает соотношение в стекле FeO и Fe_2O_3. Это соотношение при равных условиях варки зависит от состава стекла. 2) При общем содержании окислов железа в стекле свыше 0,020% удельное влияние стеклообразующих окислов сказывается меньше на прозрачности стекла, чем состав стекла на равновесии $FeO : Fe_2O_3$. 3) B_2O_3 и K_2O, вводимые в состав известковонатриевого стекла, повышают его прозрачность для ультрафиолетовых лучей лишь при малом содержании окислов железа в стекле; с растущим содержанием окислов железа известковонатриевые стекла показывают более высокую прозрачность, чем борные и калиевые, благодаря устанавливающемуся в них при равных условиях варки более высокому отношению Fe_2O_3. 4) Прозрачность стекла для ультрафиолетовых лучей существенно зависит от условий варки, влияющих на отношение $FeO : Fe_2O_3$ в стекле. При восстановительной атмосфере печи прозрачность повышается; при повышении $t°$ варки прозрачность также увеличивается. 5) В лабораторных условиях варки лучшим восстановителем оказалась металлич. пыль алюминия и особенно магния, вводимая в шихту стекла.

П. Жилард, П. Свинкс и А. Хаутот [10] устанавливали ультрафиолетовую прозрачность стекол в зависимости от их состава. Выводы их таковы: прозрачность увеличивается с увеличением процента кремнезема в стекле. Стекло ф-лы $6SiO_2+CaO+Na_2O$ показывает наивысшую прозрачность для натроизвестковых стекол. Прозрачность калиевоизвестковых стекол не изменяется в случае изменения содержания извести. Добавка окиси бария к натросиликатным стеклам понижает прозрачность. Нормальное калиевое стекло формулы $6SiO_2 \cdot MgO \cdot K_2O$ показывает наивысшую прозрачность. Окись алюминия увеличивает прозрачность натроизвестковых стекол, когда она заменяет часть окиси кальция. Предел прозрачности натроизвесткового и натроцинкового стекла 2 700 Å. Авторы изучили также серию стекол $6SiO_2 \cdot RO \cdot R_2O$, в к-рых RO был CaO, BaO и MgO. В качестве щелочей они применяли окись натрия или окись калия, содержание к-рых колебалось от 0,8 до 1,2%. Результаты были таковы: 1) изменение содержания окиси натрия не влияло на прозрачность натроглиноземных стекол, 2) в натробаритовых стеклах увеличение содержания окиси натрия давало неблагоприятный результат, 3) в натромагнезиальных стеклах увеличение содержания окиси натрия не оказывало никакого влияния, 4) в калиевоглиноземных стеклах изменение содержания окиси калия также не оказывало влияния. Наличие борной к-ты в натроизвестковых стеклах уменьшало прозрач-

ность. Изменение в содержании борной к-ты в натробаритовых стеклах не влияло на прозрачность. Более прозрачными оказались стекла, содержащие наименьшее количество борной к-ты. Окись никеля давала в большинстве случаев отрицательный результат.

Соляризация оконных стекол. Старение стекол, пропускающих ультрафиолетовые лучи, т. е. понижение их ультрафиолетовой прозрачности, называется соляризацией. Кобленц и Стер [11] изучили почти все торговые ультрафиолетовые оконные стекла, а также исследовали ряд суррогатов оконного стекла, как «флексоглас», «целоглас», «целофан», «полло-пас-алудур», «кальку». Касаясь методологии исследования, авторы отмечают, что все измерения на ультрафиолетовую прозрачность для сравнения стекол между собою следует ограничить определением прозрачности для длины волны в 3 020 Å. Включение ультрафиолетовых волн 3 200 Å и выше производителями ультрафиолетового стекла ведет к неправильным выводам при оценке качества стекла, т. к. для терапевтич. целей важна весьма узкая область между 2 970 и 3 020 Å. Если бы лучи в 3 200 Å, имеющие интенсивность в 5—10 раз больше, чем в 3 020 Å, могли бы служить для лечения, не было бы необходимости готовить специальное стекло. Соляризация стекол есть фотохимич. реакция и величина ее зависит от: 1) $t°$, 2) абсорбционных свойств стекла или материала, 3) присутствия в стекле примесей, напр. двувалентного железа, и 4) источника излучения. Она продолжается очевидно до тех пор, пока какая-либо активная примесь в стекле остается свободной. Это ясно из факта, что после того, как стекло перестает уменьшать свою прозрачность (т. к. активирующие лучи не могут уже больше проникать через весь слой стекла), соляризация, т. е. уменьшение прозрачности, снова возобновляется при поворачивании плоскости стекла на 180° к первоначально подвергнутой действию источника. Опыты показали, что пропускаемость стекол к концу лета уменьшилась до постоянного значения. Однако на следующее лето эти же стекла показали дальнейшее уменьшение прозрачности при солнечном облучении. Чтобы проверить, не было ли это следствием повышения $t°$, авторы подвергли двойные образцы стекол Хелио и Вита действию ртутной дуговой лампы при 70° и при 15°. Оказалось, что образцы при высокой $t°$ больше всего понижают прозрачность. Эти же стекла были восстановлены нагреванием до 200° и выше. Фотохимич. эффект, вызванный ультрафиолетовыми лучами, м. б. уничтожен термич. обработкой. Степень восстановления стекла зависит от $t°$, до к-рой стекло нагревалось. Выводы авторов относительно результатов соляризации таковы: а) солнце, угольная дуга и ртутная дуга понижали ультрафиолетовую прозрачность как стекол, так и суррогатов стекла, б) понижение прозрачности от искусственных источников было выше, чем от солнечного света, в) фотохимич. реакция протекает вследствие присутствия различных нерастворимых примесей, в особенности окисного железа; поэтому образцы различных плавок одного и того же стекла одной и той же толщины сильно отличаются по ультрафиолетовой прозрачности; г) в результате соляризации прозрачность понижается до неизменного значения, которое у некоторых новых стекол иногда достигает половины первоначальной прозрачности.

Определение ультрафиолетовой прозрачности. Спектрограммы поглощения стекол не дают количественных величин пропускаемости, а потому имеют весьма ограниченную ценность, а иногда могут ввести в заблуждение. Для оценки ультрафиолетовой прозрачности стекла необходимо иметь количественные показатели. Одним из методов количественного спектрального анализа является фотографическая спектральная фотометрия. Рютенауер [12] при изучении У. с. применял этот метод. Источником служила ультрафиолетовая лампа накаливания в 500 W и 110 V. Лампа накаливания имеет преимущество перед ртутной лампой, т. к. она сразу после включения горит равномерно. Она имеет также равномерное распределение интенсивности в области 3 200—2 800 Å, что очень помогает вычислениям. Измерения производятся сл. образом. Фотографируется спектральная область $3\,200 \div 2\,800$ Å через испытываемое стекло как фильтр; затем этот же спектр снимается через тонкую кварцевую пластинку, полностью пропускающую ультрафиолетовые лучи, при том же времени, но с уменьшенной на определенную величину интенсивностью. Снимки дают на пластинке «черно́ты» определенной интенсивности, т. н. черные отметки. Ослабление интенсивности производится изменением расстояния от источника, к-рый укреплен на оптич. скамье. В основание вычислений положен закон о квадрате расстояний. Количественное определение ультрафиолетовой прозрачности большинства из наших стекол было выполнено Ремизовым [13] по способу Анри, заключающемуся в следующем: фотохимич. эффект f (потемнение пластинки) по Бунзену и Роске пропорционален интенсивности I_0 действующего света и продолжительности t экспозиции:

$$f = kI_0t. \qquad (1)$$

Если какой-нибудь луч с интенсивностью I_0, проходя через стекло, ослабляется и обладает интенсивностью в n раз меньшей, то величина фотохимич. эффекта выразится

$$f_1 = \frac{kI_0t}{n}.$$

Для получения фотохимич. эффекта, одинакового с эффектом луча, не проходившего стекло, очевидно следует увеличить время экспозиции в n раз, т. е. вместо величины t взять nt, тогда

$$f_1 = \frac{kI_0nt}{n} = kI_0t = f,$$

и получим потемнение пластинки такое же, как и в случае (1). Следовательно, меняя время экспозиции, можно получить одинаковое потемнение пластинки от луча, полученного от искры, с интенсивностью I_0 и того же луча, ослабленного стеклом, с интенсивностью I. Очевидно, что времена экспозиции t_0 и t_1 будут находиться в следующей зависимости:

$$t_0 : t_1 = I_1 : I_0 = n,$$

где n—прозрачность стекла для данной длины волны. Если на одной пластинке снять спектр открытой искры при экспозиции t_0 при отношении $t_0 : t_1 = n$ и рядом тот же спектр через стекло с экспозицией t_1, то линии спектра, для к-рых прозрачность стекла равна n, будут одинаково интенсивны на обоих спектрах. Зная длину волны линии и величину n, имеем прозрачность стекла для данной волны. Метод сводится к одновременному фотографированию ряда спектров с различными отношениями экспо-

зиций от 0,025 до 0,83, нахождению линий разного потемнения и построению кривой прозрачности. Фотометрический способ определения прозрачности стекла в ультрафиолетовой части спектра, разработанный акад. С. И. Вавиловым, применялся при исследовании образцов стекла, полученных в Ин-те стекла. Экспериментально определялась прозрачность данного образца $T=\frac{I_0}{I}$, где I_0—интенсивность лучистой энергии, падающей на стекло, а I—интенсивность энергии, прошедшей через него. Для определения величины T выделялись с помощью *монохроматора* (см.) отдельные линии спектра ртутной лампы, возбуждавшие флуоресценцию на пластинке уранового стекла. При выходе лучей из монохроматора ставилось исследуемое стекло и с помощью фотометра сравнивалась яркость флуоресцирующего пятнышка при наличии стекла и в его отсутствии. Отношение этих яркостей и дает величину T. Для пересчета полученных значений на нормальную толщину стекла необходимо учесть потери интенсивности вследствие отражения луча на границе стекла с воздухом.

Лит.: [1] Zschimmer E., «Ztschr. f. Instrumentenkunde», B., 1903, p. 360; [2] Locke F. M., «Glass Industry», N. Y., 1926, *7*, p. 136; [3] Fritsch u. Lindemann, «Physikalische Ztschr.», Lpz., 1907, *8*, p. 513; [4] Gage H. P. a. Taylor W. C., Ан. П. 127586; [5] Sugie J., «Ind. Lab. Bull.», Osaka, 1924, *5*, p. 25; [6] Turner W., «Journ. of the Society of Glass Technology», Sheffield, 1928, p. 324; [7] Rose G., «Sprechsaal», Coburg, 1929, *18—21*, p. 314; [8] Китайгородский И., «Журнал прикладной физики», М., 1930, вып. 5; [9] Варгин В., «Керамика и стекло», 1931, янв.; [10] «Bulletin de l'Académie royale des sciences», Bruxelles, Hayez, 1931, t. 17, p. 361—368; [11] Coblenz W. a. Stair R., «Bureau of Standards», Wsh., 1929, *113*; [12] Rüttenauer A., «Sprechsaal», Coburg, 1928, *23—24*; [13] Ремизов Н., «Керамика и стекло», 1930, *5*, стр. 237.

И. Китайгородский.

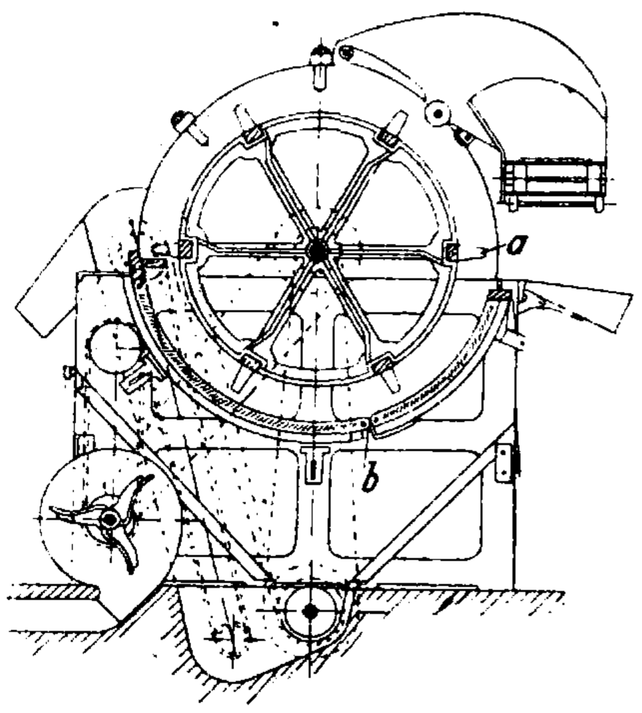
УГАРЫ в текстильной пром-сти, выпадающие в процессе переработки сырья составные его части, к-рые по качеству и сорту самого сырья и вследствие несовершенства производственных механизмов не удается использовать в данном виде изделий. К У. в текстильной пром-сти относятся также: а) упаковочные веревки, применяемые для перевязывания кип сырья в том случае, когда они изготовляются из однородных с сырьем волокон, но более низкого качества, и б) получающиеся в процессе прядения, перемотки и ткачества ровничные и пряжные концы. По своему характеру текстильные У. делятся на два основных вида: возвратные У. и безвозвратные У.; последний вид в свою очередь подразделяется на видимые и невидимые У. Возвратными У. называются те виды У., к-рые м. б. использованы в текстильной пром-сти либо в смеси с основным сырьем либо как самостоятельное сырье для производства особых видов изделий. Видимыми безвозвратными У. называются те виды У., которые не имеют применения в текстильной пром-сти, но м. б. использованы в других производствах. Невидимыми безвозвратными У. называются те У., которые составляют балансовую разницу между количеством основного сырья, с одной стороны, и полученными изделиями, возвратными и видимыми безвозвратными У.,—с другой. Невидимые У. являются следствием изменения влажности сырья-волокна и уноса легких частиц в процессе работы вентиляционных сооружений. У., получаемые в отдельных производствах текстильной промышленности, различаются качественно, а также в зависимости от их использования.

У. в джутопрядении получаются прежде всего при распаковке кип (веревки) в количестве 2% от общей массы сырья; дальше в процессе прядения (см. *Джут*) У. получаются по всем переходам, но основная масса У. образуется в кардном отделе и носит название кардной вытряски. В отличие от европ. лубяных волокон джут не содержит костры, в силу чего джутовая кардная вытряска состоит исключительно из мелких волоконец (пуха) и пылевидных механич. примесей. Использование джутовых У. в самом джутовом производстве идет сл. обр.: упаковочная веревка путем порубки ее на куски и пропуска через специальные машины—щипальный волчок (см. *Пенькопрядение*) и тизер-карду—перерабатывается в волокно, к-рое в дальнейшем используется как примесь к основному сырью для изготовления мелких номеров пряжи (англ. № 2,2) и специальной ровницы для кабельного производства. Для использования кардной вытряски ее необходимо освободить от засоряющих частиц; с этой целью ее пропускают через угарный волчок (см. *Шерсть искусственная*). Получаемое из волчка очень короткое волокно б. ч. не м. б. использовано в прядении и продается на сторону как строительный, изоляционный или обтирочный материал. Присутствие в кардной вытряске длинных волокон (длиннее 10—12 *см*) является результатом неправильной работы кард. Такое волокно после надлежащей очистки м. б. использовано как прядильный материал. Чистые, незамасленные обрывки ленты с кард ленточных машин и банкаброшей и чистые ровничные концы могут после пропуска их через карду быть использованы в прядении как примесь к основному сырью. Концы пряжи дважды пропускаются через тизер и после этого идут для изготовления низких номеров пряжи (до № 0,75 англ.).

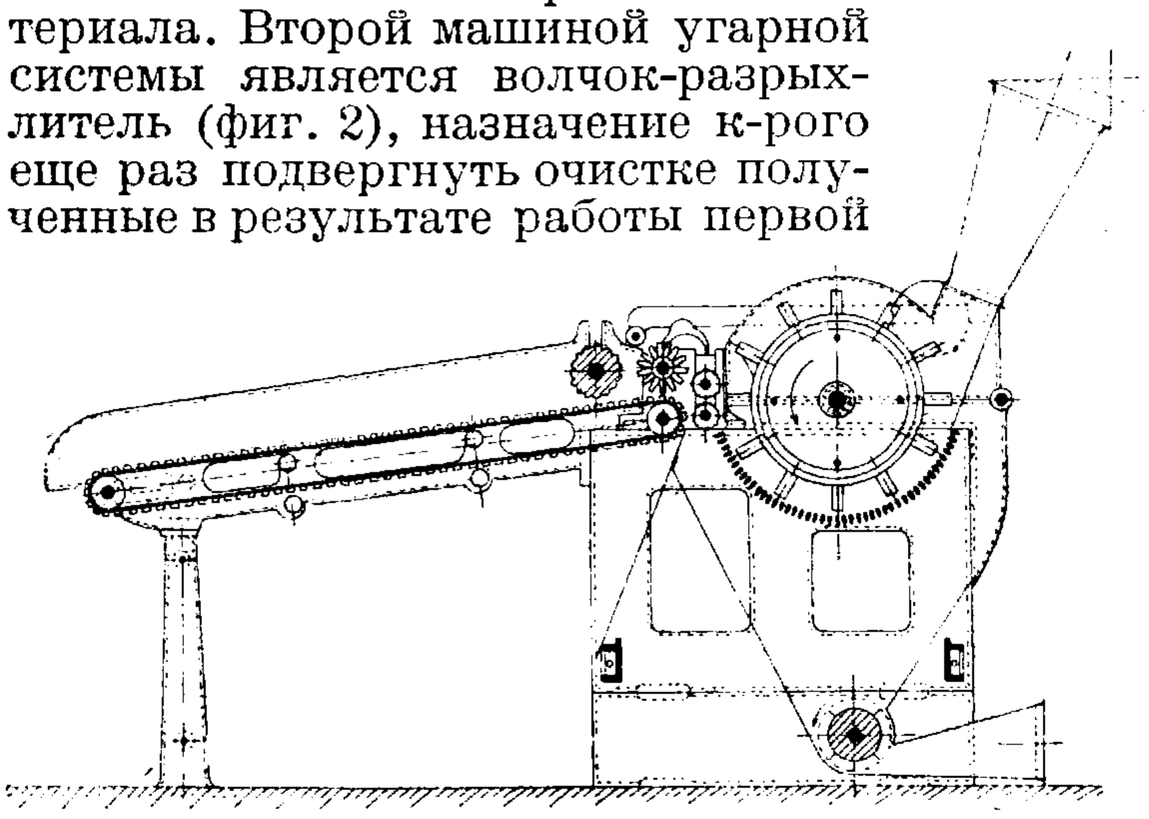
Пеньковые и льняные У., как и джутовые, получаются во всех переходах производства, но к тем видам угаров, к-рые мы имеем в джутопрядении, присоединяется в довольно значительном количестве костра, составляющая основную массу пеньковых и льняных У. Высокая засоренность костровой пенькового и льняного сырья, являющаяся следствием плохой первичной обработки, сильно повышает стоимость прядения этих видов сырья, удорожает их транспортировку и понижает их прядильные свойства. Ухудшая прядильные свойства сырья, костра является непрядомым материалом и м. б. использована как сырье для целлюлозной пром-сти, как изоляционный материал или как топливо. Пепел, получаемый путем сжигания костры, м. б. использован как удобрение. Т. к. обработка льна и пеньки идет по двум способам—по длинному и короткому прядению (см. *Пенькопрядение* и *Льнопрядение*), то очесы, получаемые в результате подготовки сырья к длинному прядению, используются как основное сырье в коротком прядении; там же используются и отходы ленты с машин длинного прядения. Большая амплитуда в номерах пряжи и широкий ассортимент льняных и пеньковых изделий позволяют почти все прядомые льняные и пеньковые У. использовать в этих же производствах. Упаковочная веревка от кип льняного и пенькового волокна (крутцы и увои), как и джутовые веревки, перерабатывается на щипальных волчках и используется в низкие номера пряжи. Для использования в льнопрядении коротких льняных воло-

кон, получаемых в первичной обработке, а также из кардной вытряски, существуют специальные механизмы, к-рые по своей конструкции напоминают машины угарно-бумажного и *вигоневого прядения* (см.). У. шерстяного и шелкового производства—см. *Шерстепрядение* и *Шелкопрядение*.

Система машин для угарного прядения состоит из подготовительных и прядильных машин. Первой машиной в подготовительной системе угарного производства льняной вытряски необходимо считать очистительно-трясильный волчок (фиг. 1), состоящий из вращающегося в кожухе барабана, на поверхности которого по образующим закреплены шесть рядов бил *a*, на верхней части кожуха — три мертво установленных била, в нижней части кожуха — решетка *b*, через отверстия которой в процессе работы волчка выпадают костра, грязь и другие примеси. В зависимости от средней длины получаемых в результате очистки волокон подбирается сечение отверстий в решетке в пределах 2—6 *мм*. Загрузка в волчок подвергаемой очистке вытряски производится периодически в специально установленный на машине лоток, и выход волокна производится автоматически после определенного числа оборотов барабана (350 об/м.), к-рое устанавливается в зависимости от степени засоренности очищаемого материала. Второй машиной угарной системы является волчок-разрыхлитель (фиг. 2), назначение к-рого еще раз подвергнуть очистке полученные в результате работы первой машины волокна. Волчок-разрыхлитель состоит из перемещающегося транспортера, на к-рый укладываются требующие очистки волокна из питательных цилиндров и вращающегося трепального барабана. Барабан разрыхлителя работает в кожухе; в верхней части последнего расположено отверстие для трубопровода, с помощью к-рого специально установленный вентилятор отсасывает из машины очищенные волокна и передает их на специальные колосниковые решетки. В нижней части кожуха барабана установлена решетка и под нее подведена воронка от трубопровода второго вентилятора для отсасывания костры, грязи, пыли и др. Колосниковые решетки, через которые пропускаются пневматич. путем волокна, представляют собой канал с решеточным дном, под к-рым устанавливаются по секциям ящики для сбора выпадающих мелких частиц из транспортируемых по каналу воздушным потоком волокон. Для большей очистки волокон применяется также разрыхлитель сист. Крейтон, аналогичный по конструкции с применяемым в вигоневом и хл.-бум. прядении (см. *Хлопкопрядение*). Дальнейшая подготовка У. к прядению требует пропуска через обыкновенный кардный волчок (кремпель-вольф), а затем процесса пропитывания эмульсией, после чего волокна укладываются в закромах и сохраняются в течение 24—30 ч.



Фиг. 1.

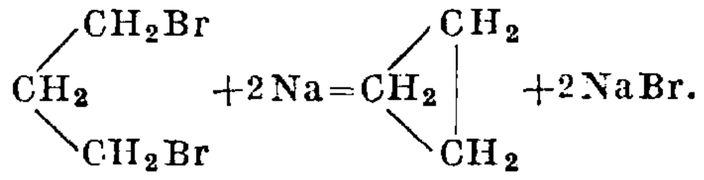

Фиг. 2.

Процесс прядения У. разбивается на две основные части: подготовку ровницы и прядение. Подготовка ровницы производится на специальном агрегате на валично-чесальных машинах, на к-рых волокна подвергаются дальнейшему процессу чески, параллелизации, соединения и скручивания волокон в ровницу. Валично-чесальная машина при прядении пряжи до 10-го англ. номера состоит из двух основных частей: «загонки» и «секрета». Первая часть машины состоит из кардного барабана, вокруг к-рого расположены 4 пары рабочих и очистительных валиков, а также очистительного вальяна с очистительными валиками. Волокна из первой части выходят сплошной массой, потоком и затем складываются на решетках в руно. При помощи настильного стола, питательного цилиндра руно с первой машины поступает во вторую часть, состоящую из барабана, пяти рабочих и очистительных валиков и специального делительного аппарата. Делительный аппарат второй части машины окончательно завершает работу всего агрегата изготовлением ровницы и собирает ее на валиках в бобины или на катушки. Получаемая с валично-чесальных машин ровница передается для прядения на обыкновенные кольцевые ватеры, применяемые в *хлопкопрядении* (см.). Ватеры для прядения льняных У. строятся с числом веретен 120—300.

Лит.: Бухонов И., Угарное и вигоневое прядение, М., 1923; Лбов А., Прядение льна, Ив.-Вознесенск, 1927; Галкин Я., Прядение шелковых отбросов, «Средне-азиатский шелк», Ташкент, 1929. **М. Бухштейн.**

УГЛЕВОДОРОДЫ, соединения, состоящие только из углерода и водорода. Вследствие способности углеродных атомов связываться друг с другом, образовывая при этом насыщенные и ненасыщенные цепи, или циклы, соотношение между углеродом и водородом в У. колеблется в значительных пределах, но не м. б. больше, чем это следует по ф-ле C_nH_{2n+2}. Наименьшее количество водорода относительно углерода содержится в сильно уплотненных молекулах, особенно в полициклич. ароматич. У. типа пирена $C_{16}H_{10}$, хризена $C_{18}H_{12}$ или декациклена $C_{36}H_{18}$. В зависимости от строения углеродного скелета и характера связей, соединяющих углеродные атомы, У. разделяются на алифатические, или жирные, циклические (см. *Алициклические соединения*) и ароматические. Жирные У. м. б. выделены из различных природных или искусственных веществ (нефть, продукты швелевания каменных и бурых углей и т. п.) или получаются синтетически. Они м. б. насыщенные (предельные) и ненасыщенные. К последним относятся У., характеризуемые наличием в молекуле одной или нескольких двойных (олефины) или тройных (ряд ацетилена) связей. О насыщенных У., способах их получения и свойствах см. *Парафины*. Ненасыщенные У. в отличие от предельных характеризуются рядом

реакций, из к-рых наиболее типичными являются реакции присоединения (см. *Ненасыщенные соединения* и *Этиленовые углеводороды*). Циклические У. с тремя или четырьмя углеродными атомами в цикле м. б. получены действием натрия на дигалоидные соединения

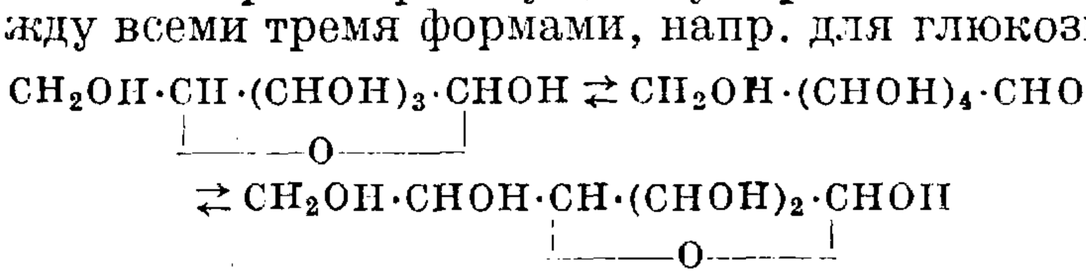


Получение шестичленных циклич. У. особенно удобно осуществляется гидрированием аромат. У. (см. *Гидрогенизация*). Другие способы (напр. синтез из малонового эфира) приводят к получению циклич. карбоновых к-т или кетонов, из к-рых м. б. приготовлены соответствующие У. По своим свойствам циклич. У. подобны парафинам, за исключением триметиленовых и отчасти тетраметиленовых циклов, к-рые, обладая значительной реакционной способностью (расщепление цикла и присоединение по месту расщепления различных атомов или групп), занимают промежуточное положение между парафинами и олефинами (см. *Алициклические соединения*). Об ароматич. У.—см. *Ароматические соединения*. Подробности об У.—см. *Парафины*, *Этиленовые углеводороды*, *Терпены*, *Нафтены*, а также *Бензол*, *Нафталин*, *Антрацен*, *Ацетилен*, *Этилен*, *Метан* и другие индивидуальные углеводороды. **С. Медведев.**

УГЛЕВОДЫ, важнейший класс распространенных в природе органич. соединений, имеющих первостепенное значение в пром-сти, физиологии человека и биологич. процессах (см. *Клетчатка*, *Крахмал*, *Декстрины*, *Глюкоза*).

Название У. сложилось исторически вследствие того, что известные ранее представители класса по данным элементарного анализа содержали H и O в пропорции, соответствующей ф-ле воды, т. е. являлись как бы гидратами угля: $C_6H_{12}O_6=6C+6H_2O$; $C_{12}H_{22}O_{11}=12C+11H_2O$. В настоящее время известно много У., не отвечающих этому условию.

Химически У. представляют собой первичные продукты окисления многозначных спиртов. Простейшие, неспособные к гидролитич. расщеплению У. называются м о н о з а м и, или *моносахаридами* (см.); по химич. свойствам они либо альдегидоспирты, т. н. а л ь д о з ы, либо кетоноспирты—к е т о з ы. Вместо принятых ранее для альдоз и кетоз ф-л $CH_2OH(CHOH)_nCHO$ и $CH_2OH\cdot(CHOH)_{n-1}\cdot CO\cdot CH_2OH$ современная органическая химия приписывает им структуру циклич. окисей, в к-рых атом кислорода соединяет два атома углерода, находящихся по отношению друг к другу в гамма- или дельта-положении. В растворах существует равновесие между всеми тремя формами, напр. для глюкозы:



В зависимости от числа атомов углерода в молекуле монозы подразделяются на биозы, триозы, тетрозы, пентозы, гексозы, гептозы и т. д. В природе встречаются лишь пентозы и гексозы; названия биоза и триоза однако более употребительны для обозначения сложных У.—*полисахаридов* (см.), к-рые дают при гидролитич. расщеплении 2 (дисахариды) и 3 (трисахариды) молекулы моноз.

Для простейших углеводов характерны следующие реакции. 1) Окисление, которое ведет к получению сперва одноосновных, а затем (через альдегидо- или кетокислоты) двухосновных кислот, например для альдоз:

$$CH_2OH(CHOH)_nCHO \rightarrow CH_2OH(CHOH)_nCOOH \rightarrow$$
$$\rightarrow CHO(CHOH)_nCOOH \rightarrow COOH(CHOH)_nCOOH.$$

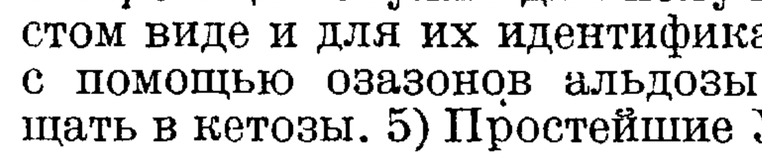
2) Восстановление аммиачного серебра и фелинговой жидкости: последняя реакция применяется для количественного определения У., напр. сахара в моче. Продуктами восстановления являются многозначные спирты (тетриты, пентиты, гекситы, гептиты):

$$CH_2OH(CHOH)_nCHO \rightarrow CH_2OH(CHOH)_nCH_2OH$$

и

$$CH_2OH(CHOH)_{n-1}CO\cdot CH_2OH \rightarrow CH_2OH(CHOH)_nCH_2OH.$$

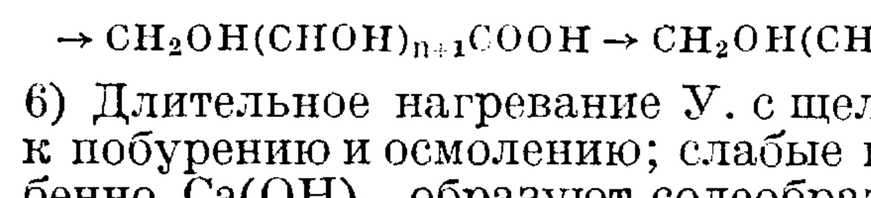
3) С гидроксиламином У. дают оксимы, напр. для кетоз:



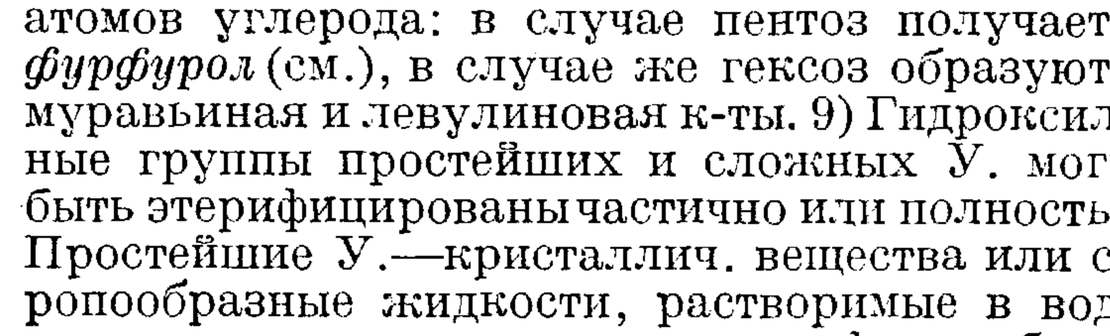
4) С фенилгидразином У. дают сперва гидразоны, напр. для альдоз:

$$CH_2OH(CHOH)_nCHO+NH_2\cdot NHC_6H_5=$$
$$=H_2O+CH_2OH(CHOH)_nCH:N\cdot NHC_6H_5;$$

затем при действии второй молекулы фенилгидразина получаются труднорастворимые озазоны:



Эта реакция служит для получения моноз в чистом виде и для их идентификации; кроме того с помощью озазонов альдозы можно превращать в кетозы. 5) Простейшие У. присоединяют синильную к-ту; путем омыления получающихся нитрилов и дальнейшего восстановления можно синтезировать монозы с бóльшим количеством атомов углерода, напр.



6) Длительное нагревание У. с щелочами ведет к побурению и осмолению; слабые щелочи, особенно $Ca(OH)_2$, образуют солеобразные, разлагаемые CO_2 сахараты. Эта реакция применяется при технологич. процессе получения сахара из свеклы. 7) С веществами типа фенолов или спиртов в присутствии HCl образуются часто эфиры — *глюкозиды* (см.). 8) Действие к-т на простейшие У. различно в зависимости от числа атомов углерода: в случае пентоз получается *фурфурол* (см.), в случае же гексоз образуются муравьиная и левулиновая к-ты. 9) Гидроксильные группы простейших и сложных У. могут быть этерифицированы частично или полностью. Простейшие У.—кристаллич. вещества или сиропообразные жидкости, растворимые в воде, труднее в спирте и еще меньше в эфире и бензоле. Сладким вкусом (в различной степени) обладают не только гексозы, но и большинство других моноз, а также нек-рые сложные У., как тростниковый и молочный сахара́. Молекула большинства У. содержит один или несколько асимметрич. атомов углерода (см. *Асимметрический углерод*), следствием чего является существование многочисленных стереоизомеров (см. *Стереохимия*). В природе находятся обычно У. в виде лишь одного из двух оптич. антиподов. Для многих У. характерно явление *мутаротации* (см.). Типичной особенностью мно-

гих У. является способность к брожению под влиянием энзимов, вырабатываемых микроорганизмами. На этом свойстве У. основано технич. получение не только этилового спирта, но и других продуктов, имеющих крупное технич. значение: бутилового спирта, масляной и молочной к-т; введением чистых культур определенных микроорганизмов в растворы У. вызывают преобладание желаемого типа брожения над остальными. Полисахариды сбраживаются лишь после их гидролитич. расщепления (инверсии), происходящего либо при добавлении минеральных к-т либо под действием природных катализаторов—*энзимов* (см.), специфич. по своему действию для каждого полисахарида.

Наиболее распространенными в природе У. из пентоз являются *l-арабиноза* (см.), к с и л о з а, получаемая из отрубей или соломы, р и б о з а, участвующая в образовании нуклеиновых к-т белка, р а м н о з а, находящаяся в виде глюкозида в нек-рых ягодах, и ф у к о з а—из водорослей. Из гексоз наиболее распространены альдозы: *d*-г л ю к о з а, *d*-г а л а к т о з а и *d*-м а н н о з а и кетозы: *d*-ф р у к т о з а (левулоза), содержащаяся во многих сладких фруктах, и с о р б о з а—из сока рябины. Из хитина ракообразных при гидролизе получается г л ю к о з а м и н $CH_2OH\cdot(CHOH)_3\cdot CH(NH_2)\cdot CHO$—представитель класса а м и н о г л ю к о з, рассматриваемый как азотсодержащий У.

Значительная часть моноз получена в настоящее время синтетически. Особый интерес представляет синтез *d*- и *l*-фруктозы и *d*-акрозы конденсацией формальдегида

$$6CH_2O=CH_2OH(CHOH)_3CO\cdot CH_2OH;$$

d-акроза м. б. далее превращена в *d*-глюкозу. Важнейший биологич. процесс ассимиляции углерода растениями под влиянием солнечной энергии при посредстве хлорофилла является также синтезом У.—крахмала из углекислоты и воды:

$$6CO_2+5H_2O=C_6H_{10}O_5+6O_2.$$

В связи с доказанным образованием формальдегида из углекислоты под влиянием ультрафиолетовых лучей дальнейшие успехи химии У. могут иметь в перспективе получение искусственных продуктов питания из CO_2 и H_2O. Из природных дисахаридов помимо молочного сахара, мальтозы и сахарозы наиболее важны ц е л л о б и о з а—продукт гидролиза клетчатки—и генциабиоза, получаемая при гидролизе глюкозида амигдалина; обе дают при расщеплении 2 молекулы *d*-глюкозы. Синтетически дисахариды получаются нагреванием в высоком вакууме двух моноз при 145—160°. Важнейшие естественные трисахариды: р а ф ф и н о з а, мелитриоза, госсипоза $C_{18}H_{32}O_{16}\cdot 5H_2O$ из сахарной свеклы, дающие при полном гидролизе по одной молекуле *d*-фруктозы, *d*-галактозы и *d*-глюкозы, далее м е л е ц и т о з а в манне и г е н ц и а н о з а в Gentiana lutea; обе последние при полном гидролизе дают две молекулы глюкозы и одну молекулу фруктозы. В манне содержится также м а н н е о т е т р о з а, при гидролизе дающая одну молекулу глюкозы, одну молекулу фруктозы и две молекулы галактозы. Из полисахаридов сложной структуры наиболее распространены в природе кроме клетчатки, крахмала, декстрина и н у л и н, г л и к о г е н в печени и крови животных, переходящий после смерти в *d*-глюкозу, и л и х е н и н, получаемый из исландского мха и других растений, окрашиваемый иодом в грязносиний цвет. Сложные У. встречаются в природе также в виде *камедей* (см.), слизей растительных и *пектиновых веществ* (см.).

У. являются важнейшей составной частью пищи человека и многих животных. Взрослый человек потребляет ежесуточно в зависимости от условий труда 400—700 *г* У.; при тяжелой физич. работе потребность в У. возрастает. У. усваиваются животным организмом на 95—99%. 1 *г* У. соответствует в среднем 3,7—4,4 Cal. Среднее содержание У. в важнейших продуктах питания (в %):

Пшеничная мука	73—75	Картоф. крахмал	80—81
Ржаная мука	73—75	Молоко коровье	4,5—5
Ячменная мука	68—69	Сыр	2—3
Крупа	76—77	Яйца	0,5—0,7
Толокно	67—68	Картофель	20—21
Маисовая мука	71—72	Овощи	2—15

Мясо почти не содержит У. Содержание У. в крови человека в среднем 0,1%, в моче—лишь в случае патологич. процессов.

Лит.: Ш о р ы г и н П., Химия углеводов и ее применения в промышленности, М.—Л., 1926; Ч и ч и б а б и н А., Основные начала органической химии, вып. 1, М.—Л., 1932; L i p p m a n n E., Die Chemie der Zuckerarten, 3 Aufl., Brschw., 1904; F i s c h e r E., Untersuchungen über Kohlenhydrate u. Fermente, B., 1909; A r m s t r o n g E., Die einfachen Zuckerarten u. ihre Glükoside, B., 1913; A b d e r h a l d e n E., Lehrbuch d. physiologischen Chemie, 3 Aufl., B. 1, 1914; P r i n g s h e i m H., Die Polysaccharide, B., 1931. **А. Зорохович.**

УГЛЕКИСЛОТА, технич. наименование д в у о к и с и у г л е р о д а CO_2 (угольный ангидрид, углекислый газ). У.—соединение, весьма распространенное в природе и играющее очень важную роль в геологич., биологич. и технологич. процессах. В атмосферном воздухе (сухом) содержится ~0,03% по объему или 0,046% по весу CO_2; в морской воде— ~ 90 *г* CO_2 в 1 $м^3$. Концентрированная У. во многих местах выделяется из скважин земной коры на ее поверхность в газообразном виде или в виде пересыщенных водных растворов. У. образуется при процессах горения и гниения органич. веществ и при дыхании животных; в воздухе, выдыхаемом из легких, содержится ~4% CO_2; человек за сутки выдыхает 800—900 *г* CO_2, а при усиленной физич. работе до 1 500 *г*. Производные У.—к а р б о н а т ы металлов (гл. обр. Ca и Mg)—имеют огромное распространение в земной коре (см. *Углерод*). У. находит технич. применение во всех трех агрегатных состояниях—газообразном, жидком и твердом.

Ф и з и ч е с к и е с в о й с т в а. У.—бесцветный газ с едва ощутимым запахом, при растворении в воде—со слабым кисловатым вкусом. Плотность по отношению к воздуху $\Delta = 1{,}524$ (0°, 760 *мм*); 1 *л* CO_2 при нормальных условиях весит 1,97686 *г*; вязкость $\eta = 0{,}000139$ (в единицах *CGS*, при 0°); коэф. диффузии в воздухе (при 0°) 0,142; звукопроводность (при 0°) 258 *м/сек*. Удельная теплоемкость c_p при —75°—0,184, при 0°—0,188, при 1 000°—0,272, при 2 000°—0,356 cal/*г*; молекулярная теплоемкость (для 0°): $C_p = 8{,}27$, $C_v = 6{,}26$ cal/моль. Теплопроводность CO_2 равна 0,000033 cal/*см* ск. °C. Коэф. преломления $n_D = 1{,}00045$; молекулярная рефракция $R_D = 6{,}68$; диэлектрич. постоянная $\varepsilon = 1{,}001$ (0°, 760 *мм*). Растворимость CO_2 в воде (под атмосферным давлением): при 0°—171, при 15°—102, при 20°—88, при 30°—66, при 60°—36 объемов в 100 объемах H_2O; при повышении давления растворимость увеличивается, следуя до ~ 14 *atm* закону Генри. В растворах, содержащих органич. коллоиды (напр. в пиве, квасе), растворимость CO_2 м. б. заметно выше только-что указанной, что объясняется адсорб-

цией У. на коллоидных частицах. Теплота растворения CO_2 в воде равна 5 630 cal/моль. В 1 объеме спирта растворяется при 0°—4,3 объема, при 20°—2,9 объема CO_2. Обратить У. в жидкость возможно только с помощью давления; одним охлаждением У. переводится прямо в твердое состояние. Также и твердая У. при повышении $t°$ обращается в газ, не плавясь, т. к. ее $t°_{пл.}$ (ок. −56°) лежит выше, чем $t°_{кип.}$ (−78,5°). Упругость пара CO_2 (или сжижающее давление) равна при 0°—35 *atm*, 10°—44 *atm*, 15°—52 *atm*, 20°—56 *atm*. Критич. давление 72,9 *atm*; $t°_{крит.}$ + 31,3°. Сжиженная У. бесцветна и подвижна; ее уд. в.: $D^{-20} = 1{,}0$; $D^{0} = 0{,}947$; $D^{15} = 0{,}813$; $D^{20} = 0{,}772$; $D^{30} = 0{,}46$. Отсюда видно, что коэф. расширения жидкой У. очень велик: в интервале $t°$ 0° → 30° объем увеличивается в ~ 1,5 раза. Вязкость жидкой У. (при 10°) $\eta = 0{,}00085$ единиц *CGS* ($\eta^{10°}_{H_2O} = 0{,}013$); теплота испарения 47,7 Cal/*кг*. При испарении 1 *кг* жидкой У. дает 509 *л* газа или 1 *л* жидкой У.—462 *л* газа. Жидкая У. хорошо растворима в эфире и низших спиртах, но обладает ничтожной растворяющей способностью по отношению к твердым веществам. Твердая У., образующаяся легче всего при быстром испарении жидкой У., — снегообразная мелкокристаллич. масса; уд. в. $D_0^{-79} = 1{,}53$; $t°_{пл.}$ (под давлением 5,1 *atm*) равна −56,7°; $t°_{кип.}$ (возгонки) равна −78,5°; теплота плавления 45,3 cal/*г*; теплота испарения (при −78,5°) 136,9 cal/*г*.

Химические свойства. У.—соединение неполярное: молекула CO_2 имеет поперечник 3,2 Å, причем атом С лежит в центре, атомы же О расположены диаметрально, на удалении 1,59 Å от С. Устойчивость У. весьма значительна даже при высоких $t°$: термич. диссоциация ее по ур-ию $2CO_2 \rightleftarrows 2CO + O_2$ начинается ок. 1 200°; при 2 600° распадается ок. 50%, а при 2 800° ок. 75% CO_2. Будучи высшим окислом углерода, У. неспособна к дальнейшему окислению; восстановителями же она м. б. переведена в различные продукты. Так, CO_2 восстанавливается: углем при $t° > 450°$ до окиси углерода CO, щелочными и щелочноземельными металлами при краснокалильном жаре—до свободного углерода, водородом при 300—400° на Ni-катализаторе—до метана (а под давлением 200—300 *atm* также и до метанола). Металлич. калий и магний горят в атмосфере CO_2, выделяя углерод в виде сажи. В природе CO_2 ассимилируется растениями (при фотокаталитическом содействии хлорофилла), восстанавливаясь при обыкновенной $t°$ в формальдегид CH_2O, из молекул к-рого синтезируются углеводы и далее жиры и белки. О круговороте CO_2 в природе см. *Углерод*.

У. обладает свойствами кислотного окисла и легко соединяется с щелочными окислами и с щелочами в соответствующие соли двухосновной угольной кислоты H_2CO_3. Свободная угольная к-та образуется в незначительных количествах при растворении CO_2 в воде согласно ур-ию $CO_2 + H_2O \rightleftarrows H_2CO_3$; она дает слабокислую реакцию на лакмус вследствие ионизации по схеме $H_2CO_3 \rightleftarrows H^{\cdot} + HCO_3'$. Угольная к-та образует соли вида Me_2CO_3 (карбонаты) и $MeHCO_3$ (бикарбонаты); в растворах самой H_2CO_3 и бикарбонатов имеются анионы HCO_3', в растворах же карбонатов—анионы CO_3''. Молекулярная рефракция R_D для иона CO_3'' равна 12,27. Все карбонаты, кроме щелочных, нерастворимы в воде; при нагревании ниже $t°_{пл.}$ они распадаются на окись металла и CO_2 (исключая Na_2CO_3 и K_2CO_3) и выделяют CO_2 при действии к-т. Бикарбонаты лучше растворимы и легче распадаются (даже при кипячении их растворов). H_2CO_3 принадлежит к числу слабых к-т; константа ее диссоциации K на основе экспериментальных данных обычно принималась равной $3 \cdot 10^{-7}$ (при 18°), что однако не соответствует действительности, т. к. при этом не учитывался % негидратированной CO_2 в растворе. Истинная величина K д. б. примерно в 1 000 раз больше указанной, т. е. угольная к-та на деле сильнее муравьиной, практически же ничтожная сила H_2CO_3 обусловлена почти полным распадом ее на CO_2 и H_2O; так, даже при $t°$, близкой к 0°, лишь 0,5—0,6% всей растворенной CO_2 образует H_2CO_3, а при $t° = 100°$ H_2CO_3 не существует.

У.—газ физиологически почти инертный: ядовитостью в прямом смысле она (вопреки распространенному мнению) не обладает. Малые концентрации CO_2 в воздухе стимулируют работу дыхательного центра, высокие же (> 1%) концентрации вызывают нек-рые нарушения физиологич. обмена, из-за чего У. может рассматриваться как бытовая, а иногда и профессиональная вредность. Содержание CO_2 в воздухе до 1% не вызывает опасных явлений и м. б. допускаемо в течение нескольких часов, хотя всякое повышение его сверх обычной нормы (0,03—0,04%) ухудшает самочувствие и временно понижает работоспособность организма. Пламя свечи тухнет в воздухе, содержащем 6—12% CO_2, пламя газовой горелки—при содержании > 30% CO_2.

Получение У. Природная У. утилизируется лишь при наличии богатых источников концентрированного натурального газа. Гораздо чаще У. получается химич. путем, для чего используют следующие реакции: а) горение углерода или органич. веществ, б) термич. разложение карбонатов, в) действие к-т на карбонаты и г) процессы брожения углеводов. Для лабораторных целей CO_2 получают, разлагая $CaCO_3$, $NaHCO_3$ или Na_2CO_3 соляной или серной к-той. Для промышленного использования У. чаще всего вырабатывается на месте потребления; на рынке обращается лишь менее 1% всей расходуемой У., притом исключительно в жидком или твердом виде. Промышленное производство У. базируется на следующих исходных материалах: 1) газы известеобжигательных печей (содержат до 40% CO_2), 2) газы специальных топок, работающих на коксе или антраците (до 18% CO_2), 3) дымовые газы обычных котельных установок (3—12% CO_2), 4) газы брожения, 5) отбросная У. при получении водорода из водяного газа (на з-дах синтетич. аммиака), 6) У., получаемая из $CaCO_3 + 2HCl$, и 7) натуральный газ углекислых источников. Последние два источника имеют второстепенное значение и используются гл. обр. для нужд пищевой и химико-фармацевтич. пром-сти.

Производство газообразной У. Наибольшие количества У. получаются обжигом известняка в шахтных известеобжигательных печах (см. *Известь*) или магнезита и доломитов в ретортных либо вращающихся печах, а также из продуктов горения угля или кокса. Процесс обжига известняка основан на обратимой реакции $CaCO_3 \rightleftarrows CaO + CO_2$, к-рая слева направо протекает эндотермически. Равновесие системы зависит от парциального давления CO_2, к-рая поэтому д. б. непрерывно удаляема

из реакционной зоны (тяга). Упругость диссоциации $CaCO_3$ (в *мм* Hg) равна: при 500° ~ 20; при 700°—50; при 800°—195; 900°—700; 1 000°—2 830 *мм*. Т. о. под атмосферным давлением диссоциация начинается при $t° > 800°$; на практике обжиг ведут при 1 000—1 200°. При оптимальном, достаточно малом расходе горючего (кокса) содержание CO_2 в отходящих газах м. б. доведено до 40% по объему; эта У. получается: а) за счет диссоциации $CaCO_3$ и б) за счет сгорания топлива. Расход горючего (в перерасчете на углерод) колеблется в пределах 7 ÷ 15% веса $CaCO_3$; соответственно этому меняется концентрация CO_2 в получаемом газе. Ниже приводятся данные о расходе углерода (в *кг*) на обжиг 100 *кг* $CaCO_3$ и соответственное содержание CO_2 в отходящем газе (в объемных %):

Расход углерода	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Содержание CO_2	41,8	40,0	38,2	36,8	35,6	34,7	33,7	32,9	32,3

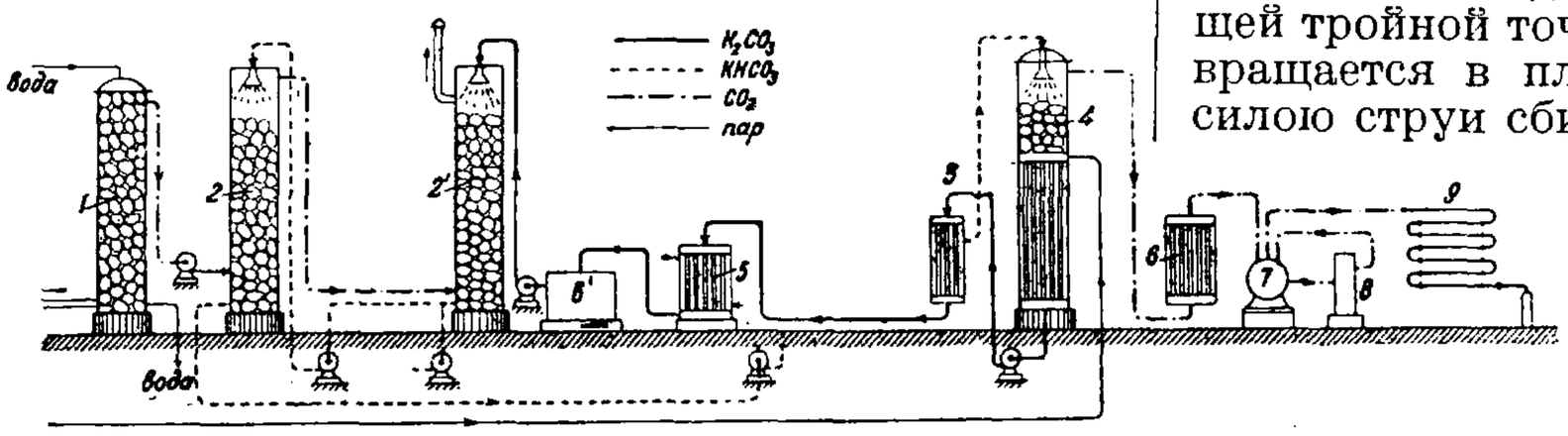
Контроль работы печей на У. заключается в определении CO_2 в газах прибором Орса (см. *Анализ газов*) с NaOH или при помощи автоматич. газоанализатора. Вследствие сильной запыленности получаемый газ должен обязательно подвергаться тщательной промывке, либо механич. фильтрации, либо электрофильтрации. Газообразная У. в продажу не поступает и не перевозится.

Производство жидкой У. Для сжижения У. берут концентрированный газ с содержанием CO_2 выше 95%. Концентрирование У. производят почти всегда химич. путем, поглощая CO_2 из первичного газа (содержащего в большом количестве азот) раствором поташа и разлагая полученный бикарбонат кипячением:

I. $K_2CO_3 + H_2O + CO_2 \rightarrow 2KHCO_3$,

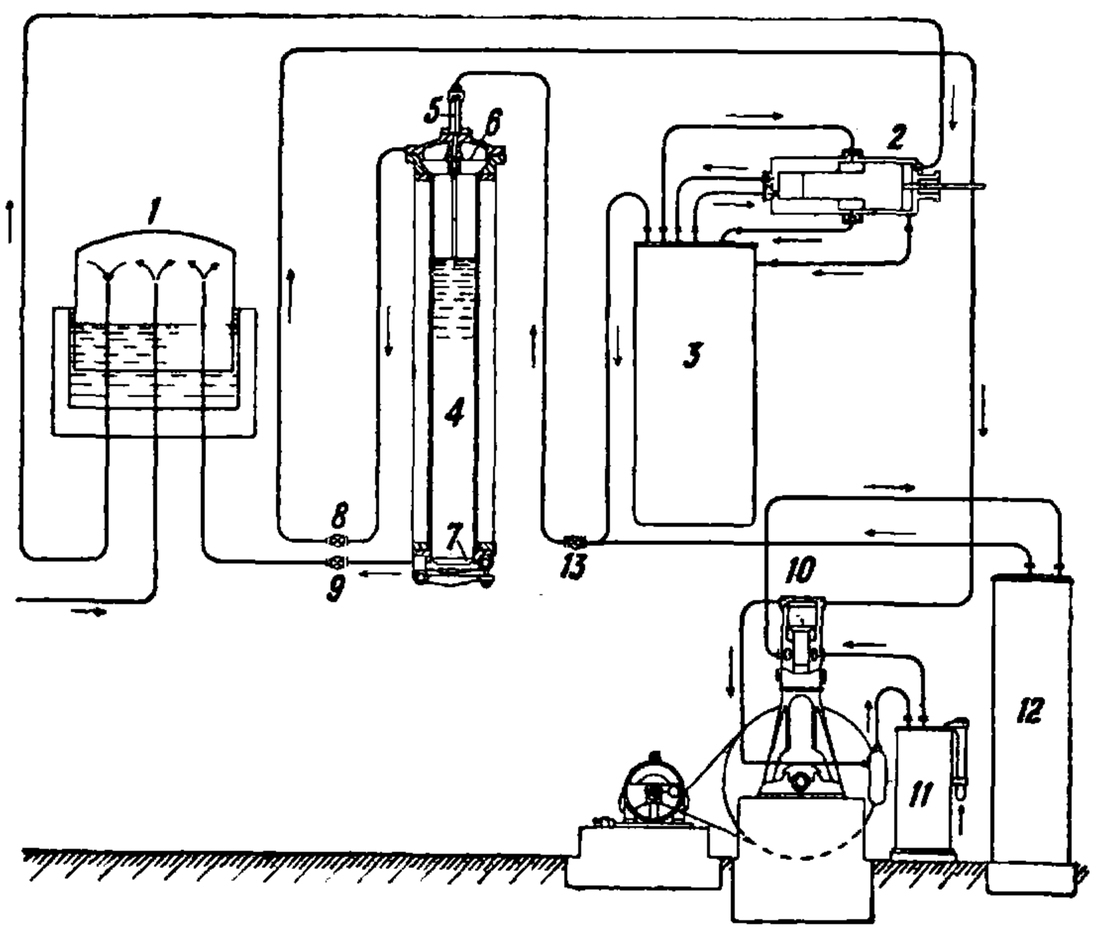
II. $2KHCO_3 \rightarrow K_2CO_3 + H_2O + CO_2$.

Типичная схема установки для обогащения и сжижения У. показана на фиг. 1. Горячие газы, полученные сжиганием топлива или другим термич. путем, в скруббере *1* промываются водой, охлаждаясь при этом до 30—40°, затем проходят последовательно через 2—4 абсорбера *2*, *2′*, орошаемых 10—15%-ным раствором K_2CO_3, с $t°$ 45—50°; т. о. связывается 50—70% всей CO_2 в виде $KHCO_3$. Раствор $KHCO_3$ проводится через теплообменник *3*, где подогревается до ~ 75° и поступает в диссоциатор *4*, имеющий внизу обогрев глухим паром, а вверху кварцевую насадку; здесь до 75% бикарбоната распадается, освобождая CO_2. Вытекающий из диссоциатора щелок, обогащенный K_2CO_3, отдает избыточное тепло в теплообменнике *3* и в водяном холодильнике *5*, охлаждаясь до ~ 50°, и через бак *6′* вновь идет для орошения абсорбера *2′*. Обогащенная У. из *4* направляется в холодильник *6* и далее в компрессор *7*. Обычно применяют двухступенную (10—50 *atm*) или. чаще, трехступенную компрессию, пропуская газ после 1-го сжатия через осушитель *8*, а после окончательного—через холодильник *9*, из к-рого жидкая У. поступает непосредственно на разливку. Практич. расход K_2CO_3—ок. 2 *кг* на 1 *т* У. Тара для хранения и перевозки жидкой У.—стальные баллоны.



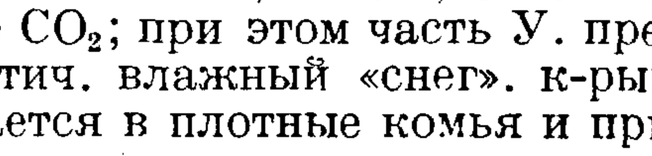
Фиг. 1.

Производство твердой У. Твердая У. выпускается на рынок под названием сухого льда. Фабрикация этого продукта слагается из следующих основных операций: а) получение чистой У., б) сжижение ее, в) превращение жидкой У. в твердое состояние за счет частичного испарения (и рекуперация испарившейся части), г) формовка твердой У. и д) упаковка. Имеется несколько типов аппаратуры для этого производства. По способу,



Фиг. 2.

осуществленному швейцарской фирмой «Карба», жидкая У. подвергается 2-ступенному испарению. Сначала она проводится через специальное сопло (диффузор), где давление снижается лишь до величины 5,28 *atm*, отвечающей тройной точке CO_2; при этом часть У. превращается в пластич. влажный «снег». к-рый силою струи сбивается в плотные комья и при вторичном понижении давления до 1 *atm* застывает в компактные «ледяные» блоки. Схема этой установки дана на фиг. 2. Из газгольдера *1* У. проходит трехступенный компрессор *2*, затем ожижающий холодильник *3* и поступает в льдогенератор *4* через сопло *5*, снабженное диффузором (фиг. 3), где частично превращается в снег. Испарившаяся часть CO_2 через верхний фильтр *6* отводится на нижнюю ступень компрессора. Сечения диффузора подобраны так, что на участке *1* (фиг. 3) происходит расширение и частичная кристаллизация жидкой CO_2; полученный мокрый снег выбрасывается через сопло *2* (фиг. 3) на нижний фильтр *7* и постепенно заполняет цилиндр *4*. В нужный момент прекращают подачу CO_2 (вентилем *13*), закрывают шибер *8* и открывают *9*, сообщая т. о. подфильтровое пространство с нижней ступенью компрессора *2*: давление падает, и блок CO_2 смерзается в плотную массу за счет испарения оставшейся в нем жидкой CO_2. Тогда закрывают шибер *9* и открывают нижнюю крышку генератора, причем готовый блок сухого льда



Фиг. 3.

медленно выскальзывает в подставленный приемник. Неотвержденная в *5* часть CO_2 выводится через *8* в дополнительный двухступенный компрессор *10*, где проходит 1-е сжатие, холодильник *11*, 2-е сжатие и сжижающий холодильник *12*, затем через вентиль *13* снова вводится в процесс. Установка с тремя испарительными агрегатами дает в сутки 3—5 *m* твердой У. Производство сухого льда существует с 1925 г. (США). В настоящее время оно имеется в США (ок. 30 з-дов с общей продукцией до 40 000 *m*), в Германии (8 з-дов), Франции, Швейцарии, Канаде, Мексике, Австралии и Японии. Стандартная форма сухого льда для рынка в США—кубики с ребром 25 *см*, весом ок. 15 *кг* или цилиндрики $\varnothing$ 3,5 *см*, $h = 15 \div 20$ *см*. Тара для них—бумажные пакеты, которые для перевозки укладываются в теплонепроницаемые ящики. Потери при хранении—в пределах 1—5% за сутки. На специально оборудованных торговых складах твердая У. хранится до $^1/_2$ года. Стоимость сухого льда в США—ок. 20 долл. за 1 *m*.

Применение У. Газообразная У. широко применяется в сахарной пром-сти (для разложения Са-сахарата), в производстве соды по аммиачному способу и бикарбонатов Na и K, в производстве сернокислого алюминия по способу Левига, при получении чистой окиси алюминия из бокситов, в производстве бихромата и перманганата калия, при химич. очистке рассолов NaCl (для электролиза и для получения пищевой соли). Она расходуется также в пивоваренном деле, употребляется для выделения серы из содовых остатков, служит сырьем для технич. синтеза мочевины, метилового спирта (по реакции $CO_2 + 3H_2 = CH_3OH + H_2O$ с катализатором $ZnO + MgO + Fe_2O_3$ под давлением до 300 *atm*), салициловой к-ты и некоторых других органич. препаратов; предложена как консервирующее средство для пищевых продуктов. В медицине У. имеет значение как составная часть лечебных минеральных вод. Часть У. поступает на сжижение и на производство сухого льда. Жидкая У. непосредственно используется в холодильном деле и в лабораторной технике, а в последнее время также для горно-подрывных работ. Главным же образом она служит транспортабельной формой CO_2, используемой на месте потребления в газообразном виде: для производства искусственных минеральных вод, шипучих вин и других газированных напитков, для медицинских ванн и т. д. Твердая У. (сухой лед) применяется почти исключительно как источник холода—на городских холодильниках, консервных з-дах, в складах и магазинах, при перевозке скоропортящихся продуктов, в кондитерском производстве, в комнатных ледниках. Ее применяют также для лабораторного получения низких $t°$ (дает охлаждение до $-78°$, а в смеси с ацетоном под вакуумом до $-110°$), в вакуумной технике и для дезинсекции хлебопродуктов (в смеси с окисью этилена). Потребление твердой У. в США за последнее время превышает потребление жидкой. В холодильном деле применение твердой У. взамен льда имеет следующие преимущества: 1) значительно меньший расход охладителя, равный $^1/_3$—$^1/_5$ расхода обыкновенного льда; 2) сухость охлаждаемого помещения (твердая У. не тает и потому не дает сырости, грязи и не вызывает коррозии транспортного оборудования или порчи продуктов талой водой); 3) возможность быстрого и глубокого местного охлаждения; 4) консервирующее действие выделяемого газа на продукты; 5) допустимость применения в ручном багаже и почтовых посылках и 6) упрощенная и очень легкая тара, обычно не подлежащая возврату.

Лит.: Свойства углекислоты: Менделеев Д., Основы химии, 9 изд., т. 1, М.—Л., 1927; Меншуткин Б., Курс общей химии (неорганической), 4 изд., Л., 1933; Никитинский Я., «Пищевая промышленность», М., 1932, *5*, стр. 21, и *6*, стр. 28 (У. как консервант для пищевых продуктов); Ephraim Fr., Anorganische Chemie, 4 Aufl., Dresden—Leipzig, 1929; Plank R. u. Kuprianoff, Die thermischen Eigenschaften d. Kohlensäure, B., 1929; Производство углекислоты: Лукьянов П., Курс химич. технологии минеральных веществ, 3 изд., ч. 1, М.—Л., 1933; Меликов В., «ЖХП», 1933, *4*, стр. 6 (сухой лед); Wender N., Die Kohlensäureindustrie, B., 1901; Luhmann E., Die Fabrikation d. flüssigen Kohlensäure, B., 1904; Goosmann J., The Carbonic Acid Industry, Chicago, 1906; Baum H., Die wirtschaftliche Bedeutung u. die Handelstechnik d. Kohlensäureindustrie, B., 1911; Dammer O. u. Peters F., Chemische Technologie d. Neuzeit, 2 Aufl., B. 3, B.—Stg., 1927; Plank R., Amerikanische Kältetechnik, B., 1929; Luckow C., «Chemische Apparatur», Lpz., 1930, B. 17, p. 229 u. 243; Killeffer D., «J. Eng. Chem.», Wsh., 1930, v. 22, p. 1087; Reich G., «Chem. & Met. Engineering», N. Y., 1931, v. 38, p. 136; Ullm. Enz., 2 Aufl., B. 6, p. 588; Много сведений имеется также в журналах: «Ztschr. f. komprimierte u. flüssige Gase», Weimar; «Ztschr. f. Kohlensäure», 1910—1914, с 1915 г. переименован в «Kohlensäure u. Mineralwasser», B.; «Ztschr. f. die gesamte Kälte-Industrie», B., с 1900 г.

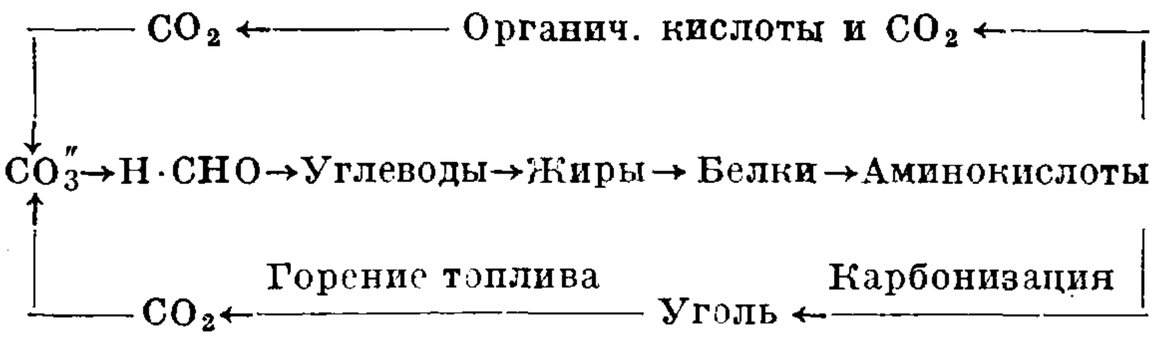
В. Янковский.

УГЛЕМОЙКА, см. *Обогащение полезных ископаемых.*

УГЛЕРОД, C, химич. элемент IV группы периодич. системы, ат. в. 12,00, порядковый номер 6. До последнего времени У. считался не имеющим изотопов; лишь недавно удалось с помощью особо чувствительных методов обнаружить существование изотопа C^{13}. У. — один из важнейших элементов по распространенности, по многочисленности и разнообразию его соединений, по биологическому значению (как органоген), по обширности технического использования самого У. и его соединений (как сырья и как источника энергии для промышленных и бытовых нужд) и наконец по своей роли в развитии химической науки. У. в свободном состоянии обнаруживает ярко выраженное явление *аллотропии* (см.), известное уже более $1^1/_2$ в., но до сих пор не вполне изученное как по причине чрезвычайной трудности получения У. в химически чистом виде, так и потому, что большинство констант аллотропных модификаций У. сильно меняется в зависимости от морфологич. особенностей их структуры, обусловленных способом и условиями получения. У. образует две кристаллич. формы—*алмаз* (см.) и *графит* (см.) и кроме того известен в аморфном состоянии в виде т. н. аморфного угля. Индивидуальность последнего в результате недавних исследований оспаривалась: уголь отождествляли с графитом, рассматривая тот и другой как морфологич. разновидности одной формы—«черного углерода», а разницу в их свойствах объясняли физич. структурой и степенью дисперсности вещества. Однако в самое последнее время получены факты, подтверждающие существование угля как особой аллотропной формы (см. ниже).

Природные источники и запасы У. По распространенности в природе У. занимает среди элементов 10-е место, составляя 0,013% атмосферы, 0,0025% гидросферы и ок. 0,35% всей массы земной коры. Бо́льшая часть У. находится в форме кислородных соединений: в атмосферном воздухе содержится ~ 800 млрд. *m* У. в виде двуокиси CO_2; в воде океанов и морей—до 50 000 млрд. *m* У. в виде CO_2, иона

угольной к-ты и бикарбонатов; в горных породах—нерастворимые карбонаты (кальция, магния и других металлов), причем на долю одного $CaCO_3$ приходится ~ $160 \cdot 10^6$ млрд. *m* углерода. Эти колоссальные запасы не представляют однако энергетической ценности; гораздо более ценными являются горючие углеродистые материалы—*ископаемые угли* (см.), *торф* (см.), затем нефть, углеводородные газы и другие природные *битумы* (см.). Запас этих веществ в земной коре также довольно значителен: общая масса У. в ископаемых углях достигает ~ 6 000 млрд. *m*, в нефти ~ 10 млрд. *m* и т. д. В свободном состоянии У. встречается довольно редко (алмаз и часть вещества графитов). Ископаемые угли почти или вовсе не содержат свободного У.: они состоят гл. обр. из высокомолекулярных (полициклических) и весьма устойчивых соединений У. с другими элементами (H, O, N, S), еще очень мало изученных. Углеродистые соединения живой природы (биосферы земного шара), синтезируемые в растительных и животных клетках, отличаются чрезвычайным разнообразием свойств и количеств состава; наиболее распространенные в растительном мире вещества—клетчатка и лигнин—играют роль и в качестве энергетич. ресурсов (см. *Дерево*). У. сохраняет постоянство распределения в природе благодаря непрерывному круговороту, цикл к-рого слагается из синтеза сложных органич. веществ в растительных и животных клетках и из обратной дезагрегации этих веществ при их окислительном распаде (горение, гниение, дыхание), приводящем к образованию CO_2, к-рая вновь используется растениями для синтеза. Общая схема этого круговорота м. б. представлена в следующем виде:



Получение У. Углеродистые соединения растительного и животного происхождения неустойчивы при высоких *t*° и, будучи подвергнуты нагреванию не ниже 150—400° без доступа воздуха, разлагаются, выделяя воду и летучие соединения У. и оставляя твердый нелетучий остаток, богатый углеродом и обычно называемый углем. Этот пиролитич. процесс носит название обугливания, или сухой перегонки, и широко применяется в технике: см. *Дерево*, сухая перегонка, *Древесный уголь*, *Животный уголь*. Высокотемпературный пиролиз ископаемых углей, нефти и торфа (при *t*° 450—1 150°) приводит к выделению У. в графитообразной форме (кокс, ретортный уголь); о технологии этого процесса—см. *Коксование*, *Кокс*, *Каменный уголь*, сухая перегонка, *Газ нефтяной* и *Торф*. Чем выше *t*° обугливания исходных материалов, тем получаемый уголь или кокс ближе по составу к свободному У., а по свойствам—к графиту. Аморфный же уголь, образующийся при *t*° ниже 800°, не м. б. рассматриваем как свободный У., ибо содержит значительные количества химически связанных других элементов, гл. обр. водорода и кислорода. Из технич. продуктов к аморфному углю наиболее близки по свойствам *активированный уголь* (см.) и *сажа* (см.). Наиболее чистый уголь м. б. получен обугливанием чистого сахара или пиперонала, специальной обработкой газовой сажи и т. п. Искусственный графит, полученный электротермич. путем, по составу представляет собою почти чистый У. Природный графит всегда бывает загрязнен минеральными примесями и кроме того содержит нек-рое количество связанных H и O; в относительно чистом состоянии он м. б. получен лишь после ряда специальных обработок: механич. обогащения, промывки, обработки окислителями и прокаливания при высокой *t*° до полного удаления летучих веществ. В технологии У. никогда не имеют дела с совершенно чистым У.; это относится не только к натуральному углеродному сырью, но и к продуктам его обогащения, облагораживания и термич. разложения (пиролиза). Ниже приведено содержание У. в нек-рых углеродистых материалах (в %):

Костяной уголь	6—12	Промышл. активные угли	80—99
Торф (сухой)	40—50	Графит природный	40—98
Почвенный гумус (сухой)	~ 70	Графит, обогащенный и прокален.	98,0—99,8
Бурые угли	45—70	Графит ачесоновский искусств.	99,8
Каменные угли	70—90	Наиболее чистый уголь лаборат. изготовления	99,8
Антрацит	90—95	Алмаз	99,80—99,95
Кокс металлургический	70—92		
Древесный уголь	70—98		
Сажа	80—95		
Кровяной уголь	88—91		

Физические свойства У. Свободный У. практически совершенно неплавок, нелетуч и при обыкновенной *t*° нерастворим ни в одном из известных растворителей. Он растворяется только в нек-рых расплавленных металлах, особенно при *t*°, приближающихся к $t°_{кип.}$ последних: в железе (до 5%), серебре (до 6%), рутении (до 4%), кобальте, никеле, золоте и платине. При отсутствии кислорода У. является наиболее жароупорным материалом; жидкое состояние для чистого У. неизвестно, а превращение его в пар начинается лишь при *t*° выше 3 000°. Поэтому определение свойств У. производилось исключительно для твердого агрегатного состояния. Из модификаций У. алмаз обладает наиболее постоянными физич. свойствами; свойства графита в различных его образцах (даже наиболее чистых) значительно варьируют; еще более непостоянны свойства аморфного угля. Важнейшие физич. константы различных модификаций У. сопоставлены в таблице. Алмаз—типичный диэлектрик, в то время как графит и уголь обладают металлич. электропроводностью. По абсолютной величине проводимость их меняется в очень широких пределах, но для углей она всегда ниже, чем для графитов; у графитов же приближается к проводимости настоящих металлов. Теплоемкость всех модификаций У. при $t° > 1\,000°$ стремится к постоянному значению 0,47. При *t*° ниже −180° теплоемкость алмаза становится исчезающе малой и при −27° она практически делается равной нулю.

Химические свойства У. При нагревании выше 1 000° как алмаз, так и уголь постепенно превращаются в графит, который поэтому следует рассматривать как наиболее устойчивую (в условиях высоких температур) монотропную форму У. Превращение аморфного угля в графит начинается повидимому ок. 800° и заканчивается при 1 100° (в этой последней точке уголь теряет свою адсорбционную активность и способность к реактивации, а электропроводность его резко возрастает, оставаясь в дальнейшем почти постоянной).

Для свободного У. характерна инертность при обычных $t°$ и значительная активность—при высоких. Наиболее активен в химич. отношении аморфный уголь, в то время как алмаз обладает наибольшей резистентностью. Так напр., фтор реагирует с углем при $t°$ 15°, с графитом же лишь при 500°, а с алмазом при 700°. При нагревании на воздухе пористый уголь начинает окисляться ниже 100°, графит ок. 650°, алмаз же выше 800°. При $t°$ 300° и выше уголь соединяется с серой в сероуглерод CS_2. При $t°$ выше 1 800° У. (уголь) начинает взаимодействовать с азотом, образуя (в незначительных количествах) дициан C_2N_2. Взаимодействие У. с водородом начинается при 1 200°, причем в интервале $t°$ 1 200—1 500° образуется только метан CH_4; выше 1 500°—смесь метана, этилена (C_2H_4) и ацетилена (C_2H_2); при $t°$ порядка 3 000° получается почти исключительно ацетилен. При $t°$ электрич. дуги У. вступает в прямое соединение с металлами, кремнием и бором, образуя соответствующие карбиды. Прямыми или косвенными путями м. б. получены соединения У. со всеми известными элементами, кроме газов нулевой группы. У.—элемент неметаллич. характера, проявляющий нек-рые признаки амфотерности. Атом У. имеет диам. 1,50 Å (1Å = 10^{-8} *см*) и содержит во внешней сфере 4 валентных электрона, к-рые с равной легкостью отдаются либо дополняются до 8; поэтому нормальная валентность У. как кислородная, так и водородная равна четырем. В подавляющем большинстве своих соединений У. четырехвалентен; лишь в незначительном числе известны соединения двувалентного У. (окись У. и ее ацетали, изонитрилы, гремучая к-та и ее соли) и трехвалентного (т. н. «свободный радикал», см. *Радикалы*).

С кислородом У. образует два нормальных окисла: двуокись углерода CO_2 кислотного характера (см. *Углекислота*) и нейтральную *окись углерода* (*см.*) CO. Кроме того существует ряд недокисей углерода, содержащих более 1 атома С, не имеющих технич. значения; из них наиболее известна недокись состава C_3O_2 (газ с $t°_{кип.}$ +7° и $t°_{пл.}$ −111°).

Физические свойства свободного углерода.

Константы	Модификации У.		
	Алмаз	Графит	Аморфный уголь
Кристаллич. форма	Кубич. сист.	Гексагон. сист.	Аморфен
Цвет	Бесцветный	Блест.-серый	Черный
Уд. вес	3,51—3,52	2,22—2,32	1,4—2,0
То же—средний для наиболее чистых препаратов (D^{20}_4)	3,514	2,255 (*a*)	1,72—1,86
Атомный объем	3,42	5,33 (средн.)	6,5 (среднее)
Твердость по шкале Моса	10	5,5	Переменная
Сжимаемость ($см^2\ кг^{-1}$)	$0{,}18 \cdot 10^{-6}$	$\sim 3 \cdot 10^{-6}$	
Уд. электрич. сопротивление при 0° (Ω/*см*)	$\sim 2 \cdot 10^{14}$	$(2{,}6 \div 35) \cdot 10^{-4}$	Переменное
Коэф. преломления света	2,4173 (для λ = 5 890 Å)	1,9—2,0 (для λ = 4 360÷6 230 Å)	— —
Теплоемкость при +10°:			
удельная (cal/*г*)	0,1128	0,1604	Средн. 0,1935 (0,17—0,26)
атомная (cal/*г*-атом)	1,35	1,92	Средн. 2,32 (2,0—3,1)
$t°$ перехода аллотропных форм	Выше 1 000°→графит	$\alpha \rightarrow \beta$ при 570°	Выше 800—1 100°→графит
$t°_{пл.}$	→графит	3 845° K (?)	→графит
$t°_{кип.}$	—	4 200—4 830°	—
$t°$ возгорания (в чистом O_2)	800—900°	~700°	300—400°
Теплота горения (cal/*г*)	7 869—7 873	7 832—7 856 (α) (β)	7 891—8 148
» » (Cal/*г*-атом)	94,48	93,97—91,27 (α) (β)	97,65—97,78

Первым продуктом горения У. и его соединений является CO_2, образующаяся по ур-ию:

$$C + O_2 = CO_2 \quad +97\,600 \text{ cal.}$$

Образование CO при неполном сгорании топлива есть результат вторичного восстановительного процесса; восстановителем в этом случае служит сам У., к-рый при $t°$ выше 450° реагирует с CO_2 по ур-ию:

$$CO_2 + C = 2CO \quad -38\,800 \text{ cal;}$$

реакция эта обратима; выше 950° превращение CO_2 в CO делается практически полным, что и осуществляется в газогенераторных печах. Энергичная восстановительная способность У. при высоких $t°$ используется также при получении водяного газа ($H_2O + C = CO + H_2 - 28\,380$ cal) и в металлургич. процессах—для получения свободного металла из его окисла. К действию некоторых окислителей аллотропные формы У. относятся различно: напр. смесь $KClO_3 + HNO_3$ на алмаз совершенно не действует, аморфный уголь окисляется ею сполна в CO_2, графит же дает соединения ароматич. ряда—графитовые к-ты с эмпирич. формулой $(C_2OH)_x$ и далее меллитовую кислоту $C_6(COOH)_6$. Соединения У. с водородом—*углеводороды* (см.)—крайне многочисленны; от них генетически производится большинство остальных *органических соединений* (см.), в к-рые кроме У. входят чаще всего H, O, N, S и галоиды.

Исключительное многообразие органич. соединений к-рых известно до 2 млн., обусловлено нек-рыми особенностями У. как элемента. 1) Для У. характерна прочность химич. связи с большинством остальных элементов как металлич., так и неметаллич. характера, благодаря чему он образует достаточно устойчивые соединения и с теми и с другими. Вступая в сочетание с другими элементами, У. весьма мало склонен к образованию ионов. Бо́льшая часть органич. соединений—гомеополярного типа и в обычных условиях не диссоциирует; разрыв внутримолекулярных связей в них нередко требует затраты значительного количества энергии. При суждении о прочности связей следует однако различать: а) прочность связи абсолютную, измеряемую термохимич. путем, и б) способность связи разрываться под действием различных реагентов; эти две характеристики далеко не всегда совпадают. 2) Атомы У. с исключительной легкостью связываются друг с другом (неполярно), образуя углеродные цепи, открытые или замкнутые. Длина таких цепей повидимому не подвержена никаким ограничениям: так, известны вполне устойчивые молекулы с открытыми цепями из 64 атомов У. Удлинение и усложнение открытых цепей не отражается на прочности связи их звеньев между собою или с другими элементами. Среди замкнутых цепей наиболее легко образуются 6- и 5-членные кольца, хотя известны кольчатые цепи, содержащие от 3 до 18 углеродных атомов. Способность атомов У. к взаимному соединению хорошо объясняет особые свойства графита (см. ниже) и механизм процессов обугливания; она делает понятным и тот факт, что У. неизвестен в форме двухатомных молекул C_2, чего можно было бы ожидать по аналогии с другими легкими неметаллическими элементами (в парообразной форме углерод состоит из одноатомных молекул). 3) Благодаря неполярному характеру связей очень многие соединения У. обладают химич. инертностью не только внешней (медленность реагирования), но и внутренней

(затрудненность внутримолекулярных перегруппировок). Наличие больших «пассивных сопротивлений» сильно затрудняет самопроизвольное превращение неустойчивых форм в устойчивые, часто сводя скорость такого превращения к нулю. Результатом этого является возможность реализации большого числа изомерных форм, практически одинаково устойчивых при обыкновенной $t°$.

Аллотропия и атомная структура У. Рентгенографич. анализ дал возможность с достоверностью установить атомную структуру алмаза и графита. Этот же метод исследования пролил свет и на вопрос о существовании третьей аллотропной модификации У., являющийся по сути дела вопросом об аморфности или кристалличности угля: если уголь—аморфное образование, то он не м. б. отождествлен ни с графитом ни с алмазом, а должен рассматриваться как особая форма У., как индивидуальное простое вещество. В алмазе атомы У. размещены т. о., что каждый атом лежит в центре тетраэдра, вершинами к-рого являются 4 смежных атома; каждый из последних в свою очередь является центром другого такого же тетраэдра; расстояния между смежными атомами равны 1,54 Å (ребро элементарного куба кристаллич. решетки равно 3,55 Å). Такая структура является наиболее компактной; ей соответствуют высокая твердость, плотность и химич. инертность алмаза (равномерное распределение валентных сил). Взаимная связь атомов У. в решетке алмаза такая же, как и в молекулах большинства органических соединений жирного ряда (тетраэдрическая модель У.—см. *Асимметрический углерод*). В кристаллах графита атомы У. расположены плотными слоями, отстоящими один от другого на 3,35—3,41 Å; направление этих слоев совпадает с плоскостями спайности и плоскостями скольжения при механич. деформациях. В плоскости каждого слоя атомы образуют сетку с шестиугольными ячейками (соты); сторона такого шестиугольника равна 1,42—1,45 Å. В смежных слоях шестиугольники не лежат один под другим: совпадение их по вертикали повторяется лишь через 2 слоя в третьем. Три связи каждого атома У. лежат в одной плоскости, образуя углы в 120°; 4-я связь направлена попеременно в ту или другую сторону от плоскости к атомам соседних слоев. Расстояния между атомами в слое строго постоянны, расстояние же между отдельными слоями м. б. изменено внешними воздействиями: так, при прессовании под давлением до 5 000 *atm* оно уменьшается до 2,9 Å, а при набухании графита в конц. HNO_3—увеличивается до 8 Å. В плоскости одного слоя атомы У. связаны гомеополярно (как в углеводородных цепях), связи же между атомами смежных слоев имеют скорее металлический характер; это видно из того, что электропроводность кристаллов графита в направлении, перпендикулярном к слоям, в ~100 раз превышает проводимость по направлению слоя. Т. о. графит обладает свойствами металла в одном направлении и свойствами неметалла—в другом. Расположение атомов У. в каждом слое решетки графита совершенно такое же, как в молекулах сложноядерных ароматических соединений. Такая конфигурация хорошо объясняет резкую анизотропность графита, исключительно развитую спайность, антифрикционные свойства и образование ароматических соединений при его окислении. Аморфная модификация черного углерода повидимому существует как самостоятельная форма (О. Руфф). Для нее наиболее вероятным является пенообразное ячеистое строение, лишенное всякой правильности; стенки таких ячеек образованы слоями активных атомов У. толщиною примерно в 3 атома. На практике активная субстанция угля залегает обычно под оболочкой из тесно расположенных неактивных атомов У., ориентированных графитообразно, и пронизана включениями очень мелких графитовых кристаллитов. Определенной точки превращения уголь→графит вероятно не имеется: между обеими модификациями осуществляется непрерывный переход, на протяжении к-рого происходит перестроение беспорядочно скученной массы С-атомов аморфного угля в правильную кристаллическую решетку графита. В силу своего беспорядочного расположения атомы У. в аморфном угле проявляют максимум остаточного сродства, что (согласно представлениям Лангмюира о тождественности адсорбционных сил с силами валентными) соответствует столь характерной для угля высокой адсорбционной и каталитич. активности. Атомы У., ориентированные в кристаллич. решетку, затрачивают на взаимное сцепление все свое сродство (в алмазе) или бо́льшую часть его (в графите); этому соответствует понижение химич. активности и активности адсорбционной. У алмаза адсорбция возможна лишь на поверхности монокристалла, у графита же остаточная валентность может проявляться на обеих поверхностях каждой плоской решетки (в «щелях» между слоями атомов), что и подтверждается фактом способности графита к набуханию в жидкостях (HNO_3) и механизмом его окисления в графитовую к-ту.

Техническое значение У. Об использовании естественных видов углеродного сырья и топлива (природных углей, нефти, древесины, торфа, жиров, графита и т. д.) и продуктов их переработки—см. соответствующие статьи. Что касается б. или м. свободного У., получаемого при процессах обугливания и коксования, то его применение в технике основывается как на химич. (инертность, восстановительная способность), так и на физич. его свойствах (жаростойкость, электропроводность, адсорбционная способность). Так, кокс и древесный уголь, помимо частичной прямой утилизации их в качестве беспламенного топлива, используются для получения газообразного горючего (генераторных газов); в металлургии черных и цветных металлов—для восстановления металлич. окислов (Fe, Cu, Zn, Ni, Cr, Mn, W, Mo, Sn, As, Sb, Bi); в химич. технологии—как восстановитель при получении сульфидов (Na, Ca, Ba) из сульфатов, безводных хлористых солей (Mg, Al), из окисей металлов, при производстве растворимого стекла и фосфора—как сырье для получения карбида кальция, карборунда и других карбидов сероуглерода и т. д.; в строительном деле—как термоизолирующий материал. Ретортный уголь и кокс служат материалом для электродов электрич. печей, электролитич. ванн и гальванич. элементов, для изготовления дуговых углей, реостатов, коллекторных щеток, плавильных тиглей и т. п.. а также в качестве насадки в химич. аппаратуре башенного типа. Древесный уголь кроме указанных выше применений идет для получения концентрированной окиси углерода, цианистых солей, для цементации стали, широко используется как адсорбент (см. *Активированный уголь* и *Рекуперация*), как катализатор для нек-рых синтетич. реакций, наконец входит в состав дымного пороха и других взрывчатых и пиротехнич. составов.

Аналитическое определение У. Качественно У. определяется обугливанием пробы вещества без доступа воздуха (что пригодно далеко не для всех веществ) или, что гораздо надежнее, исчерпывающим окислением его, напр. прокаливанием в смеси с окисью меди, причем образование CO_2 доказывается обычными реакциями. Для количественного определения У. навеска вещества подвергается сожжению в атмосфере кислорода (об аппаратуре и методике см. *Анализ химический*); образующаяся CO_2 улавливается раствором щелочи и определяется весовым или объемным путем по обычным методам колич. анализа. Этот способ годен для определения У. не только в органич. соединениях и технич. углях, но также и в металлах.

Лит.: Менделеев Д., Основы химии, 9 изд., т. 1, М.—Л., 1927; Меншуткин Б., Курс общей химии (неорганической), 4 изд., Л., 1933; Эфраим Ф., Неорганич. химия, пер. с нем., ч. 1, Л., 1932; Donath E. u. Pollak K., Neuerungen in der Chemie des Kohlenstoffes u. seiner anorganischen Verbindungen (Samml. chemischer u. chemisch-technischer Vorträge, hrsg. v. H. Herz), B. 3, H. 4, Stg., 1898; Ullm. Enz., 2 Aufl., B. 6, p. 605; Ephraim Fr., Anorganische Chemie, 4 Aufl., Dresden—Lpz., 1929; van't Hoff J., Ansichten über die organische Chemie, B. 2, 1881; Henrich F., Theorien d. organischen Chemie, 5 Aufl., Brschw., 1924; Hückel W., Theoretische Grundlagen d. organischen Chemie, B. 1 u. 2, Lpz., 1931; Oswald M., «Chimie et Industrie», P., 1930, t. 24, p. 280. **В. Янковский.**

УГЛЕРОД ЧЕТЫРЕХХЛОРИСТЫЙ, см. *Растворители.*

УГЛИ ИСКУССТВЕННЫЕ, см. *Электротехнические угли.*

УГЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ, см. *Угли искусственные.*

УГЛОВАЯ СКОРОСТЬ, ω, предел отношения углового перемещения вращающегося вокруг оси твердого тела к соответствующему промежутку времени, когда последний стремится к нулю:

$$\omega = \lim_{\Delta t \to 0} \left[\frac{\Delta \varphi}{\Delta t}\right] = \frac{d\varphi}{dt},$$

где φ есть угловое перемещение, являющееся функцией времени. В частном случае, если

$\omega = \text{Const}$, вращение называется равномерным. При этом условии интегрирование дает

$$\varphi = \omega t + C.$$

Если в момент $t = 0$ начальный угол поворота $\varphi = \varphi_0$, то $C = \varphi_0$ и ур-ие равномерного вращения будет

$$\varphi = \varphi_0 + \omega t.$$

За единицу У. с. принимают У. с. равномерного вращения, при к-ром угол поворота изменяется в единицу времени (секунду) на угловую единицу (радиан). Это—абсолютная единица У. с., обозначаемая так: $\frac{1}{\text{ск.}}$. В технике У. с. машин обычно измеряют числом оборотов в минуту, следовательно за единицу угла принимают полный оборот (2π радианов); в этом случае единицу У. с. обозначают: $\frac{\text{об.}}{\text{мин.}}$. Т. о., если У. с. машины n $\frac{\text{об.}}{\text{мин.}}$, то

$$\omega = n \frac{\text{об.}}{\text{мин.}} = \frac{2\pi \cdot n}{60} \frac{1}{\text{ск.}} = \frac{\pi \cdot n}{30} \frac{1}{\text{ск.}}.$$

Единицы У. с. показывают, что размерность ее такова:

$$[m^0, l^0, t^{-1}].$$

В табл. 1 приведены примеры У. с.

Табл. 1.—Угловые скорости.

Вид ротора	$\frac{\text{Об.}}{\text{мин.}}$	$\frac{1}{\text{ск.}}$
Земля (вокруг оси)	$7{,}0 \cdot 10^{-4}$	$7{,}3 \cdot 10^{-5}$
Минутная часовая стрелка . .	$1{,}7 \cdot 10^{-2}$	$1{,}8 \cdot 10^{-3}$
Секундная » » . .	$1{,}0 \cdot 10^{0}$	$1{,}0 \cdot 10^{-1}$
Паровая машина	$3{,}0 \cdot 10^{2}$	$3{,}1 \cdot 10^{1}$
Пропеллер аэроплана	$1{,}2 \cdot 10^{3}$	$1{,}3 \cdot 10^{2}$
Электромотор	$3{,}0 \cdot 10^{3}$	$3{,}1 \cdot 10^{2}$
Паровая турбина многоступенч.	$5{,}0 \cdot 10^{3}$	$5{,}2 \cdot 10^{2}$
Снаряд (12″) вокруг оси	$6{,}0 \cdot 10^{3}$	$6{,}3 \cdot 10^{2}$
Турбина Лаваля	$3{,}0 \cdot 10^{4}$	$3{,}1 \cdot 10^{3}$
Пуля вокруг оси	$1{,}5 \cdot 10^{5}$	$1{,}6 \cdot 10^{4}$
Конус в лабораторных условиях [1]	$6{,}6 \cdot 10^{5}$	$6{,}9 \cdot 10^{4}$

Обычно в технике при установившемся движении У. с. изменяется периодически, принимая через известный промежуток времени первоначальную величину, напр. для двухтактного одноцилиндрового двигателя период равен времени оборота главного вала. Величина периодич. неравномерности хода характеризуется коэфициентом неравномерности δ:

$$\delta = \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{\omega_{ср.}},$$

причем

$$\omega_{ср.} = \frac{\omega_{max} + \omega_{min}}{2}.$$

В табл. 2 приведены коэфициенты неравномерности хода некоторых двигателей.

Табл. 2.—Коэфициенты неравномерности хода двигателей.

Область применения двигателей	δ, %
Прокатные станы крупные	8—10
» » мелкие	4—6
Лесопильные рамы	3—5
Динамо постоянного тока (осветит.) . . .	1,5—2,5
Генератор переменного тока (осветит.) . .	0,3—1,5

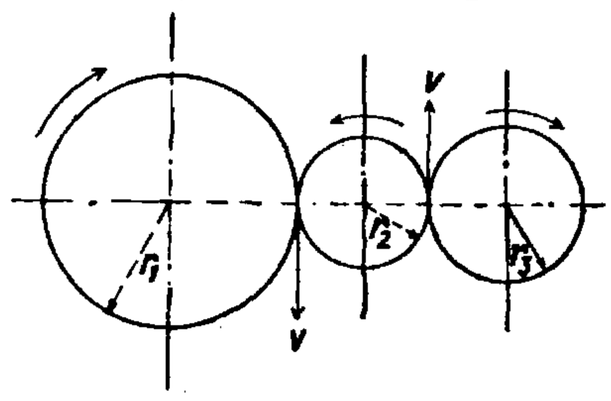
Если точка вращающегося твердого тела находится на расстоянии r от оси вращения, то пройденный точкой за время t путь, соответствующий угловому перемещению φ, выразится так:

$$s = \varphi \cdot r,$$

откуда

$$v = \frac{ds}{dt} = r \cdot \frac{d\varphi}{dt} = r \cdot \omega.$$

В отличие от У. с., к-рая одинакова для всех точек данного вращающегося тела, v называют линейной (или вращательной) скоростью, а также окружной скоростью (для точек на ободе вращающегося диска, маховика и др.). Вектор v какой-либо точки вращающегося тела направлен перпендикулярно к плоскости, проведенной через эту точку и ось вращения, в сторону вращения (см. фигуру).



Графически У. с. изображается вектором, численно равным ω (в определенном масштабе); вектор откладывается вдоль оси, по отношению к к-рой вращение происходит по часовой стрелке (левая система координат). Этот вектор, как и всякий другой, можно разлагать по правилу параллелограма, проектировать на координатные оси, складывать геометрически с другими (У. с.) и т. д.

Пример 1. Радиусы трех шестерен, сцепленных между собою: $r_1 = 20$ *см*, $r_2 = 10$ *см*, $r_3 = 15$ *см*. Найти У. с. третьей шестерни, если первая вращается по часовой стрелке с У. с. $\omega_1 = 60$ об/мин. (см. фигуру).—В точках касания окружные скорости шестерен д. б. одинаковы, кроме того окружные скорости на окружности каждой шестерни также одинаковы, следовательно $r_1\omega_1 = r_3\omega_3$, откуда

$$\omega_3 = \frac{r_1}{r_3}\omega_1 = \frac{20}{15} \cdot 60 \frac{\text{об.}}{\text{мин.}} = 80 \frac{\text{об.}}{\text{мин.}}.$$

Направление скоростей в точках касания определяет направление вращения 3-й шестерни.

Пример 2. Определить скорость точек на ободе маховика диам. 1,6 *м*, совершающего 270 об/мин.

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{270\pi}{30} = 9\pi \frac{1}{\text{ск.}};$$

$$v = 9\pi \cdot 0{,}8 = 22{,}62 \text{ м/ск.}$$

Лит.: 1) Henriot et Huguenard, Les grandes vitesses angulaires obtenues par les rotors sans axe solides. «Journal de Physique», P., 1927, t. 8, *11*, p. 433. См. также *Механика теоретическая*.

В. Никаноров.

УГЛОВОЕ УСКОРЕНИЕ, ε, предел отношения изменения угловой скорости вращающегося вокруг оси твердого тела к соответствующему промежутку времени, когда последний стремится к нулю:

$$\varepsilon = \lim_{\Delta t \to 0} \left[\frac{\Delta\omega}{\Delta t}\right] = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}.$$

Если $\Delta\omega > 0$, то $\varepsilon > 0$; если $\Delta\omega < 0$, то $\varepsilon < 0$. При $\varepsilon = \text{Const}$ вращение называется равнопеременным (равноускоренным или равнозамедленным). Интегрируя ур-ие

$$\frac{d\omega}{dt} = \varepsilon,$$

для $\varepsilon = \text{Const}$ получаем

$$\omega = \varepsilon t + C.$$

Если в момент $t = 0$ угловая скорость была ω_0 (начальная угловая скорость), то $C = \omega_0$ и следовательно ур-ие угловой скорости при равнопеременном вращении имеет вид:

$$\omega = \omega_0 + \varepsilon t. \qquad (1)$$

Так как, с другой стороны,

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt},$$

то

$$\frac{d\varphi}{dt} = \omega_0 + \varepsilon t$$

или после интегрирования

$$\varphi = \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2} + C_1.$$

Если $\varphi = \varphi_0$ для $t = 0$, то $C_1 = \varphi_0$ и т. о. ур-ие равнопеременного вращения будет

$$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2}. \qquad (2)$$

Из ур-ия (1) имеем

$$\varepsilon = \frac{\omega - \omega_0}{t},$$

откуда ясно, что за единицу У. у. необходимо принять У. у. равнопеременного вращения, при к-ром угловая скорость изменяется в единицу времени на единицу угловой скорости. Т. о. по аналогии с угловой скоростью единицы У. у. будут:

$$\frac{1}{\text{ск.}^2} \quad \text{и} \quad \frac{\text{об.}}{\text{мин.}^2};$$

первая носит название абсолютной единицы У. у. Соотношение между единицами У. у. таково:

$$1\,\frac{\text{об.}}{\text{мин.}^2} = \frac{2\pi}{(60\,\text{ск.})^2} = \frac{\pi}{1800}\,\frac{1}{\text{ск.}^2};$$

$$\frac{1}{\text{ск.}^2} = \frac{60^2}{2\pi}\,\frac{\text{об.}}{\text{мин.}^2} = \frac{1800}{\pi}\,\frac{\text{об.}}{\text{мин.}^2}.$$

Размерность У. у., принимая во внимание, что размерность $[\varphi] = [l^0,\ m^0,\ t^0]$, выразится так:

$$[\varepsilon] = [l^0,\ m^0,\ t^{-2}].$$

Ф-лами (1) и (2) пользуются как первым приближением при решении вопросов, связанных с пуском в ход и остановкой двигателей, т. к. обычно характер изменения вращающего или тормозящего момента бывает неизвестен.

Пример 1. При пуске в ход двигателя угловая скорость его возрастает пропорционально времени и к концу 10 ск. равна $44\,\frac{1}{\text{ск.}}$. Сколько оборотов сделает двигатель за это время?— В данном случае $\omega_0 = 0$ и $\varphi_0 = 0$, следовательно $\omega = \varepsilon t = 44\,\frac{1}{\text{ск.}}$ или

$$\varepsilon = \frac{44}{10}\,\frac{1}{\text{ск.}^2},$$

отсюда

$$\varphi = \frac{\varepsilon t^2}{2} = \frac{44}{10} \cdot \frac{10^2}{2} = 22 \cdot 10 \text{ (радианов)},$$

что составляет

$$\frac{22 \cdot 10}{2\pi} = 35 \text{ оборотов}$$

$\left(\text{причем взято } \pi = \frac{22}{7}\right)$.

Пример 2. Сделав 1 000 об/мин., маховик замедляет ход и после 10 оборотов останавливается. Определить время замедленного хода.— По условию $\omega_0 = 1\,000$ об/мин. и $\varphi = 10$ оборотам. Если t—искомая величина, то

$$\left.\begin{aligned} \omega_0 + \varepsilon t &= 0 \\ \omega_0 t + \varepsilon\,\frac{t^2}{2} &= 10 \end{aligned}\right\},$$

откуда $500\,t = 10$; $t = 0{,}02$ мин. $= 1{,}2$ ск.

Для точки тела, находящейся на расстоянии r от оси вращения, вращательная (окружная) скорость (см. *Угловая скорость*) будет

$$v = \frac{ds}{dt} = r\,\frac{d\varphi}{dt} = r \cdot \omega.$$

Для вычисления ускорения этой точки разлагают полное ускорение w на касательное ускорение w_t и нормальное w_n. Т. к. радиус кривизны равен r, то

$$\left.\begin{aligned} w_t &= \frac{dv}{dt} = r\,\frac{d\omega}{dt} = r\varepsilon \\ w_n &= \frac{v^2}{\varrho} = \frac{r^2\omega^2}{r} = r\omega^2 \end{aligned}\right\}. \qquad (3)$$

Ускорение w_t направлено по касательной к окружности и называется вращательным; w_n направлено к центру окружности (центростремительное ускорение). Очевидно

$$w = \sqrt{w_t^2 + w_n^2} = r\sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4}. \qquad (4)$$

В ф-лах (3) и (4) ω и ε д. б. выражены в абсолютных единицах. В случае равномерного вращения $\omega = \text{Const}$ и следовательно $\varepsilon = 0$, а потому

$$w_t = r\varepsilon = 0.$$

Т. о. при равномерном вращении

$$w = w_n = r\omega^2$$

и направлено к центру окружности, описываемой точкой. Т. к. нормальное ускорение w_n пропорционально квадрату угловой скорости, то в быстроходных двигателях возникают огромные нормальные ускорения, напр. для турбинного диска $\varnothing$ 80 *см*, развивающего угловую скорость 1 800 об/мин.,

$$\omega = \frac{2\pi \cdot 1800}{60}\,\frac{1}{\text{ск.}} = 60\,\pi\,\frac{1}{\text{ск.}};$$

$$w = w_n = r \cdot \omega^2 = 40 \cdot 60^2 \cdot \pi^2\,\frac{1}{\text{ск.}^2} \cong 14{,}4\ \textit{км/ск}^2.$$

Относительно способов устранения опасности от центробежных сил, возникающих при наличии нормальных ускорений, см. *Двигатели гидравлические* и *Маховое колесо*.

У. у. как вектор. Направление ω постоянно (т. к. вращение происходит вокруг неподвижной оси), поэтому ε как производная вектора постоянного направления имеет направление, одинаковое с ω при $\frac{d\omega}{dt} > 0$ и прямо противоположное при $\frac{d\omega}{dt} < 0$. Величина вектора ε как величина производной вектора постоянного направления равна абсолютному значению производной диференцируемого вектора, т. е. равна $[\varepsilon]$. **В. Нинаноров.**

Лит.: см. *Механика теоретическая.*

УГЛОМЕРНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ, приборы для измерения на местности углов в горизонтальной и вертикальной плоскостях или для определения направлений, составляющих углы, а также для построения на местности линии под заданными углами. У. и. состоит из: 1) *лимба* (см.), 2) вращающейся в центре лимба *алидады* (см.), к к-рой прикреплен неподвижно прибор, служащий для визирования, т. е. направления луча зрения вдоль сторон угла, 3) подставки с подъемными винтами и 4) треноги (штатива) для установки в вершине угла. Если при неподвижном лимбе направить визирный прибор сперва вдоль одной стороны угла, а потом вдоль другой и произвести оба раза отсчеты положения алидады по лимбу, то разность этих отсчетов выразит величину угла в градусах и минутах, если центры лимба и алидады были установлены в вершине угла. В У. и. для визирования вдоль сторон угла служат *диоптры* (см.) и *зрительные трубы* (см.). Необходимо отметить, что У. и., предназначенные для работ в поле, д. б. легкими и простыми; сложные устройства часто портятся; это может поставить наблюдателя в

беспомощное положение, т. к. ремонт их в полевых условиях бывает затруднителен. Простейшим типом У. и. является *астролябия* (см.), замененная в настоящее время более портативными и удобными У. и. (гониометр, пантометр и теодолит).

В зависимости от назначения У. и. изготовляются разных систем и точностей, напр. для определения направления и измерения углов на триангуляциях У. и. имеют диам. лимба 16—21 *см* и снабжаются специальными микроскопами для производства отсчетов. У. и. применяются для триангуляционных работ, *полигонометрии* (см.), астрономич. наблюдений. В последнем случае инструмент снабжается освещением поля зрения трубы и для отсчетов ночью. Для производства совместных измерений в горизонтальной и вертикальной плоскостях изготовляются У. и., называемые *тахеометрами* (см.). Простейший из них по принципу своего устройства схож с теодолитом и имеет вертикальный круг с уровнем при алидаде последнего. Отсчет по вертикальному и горизонтальному кругам производится с точностью до 1′. Для ускорения при геодезич. работах применяют тахеометры-автоматы. Эти инструменты сконструированы по типу У. и., но имеют вместо вертикального круга специальные приспособления, к-рые позволяют получать непосредственно высоты пикетов или превышения между станциями и пикетами. Лимбы этих тахеометров-автоматов имеют ⌀ 16—18 *см* и дают отсчет по лимбу с точностью до 10″. К У. и. специального назначения относятся *секстант* (см). и *отражательный круг* (см.)—отражательные инструменты, служащие для астрономич. определений, а также специальный теодолит для определения силы и направления ветра; этот последний У. и. устроен по принципу обыкновенного теодолита, но имеет специально устроенную трубу, а именно—ломаную, снабженную вертикальным кругом с градусными делениями. Имея такой У. и., возможно определить силу ветра и его направление, делая отсчеты по лимбу, ориентированному по странам света и по углу наклона; по последнему определяется высота (подъем шара), а отсюда скорость ветра.

Лит.: см. *Универсальный инструмент.* **В. Платон.**

УГОЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ, см. *Угли искусственные.*

УДАР, явление, имеющее место при внезапном изменении режима движения тела или системы материальных точек вследствие столкновения с другим телом или системой материальных точек. У. характеризуется действием относительно значительной силы в течение малого промежутка времени. Сила, возникающая при У., обычно очень велика, время же действия ее ничтожно мало, вследствие чего затрудняется измерение как самой силы, так и времени, в течение которого она действует. Поэтому при У. измеряют импульс силы, к-рый имеет нек-рое определенное конечное значение. Импульс силы при У. часто называют силой У. или же просто У. Импульс силы при У. обычно настолько значителен, что при рассмотрении явления У. возможно пренебрегать импульсами других сил, действующих на тело, как силы тяжести, силы притяжения или отталкивания и т. д., рассматривая только импульс силы, вызванный У.,— ударный импульс. Перемещение тела или точек системы во время У. является величиной того же порядка малости, что и время, в течение к-рого действует сила У., вследствие чего координаты тела или точек системы можно считать постоянными в течение времени действия силы У.

Действие мгновенной силы на материальную точку. Если на материальную точку, масса к-рой m, будет действовать мгновенная сила P в течение малого промежутка времени $\tau = t - t_0$, то изменение количества движения тела выразится так:

$$m\boldsymbol{v} - m\boldsymbol{v}_0 = \int_{t_0}^{t} \boldsymbol{P}\,dt = \boldsymbol{I},$$

где $\boldsymbol{v}_0$ и $\boldsymbol{v}$—векторы скорости движения тела до действия силы и после действия силы P, а $\boldsymbol{I} = \int_{t_0}^{t+\tau} \boldsymbol{P}\,dt$—импульс силы P. Рассматриваемое изменение количества движения можно написать и так:

$$m\dot{\boldsymbol{r}} - m\dot{\boldsymbol{r}}_0 = \int_{t_0}^{t} \boldsymbol{P}\,dt = \boldsymbol{I},$$

где

$$\dot{\boldsymbol{r}} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} = \boldsymbol{v}, \text{ а } \dot{\boldsymbol{r}}_0 = \frac{d\boldsymbol{r}_0}{dt} = \boldsymbol{v}_0.$$

Закон количества движения наряду с законом движения центра инерции и законом моментов количества движения кладется в основу изучения явления У. Изменение живой силы до действия мгновенной силы P и после ее действия для материальной точки находится по теореме В. Томсона: «если на материальную точку действует мгновенная сила с импульсом I, то изменение живой силы за малый промежуток времени ее действия равняется полусумме двух скалярных произведений из вектора импульса и скоростей в начале и конце рассматриваемого промежутка времени». Имея равенство $m\boldsymbol{v} - m\boldsymbol{v}_0 = \boldsymbol{I}$ и умножая его скалярно сначала на $\boldsymbol{v}$, а затем на $\boldsymbol{v}_0$, получаем:

$$m\boldsymbol{v}^2 - m(\boldsymbol{v}_0\boldsymbol{v}) = (\boldsymbol{I}\boldsymbol{v}) \text{ и } m(\boldsymbol{v}\boldsymbol{v}_0) - m\boldsymbol{v}_0^2 = (\boldsymbol{I}\boldsymbol{v}_0);$$

складывая почленно, имеем теорему Томсона:

$$\frac{m\boldsymbol{v}^2}{2} - \frac{m\boldsymbol{v}_0^2}{2} = \frac{(\boldsymbol{I}\boldsymbol{v}) + (\boldsymbol{I}\boldsymbol{v}_0)}{2}.$$

Действие мгновенных сил на систему точек. На систему n материальных точек, подчиненную k связям, действуют мгновенные силы. Точки: $m_1, m_2, \ldots, m_i, \ldots, m_n$; связи заданы в виде ур-ий поверхностей, с которых не может сойти i-я точка,

$$f_1 = 0,\ f_2 = 0, \ldots, f_i = 0, \ldots, f_k = 0.$$

Проекции скоростей точек должны удовлетворять ур-иям:

$$\sum \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_i} \cdot \frac{dx_i}{dt} + \frac{\partial f_1}{\partial y_i} \cdot \frac{dy_i}{dt} + \frac{\partial f_1}{\partial z_i} \cdot \frac{dz_i}{dt} \right) = 0$$

. . . . . .

$$\sum \left(\frac{\partial f_k}{\partial x_i} \cdot \frac{dx_i}{dt} + \frac{\partial f_k}{\partial y_i} \cdot \frac{dy_i}{dt} + \frac{\partial f_k}{\partial z_i} \cdot \frac{dz_i}{dt} \right) = 0$$

или в векторной форме:

$$\sum \left(\frac{d\boldsymbol{r}_i}{dt} \nabla \right) f_1 = 0, \ldots, \sum \left(\frac{d\boldsymbol{r}_i}{dt} \nabla \right) f_k = 0.$$

Дифференциальные уравнения движения системы будут:

$$m_i \frac{d^2x_i}{dt^2} = X_i + \lambda_1 \frac{\partial f_1}{\partial x_i} + \ldots + \lambda_k \frac{\partial f_k}{\partial x_i},$$

$$m_i \frac{d^2y_i}{dt^2} = Y_i + \lambda_1 \frac{\partial f_1}{\partial y_i} + \ldots + \lambda_k \frac{\partial f_k}{\partial y_i},$$

$$m_i \frac{d^2z_i}{dt^2} = Z_i + \lambda_1 \frac{\partial f_1}{\partial z_i} + \ldots + \lambda_k \frac{\partial f_k}{\partial z_i},$$

или в векторной форме:

$$m_i \frac{d^2\boldsymbol{r}}{dt^2} = \boldsymbol{P}_i + \lambda_1 \operatorname{grad} f_1 + \ldots + \lambda_k \operatorname{grad} f_k.$$

В последних ф-лах x_i, y_i, z_i—координаты i-й точки системы, $\boldsymbol{r} = \boldsymbol{i}x_i + \boldsymbol{j}y_i + \boldsymbol{k}z_i$—радиус-вектор точки системы, $\boldsymbol{P}_i = \boldsymbol{i}X_i + \boldsymbol{j}Y_i + \boldsymbol{k}Z_i$—мгновенная сила, действующая на i-ю точку;

$$R_{ix} = \lambda_1 \frac{\partial f_1}{\partial x_i} + \ldots + \lambda_k \frac{\partial f_k}{\partial x_i}$$

есть проекция реакции идеальной связи. Если u_i, v_i, w_i—проекции скорости i-й точки до У. в момент времени t_0, а U_i, V_i, W_i—проекции скорости i-й точки в момент $t_0 + \tau$ после У., то, интегрируя вышенаписанные ур-ия, имеем:

$$m_i(U_i - u_i) = I_{ix} + \mu_1 \frac{\partial f_1}{\partial x_i} + \ldots + \mu_k \frac{\partial f_k}{\partial x_i},$$
$$m_i(V_i - v_i) = I_{iy} + \mu_1 \frac{\partial f_1}{\partial y_i} + \ldots + \mu_k \frac{\partial f_k}{\partial y_i},$$
$$m_i(W_i - w_i) = I_{iz} + \mu_1 \frac{\partial f_1}{\partial z_i} + \ldots + \mu_k \frac{\partial f_k}{\partial z_i}$$

или в векторной форме:

$$m_i(\boldsymbol{v}_i - \boldsymbol{v}_{0i}) = \boldsymbol{I}_i + \mu_1 \operatorname{grad} f_1 + \ldots + \mu_k \operatorname{grad} f_k,$$

где

$$\boldsymbol{v}_i = \boldsymbol{i}U_i + \boldsymbol{j}V_i + \boldsymbol{k}W_i,\ \boldsymbol{v}_{0i} = \boldsymbol{i}u_i + \boldsymbol{j}v_i + \boldsymbol{k}w_i,$$

$\boldsymbol{I}_i = \boldsymbol{i}I_{ix} + \boldsymbol{j}I_{iy} + \boldsymbol{k}I_{iz} = \int_{t_0}^{t} \boldsymbol{P}\,dt$ — ударный импульс,

$$\mu_1 = \int_{t_0}^{t} \lambda\,dt,\ \ldots,\ \mu_k = \int_{t_0}^{t} \lambda_k\,dt.$$

Множители $\mu_1, \ldots, \mu_k$ можно найти, подставляя значения скоростей из последних ур-ий в условия для скоростей при наличии связей; получим k ур-ий с k неизвестными, решая к-рые найдем все множители $\mu_1, \ldots, \mu_k$. Для случая одной связи $f_1 = 0$ имеем:

$$\boldsymbol{v}_i = \boldsymbol{v}_{0i} + \frac{1}{m_i}\boldsymbol{I}_i + \frac{1}{m_i}\operatorname{grad} f_1.$$

Подставляя в ур-ие

$$\sum \left(\frac{d\boldsymbol{r}}{dt}\nabla\right) f_1 = 0$$

и имея в виду, что $\frac{d\boldsymbol{r}_i}{dt} = \boldsymbol{v}_i$, получаем:

$$\sum (\boldsymbol{v}_{0i}\nabla) f_1 + \sum \frac{1}{m_i}(\boldsymbol{I}_i\nabla) f_1 + \sum \mu_1 \frac{1}{m_i}(\nabla f_1 \cdot \nabla) f_1 = 0.$$

Отсюда, имея в виду также, что

$$\sum (\boldsymbol{v}_{0i}\nabla) f_1 = 0,$$

получаем:

$$\sum \frac{1}{m_i}(\boldsymbol{I}_i\nabla) f_1 + \mu_1 \sum \frac{1}{m_i}(\operatorname{grad} f_1)^2 = 0$$

и

$$\mu_1 = -\frac{\sum \frac{1}{m_i}(\boldsymbol{I}\nabla) f_1}{\sum \frac{1}{m_i}(\operatorname{grad} f_1)^2}.$$

Если импульсы мгновенных сил и скорости точек в момент времени t_0 будут даны, то можно найти скорости точек в момент $t = t_0 + \tau$. Следует иметь в виду, что при действии внутренних мгновенных сил количество движения системы не изменяется.

Теорема Карно позволяет найти потерю живой силы при мгновенном появлении новой связи или же при уничтожении одной из существовавших связей. Если движущаяся система в нек-рый момент времени подчиняется новой связи:

$$f(x_1y_1z_1, \ldots, x_ny_nz_n) = 0,$$

причем старые связи сохраняются, то скорости изменяются согласно только что приведенным рассуждениям. К k ур-иям для скоростей при наличии связей присоединится еще одно:

$$\sum \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\cdot\frac{dx_i}{dt} + \frac{\partial f}{\partial y_i}\cdot\frac{dy_i}{dt} + \frac{\partial f}{\partial z_i}\cdot\frac{dz_i}{dt}\right) = 0,$$

а основные ур-ия, выражающие закон количества движения, примут вид:

$$m_i(U_i - u_i) = \mu\frac{\partial f}{\partial x_i} + \mu_1\frac{\partial f_1}{\partial x_i} + \ldots + \mu_k\frac{\partial f_k}{\partial x_i},$$
$$m_i(V_i - v_i) = \mu\frac{\partial f}{\partial y_i} + \mu_1\frac{\partial f_1}{\partial y_i} + \ldots + \mu_k\frac{\partial f_k}{\partial y_i},$$
$$m_i(W_i - w_i) = \mu\frac{\partial f}{\partial z_i} + \mu_1\frac{\partial f_1}{\partial z_i} + \ldots + \mu_k\frac{\partial f_k}{\partial z_i}.$$

Если эти ур-ия умножить соответственно на U_i, V_i и W_i и почленно их сложить, то, принимая во внимание условия для скоростей при наличии связей, получим:

$$\sum m_i(U_i^2 + V_i^2 + W_i^2) - u_iU_i - v_iV_i - w_iW_i = 0$$

или

$$\sum \frac{m_i}{2}(U_i^2 + V_i^2 + W_i^2) - \sum \frac{m_i}{2}(u_i^2 + v_i^2 + w_i^2) +$$
$$+ \sum \frac{m_i}{2}[(u_i - U_i)^2 + (v_i - V_i)^2 + (w_i - W_i)^2] = 0.$$

Последнее выражение позволяет найти потерю живой силы при внезапном появлении новой связи:

$$T - T_0 = \sum \frac{m_i}{2}[(u_i - U_i)^2 + (v_i - V_i)^2 + (w_i - W_i)^2].$$

Это ур-ие и выражает теорему Карно: «если система подчиняется новой связи, то происходит потеря живой силы, равная той живой силе, к-рую система имела бы, если бы скорости ее точек равнялись потерянным скоростям».

У. твердых тел. Процесс соударения двух тел м. б. разбит на две фазы. В первой фазе происходит сближение тел, причем тела деформируются, а живая сила тел уменьшается, трансформируясь в потенциальную энергию, если деформация не выходит за пределы упругости. Во второй фазе тела удаляются друг от друга, восстанавливая полностью или частично свою первоначальную форму, и живая сила тел возрастает за счет потенциальной энергии, образованной в первой фазе. Принимают согласно Ньютону, что отношение абсолютной величины нормальной проекции относительной скорости тел после У. к ее величине до У. есть нек-рая физич. константа, зависящая от природы сталкивающихся тел. Эта постоянная называется коэф-том восстановления. Для тел, абсолютно неупругих, этот коэф. $\varepsilon = 0$; для тел, абсолютно упругих, $\varepsilon = 1$; для большинства практич. случаев $0 < \varepsilon < 1$. Величинами, к-рые требуется найти при рассмотрении явления У., являются следующие: момент столкновения, положение тел при У., скорости тел непосредственно по окончании У. и потеря живой силы или энергии при У. Если ур-ия поверхностей каждого тела в координатах, начала которых совпадают с ц. т. тел, а оси направлены по главным осям инерции, будут:

$$f_1(x_1y_1z_1) = 0 \text{ и } f_2(x_2y_2z_2) = 0,$$

а в основных неподвижных координатах ур-ия тех же поверхностей:

$$F_1(x, y, z, t) = 0 \text{ и } F_2(x, y, z, t) = 0,$$

то, имея в виду выражения косинусов углов между нормалью к поверхности и осями коорди-

нат для точки соприкосновения тел во время У., будем иметь:

$$\frac{1}{\Delta_1}\frac{\partial F_1}{\partial x} = -\frac{1}{\Delta_2}\frac{\partial F_2}{\partial x},$$
$$\frac{1}{\Delta_1}\frac{\partial F_1}{\partial y} = -\frac{1}{\Delta_2}\frac{\partial F_2}{\partial y},$$
$$\frac{1}{\Delta_1}\frac{\partial F_1}{\partial z} = -\frac{1}{\Delta_2}\frac{\partial F_2}{\partial z},$$

где

$$\Delta_1 = \sqrt{\left(\frac{\partial F_1}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial F_1}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial F_1}{\partial z}\right)^2}$$

и

$$\Delta_2 = \sqrt{\left(\frac{\partial F_2}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial F_2}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial F_2}{\partial z}\right)^2}.$$

Решая совместно 4 ур-ния

$$F_1(x, y, z, t) = 0,$$
$$F_2(x, y, z, t) = 0,$$
$$\frac{1}{\Delta_1}\frac{\partial F_1}{\partial x} = -\frac{1}{\Delta_2}\frac{\partial F_1}{\partial x},$$
$$\frac{1}{\Delta_1}\frac{\partial F_2}{\partial y} = -\frac{1}{\Delta_2}\frac{\partial F_2}{\partial y},$$

найдем момент столкновения t_0, а также и положения тел при У. Скорости тел после У. можно найти, решая следующие ур-ия, к-рые легко получить, применяя закон движения центра инерции и закон моментов количеств движения, пользуясь ур-иями Эйлера для твердого тела:

$$M_1(U_1 - u_1) = l_1 I \qquad M_2(U_2 - u_2) = l_2 I$$
$$M_1(V_1 - v_1) = m_1 I \qquad M_2(V_2 - v_2) = m_2 I$$
$$M_1(W_1 - w_1) = n_1 I \qquad M_2(W_2 - w_2) = n_2 I$$
$$A_1(P_1 - p_1) = \lambda_1 I \qquad A_2(P_2 - p_2) = \lambda_2 I$$
$$B_1(Q_1 - q_1) = \mu_1 I \qquad B_2(Q_2 - q_2) = \mu_2 I$$
$$C_1(R_1 - r_1) = \nu_1 I \qquad C_2(R_2 - r_2) = \nu_2 I$$

и

$$V_{2n} - V_{1n} = -\varepsilon(v_{2n} - v_{1n}).$$

В этих 13 ур-иях обозначают: M_1 и M_2—массы соударяемых тел, A_1, B_1 и C_1—главные центральные моменты инерции первого тела, A_2, B_2 и C_2—главные центральные моменты инерции второго тела, u_1, v_1 и w_1, u_2, v_2 и w_2—соответственно проекции скоростей первого и второго тел до У., U_1, V_1 и W_1, U_2, V_2 и W_2—проекции скоростей первого и второго тел после У., p_1, q_1, r_1, p_2, q_2, r_2—проекции векторов вращения первого и второго тел относительно осей, связанных с телами, как указано выше, P_1, Q_1, R_1, P_2, Q_2 и R_2—те же величины после У.; ударный импульс: $I = \int_{t_0}^{t_0+\tau} P\,dt$; l_1, m_1, n_1, l_2, m_2, n_2—косинусы углов, образованных внутренней нормалью с подвижными осями координат, связанными с телами, напр.

$$l_1 = \frac{\frac{\partial f_1}{\partial x_1}}{\sqrt{\left(\frac{\partial f_1}{\partial x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial f_1}{\partial y_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial f_1}{\partial z_1}\right)^2}};$$

$\lambda_1 = y_1 n_1 - z_1 m_1$; $\mu_1 = z_1 l_1 - x_1 n_1$; $\nu_1 = x_1 m_1 - y_1 l_1$;
$\lambda_2 = y_2 n_2 - z_2 m_2$; $\mu_2 = z_2 l_2 - x_2 n_2$; $\nu_2 = x_2 m_2 - y_2 l_2$;
ε—коэф. восстановления; v_{1n} и v_{2n}—проекции скоростей первого и второго тел до У. на направление нормали n в точке соприкосновения тел; V_{1n} и V_{2n}—то же после У. Для решения задач удобнее последнее из 13 ур-ий иметь в следующем виде:

$$J = \frac{(v_{1n} - v_{2n})(1+\varepsilon)}{H},$$

где постоянная величина для данных тел

$$H = \frac{1}{M_1} + \frac{\lambda_1^2}{A_1} + \frac{\mu_1^2}{B_1} + \frac{\nu_1^2}{C_1} + \frac{1}{M_2} + \frac{\lambda_2^2}{A_2} + \frac{\mu_2^2}{B_2} + \frac{\nu_2^2}{C_2}.$$

Потерю живой силы при У. можно найти по формуле:

$$T - T_0 = -\frac{(1-\varepsilon^2)(v_{1n} - v_{2n})^2}{2H},$$

где $T - T_0$—приращение живой силы за время У. Последнее ур-ие есть выражение теоремы Карно для твердых тел.

У. ш а р о в есть частный случай У. твердых тел. Шары считаем идеально гладкими. Имеем в этом случае:

$$x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 = R_1^2,$$
$$x_2^2 + y_2^2 + z_2^2 = R_2^2,$$
$$l_1 = \frac{x_1}{R_1},\ m_1 = \frac{y_1}{R_1},\ n_1 = \frac{z_1}{R_1},\ l_2 = \frac{x_2}{R_2},$$
$$m_2 = \frac{y_2}{R_2},\quad n_2 = \frac{z_2}{R_2};$$

коэф-ты: $\lambda_1 = \mu_1 = \nu_1 = \lambda_2 = \mu_2 = \nu_2 = 0$, а следовательно:

$P_1 = p_1$, $Q_1 = q_1$, $R_1 = r_1$, $P_2 = p_2$, $Q_2 = q_2$, $R_2 = r_2$, т. е. У. идеально гладких шаров не оказывает влияния на вращение шаров. Коэф. H получает следующее значение:

$$H = \frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2} = \frac{M_1 + M_2}{M_1 M_2},$$

где M_1 и M_2—массы шаров. Скорости шаров при прямом У. (элементы путей ц. т. тел в момент У. имеют общую касательную) определяются сл. обр.:

$$V_1 = v_1 + \frac{M_2(1+\varepsilon)(v_2 - v_1)}{M_1 + M_2},$$
$$V_2 = v_2 + \frac{M_1(1+\varepsilon)(v_1 - v_2)}{M_1 + M_2}.$$

Когда шары абсолютно неупруги ($\varepsilon = 0$), то

$$V_1 = V_2 = \frac{M_1 v_1 + M_2 v_2}{M_1 + M_2}.$$

Когда шары абсолютно упруги ($\varepsilon = 1$), то

$$V_1 = v_1 - \frac{2M_2}{M_1 + M_2}(v_1 - v_2),$$
$$V_2 = v_2 + \frac{2M_1}{M_1 + M_2}(v_1 - v_2).$$

Если в последнем случае массы шаров одинаковы, т. е. $M_1 = M_2$, то

$$V_1 = v_2 \text{ и } V_2 = v_1,$$

т. е. шары обмениваются своими скоростями.

Импульс при прямом ударе шаров выражается так:

$$I = M_1(V_1 - v_1) = M_2(V_2 - v_2) = \frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2}(1 + \varepsilon)(v_1 - v_2).$$

Если известна продолжительность У., то отсюда можно найти среднюю величину реакции шаров. Потеря живой силы выразится так:

$$T - T_0 = \frac{1}{2}\frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2}(1 - \varepsilon^2)(v_1 - v_2)^2,$$

откуда видно, что для абсолютно неупругих шаров потеря живой силы равна:

$$T - T_0 = \frac{1}{2}\frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2}(v_1 - v_2)^2,$$

а для абсолютно упругих нет потери живой силы, т. е. сумма живых сил до У. равна сумме живых сил после У.:

$$T - T_0 = 0.$$

В случае косого У. следует разлагать скорости на составляющие, из к-рых одна направлена по линии центров, а другая перпендикулярна к

ней. Составляющие по линии центров изменяются, как указано выше, для скоростей при прямом У., т. к. в этом направлении действует ударный импульс, а перпендикулярные к линии центров составляющие останутся без изменения. Складывая геометрически измененные составляющие скоростей по линии центров и оставшиеся без изменения по перпендикулярам к линии центров, получаем как величины скоростей, так и направление движений шаров после У.

Теория У. шаров по Герцу. Если радиусы шаров R_1 и R_2, модули упругости материала шаров E_1 и E_2, коэф-ты Пуассона μ_1 и μ_2, то по теории упругости сближение центров шаров x связано с силой P взаимодействия шаров друг на друга следующим соотношением:

$$P = \gamma x^{3/2},$$

где

$$\gamma = \frac{16}{3} \cdot \frac{1}{\vartheta_1 + \vartheta_2} \sqrt{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}$$

и

$$\vartheta_1 = \frac{4(1-\mu_1^2)}{E_1}, \quad \vartheta_2 = \frac{4(1-\mu_2^2)}{E_2}.$$

После начала У. и до конца его относительная скорость шаров м. б. выражена через расстояние между их центрами так:

$$v_{1x} - v_{2x} = \dot{x} = \frac{dx}{dt}.$$

Обозначая через c_x скорость движения общего ц. т., скорость одного шара можем выразить так:

$$v_{1x} = c_x + \frac{M_2(v_{1x}-v_{2x})}{M_1+M_2} = c_x + \frac{M_2}{M_1+M_2} \cdot \frac{dx}{dt}.$$

Ур-ие количества движения для одного шара, напр. первого:

$$\frac{d}{dt}(M_1 v_{1x}) = -P = \frac{d}{dt}\left(\frac{M_1 M_2}{M_1+M_2}\right)\dot{x},$$

но $P = \gamma \cdot x^{3/2}$, следовательно

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\dot{x}}{H}\right) = -\gamma x^{3/2}, \text{ или } \ddot{x} = -\gamma H x^{3/2}.$$

Интегрирование этого диференциального ур-ия первый раз в пределах от $\dot{x}_0 = v_{10} = v_{20} = v_0$ до $\dot{x}$ приводит к виду:

$$\frac{1}{2}\left[\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 - v_0^2\right] = -\frac{2}{5}\gamma H x^{5/2};$$

полагая в этом ур-ии $\frac{dx}{dt} = 0$, получаем конец первой фазы при У. (остановку перед восстановлением деформаций) и находим максимальное сближение шаров $x_m = \left(\frac{5v_0^2}{4\gamma H}\right)^{2/5}$. Подставляя значение γ и H, имеем:

$$x_{max} = \left[\frac{15(\vartheta_1+\vartheta_2)M_1M_2}{64(M_1+M_2)}\right]^{2/5} \cdot \left[\frac{R_1+R_2}{R_1R_2}\right]^{1/5} \cdot v_0^{4/5}.$$

Отсюда максимальная сила давления между шарами при У. получает вид:

$$P_{max} = \gamma x_{max}^{3/2} =$$
$$= \frac{16}{3} \cdot \frac{1}{(\vartheta_1+\vartheta_2)^{2/5}}\left[\frac{15M_1M_2}{64(M_1+M_2)}\right]^{3/5} \cdot \left(\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}\right)^{1/5} \cdot v_0^{6/5}.$$

Наконец из диференциального ур-ия

$$\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 = v_0^2 - \frac{4}{5}\gamma H x^{5/2}$$

можно найти продолжительность У. Подставляя в ур-ие x_{max}, получаем

$$\frac{dx}{dt} = \pm v_0\left[1 - \left(\frac{x}{x_{max}}\right)^{5/2}\right]^{1/2},$$

знак + имеет значение в первой фазе У. при сближении центров тел, знак – во второй—при удалении центров тел друг от друга. Представляя последнее ур-ие в виде:

$$v_0\,dt = \pm \frac{dx}{\sqrt{1 - \left(\frac{x}{x_{max}}\right)^{5/2}}}$$

и вводя новую переменную $\alpha = \frac{x}{x_{max}}$ и интегрируя, получим для первой фазы:

$$v_0 \int_0^{\tau_0} dt = + \int_0^{x_{max}} \frac{dx}{\sqrt{1 - \left(\frac{x}{x_{max}}\right)^{5/2}}},$$

для второй фазы:

$$v_0 \int_{\tau_0}^{\tau} dt = - \int_{x_{max}}^{0} \frac{dx}{\sqrt{1 - \left(\frac{x}{x_{max}}\right)^{5/2}}} = + v_0 \int_0^{\tau_0} dt$$

и для всего процесса У.:

$$v_0\tau = 2\int_0^{x_{max}} \frac{dx}{\sqrt{1 - \left(\frac{x}{x_{max}}\right)^{5/2}}},$$

откуда

$$\tau = \frac{2x_{max}}{v_0} \int_0^{x_{max}} \frac{d\left(\frac{x}{x_{max}}\right)}{\sqrt{1 - \left(\frac{x}{x_{max}}\right)^{5/2}}} = \frac{2x_{max}}{v_0} \int_0^{\tau} \frac{d\alpha}{\sqrt{1-\alpha^{5/2}}}.$$

Последний интеграл можно вычислить приближенно посредством Γ-функции

$$\int \frac{d\alpha}{\sqrt{1-\alpha^{5/2}}} = \frac{2}{5}\sqrt{\pi}\,\frac{\Gamma\left(\frac{2}{5}\right)}{\Gamma\left(\frac{9}{10}\right)} = 1{,}4716,$$

следовательно

$$\tau = 2{,}9432\,\frac{x_{max}}{v_0} = 2{,}9432\,\frac{x_{max}}{v_{10}-v_{20}}.$$

Теория Герца дает хорошие совпадения с экспериментальными исследованиями.

Действие У. на тело, имеющее неподвижную ось. Если ось Z совпадает с осью вращения, то закон моментов количества движения напишется так:

$$M\varrho^2(\omega_2 - \omega_1) = x_0 I_y;$$

здесь M—масса тела, ϱ—плечо инерции тела относительно оси вращения, ω_1 и ω_2—угловые скорости вращения тела до У. и после У., I_y—проекция ударного импульса на ось Y; x_0—плечо ударного импульса. Условия, необходимые и достаточные для того, чтобы точки закрепления не испытывали У., когда само тело У. получает, заключаются в следующем: 1) У. должен быть направлен перпендикулярно к плоскости, проходящей через ось вращения и ц. т. тела:

$$y_c = 0;$$

2) У. должен быть расположен в плоскости, перпендикулярной к оси вращения и пересекающей эту ось в такой точке, для к-рой ось вращения есть главная ось инерции тела:

$$I_z = 0;\ D = 0;\ \varepsilon' = 0;$$

3) Расстояние У. от оси вращения д. б. равно расстоянию от этой оси, как оси привеса, до соответствующей оси качаний:

$$x_0 = \frac{\varrho^2}{x_c}.$$

В последних ф-лах x_c, y_c, z_c—координаты центра тяжести тела, I_z—проекция ударного импульса на ось Z, D—центробежный момент инер-

ции тела $D=\Sigma m_i z_i y_i$, ε'—центробежный момент инерции тела $\varepsilon'=\Sigma m_i(z_i-z_0)(x_i-x_0)$.

Потеря энергии при течении жидкости из узкого сечения трубы в широкое. Течение жидкости при внезапном расширении трубопровода может рассматриваться как явление У. абсолютно неупругих тел, т. к. быстро движущиеся в узкой трубе частицы жидкости должны при переходе в широкое сечение трубы значительно уменьшить свою скорость. Согласно Борда́ и на основании теоремы Карно потеря живой силы для единицы веса жидкости выразится так:

$$h=\frac{(c_1-c_2)^2}{2g}\left[\frac{кгм}{кг}\right],$$

здесь h—потеря в *кгм* энергии при перемещении 1 *кг* жидкости из узкого сечения в широкое, c_1 и c_2 — средние скорости течения жидкости в узком и широком сечениях, g—ускорение силы тяжести ($g=9{,}81$ *м/сек²*).

У. струи о твердую преграду сильно отличается от У. твердых тел, т. к. при соударении двух твердых тел по окончании явления У. происходит разгрузка, при течении же жидкости частицы жидкости непрерывно действуют на преграду, создавая нек-рое постоянное давление на последнюю. Т. к. масса струи жидкости, притекающей в единицу времени к преграде, является величиной постоянной, то теорема о количестве движения м. б. написана для одной секунды и дать не только импульс силы, но, наоборот, самую силу, вызванную постоянным У. частиц жидкости о твердую преграду. Если M означает секундную массу жидкости, притекающей перпендикулярно к преграде и стекающей с нее, т. н. массовый расход, Q—объемный расход жидкости, c—среднюю скорость притекающей жидкости, γ — уд. в. жидкости (вес единицы объема) и β—угол, образуемый потоками струй, стекающих с пластинки или преграды с первоначальным направлением движения струи, то сила P, действующая на пластинку или преграду, получит на основании закона количества движения вид:

$$P=Mc(1-\cos\beta)=\frac{\gamma}{g}Qc(1-\cos\beta).$$

Если струи, стекая, движутся в направлении, обратном первоначальному движению, то $\beta=180°$ и $\cos\beta=-1$, а

$$P=2\frac{\gamma}{g}Qc.$$

При стекании в направлении, перпендикулярном к основной струе, $\beta=90°$ и

$$P=\frac{\gamma}{g}Qc=\frac{\gamma}{g}Fc^2,$$

где F—сечение струи. Если ось струи не перпендикулярна к пластинке, а составляет с плоскостью преграды угол α, то нормальная сила, действующая на пластинку, равна:

$$N=P\sin\alpha=\frac{\gamma}{g}Qc\sin\alpha.$$

Сила, стремящаяся сдвинуть пластинку в направлении оси струи,

$$P_1=N\sin\alpha=\frac{\gamma}{g}Qc\sin^2\alpha.$$

Если пластинка перемещается со скоростью u под углом δ к плоскости пластинки, то вместо абсолютной скорости струи c надо в ф-лу количества движений подставить выражение:

$$c\sin\alpha-u\sin\delta,$$

тогда $P=\frac{\gamma}{g}Q(c\sin\alpha-u\sin\delta)$.

Гидравлический У. представляет собою явление внезапного повышения давления в трубах при резком изменении режима движения жидкости в трубопроводе, напр. при внезапном закрытии затвора. Если жидкость, двигавшаяся по трубопроводу постоянного сечения со скоростью c, была внезапно остановлена путем закрытия задвижки, то кинетич. энергия, к-рой обладала жидкость до закрытия, не сразу рассеивается, а предварительно трансформируется в потенциальную энергию давления согласно следующим соображениям. Повышенное давление вызывает, с одной стороны, усадку продольного жидкого столба в трубе, к-рая м. б. вычислена по закону Гука, с другой стороны,— удлинение в материале стенок, к-рое м. б. определено на основании того же закона Гука, пользуясь ф-лой Мариотта. В результате этих деформаций получается общее укорочение продольного жидкого столба, выражающееся следующей ф-лой:

$$\Delta=\gamma(y-y_0)\left[\frac{1}{E_1}+\frac{D}{\delta}\cdot\frac{1}{E_2}\right],$$

где Δ—общее относительное укорочение продольного столба жидкости как вследствие усадки самой жидкости, так и вследствие растяжения материала стенок; γ—вес единицы объема жидкости; $y-y_0$—повышение давления в *м* столба жидкости вследствие гидравлического У. (неизвестная величина); E_1—модуль упругости жидкости (для воды $E_1=20\,700$ *кг/см²*; для нефти и масел $E_1=13\,500$ *кг/см²*); E_2—модуль упругости материала стенок трубопровода (для чугунных водопроводных труб $E_2=1\,000\,000$ *кг/см²*); D—диаметр трубы; δ—толщина стенок трубопровода. Т. к. жидкость получает усадку, то расход жидкости в первую секунду распределяется на нек-рой длине a, носящей название скорости распространения ударной волны. Т. к. $\Delta aF=Q$, то $c=\Delta a$, где F—сечение трубопровода. Импульс силы, появляющейся вследствие гидравлич. У., равный $\gamma(y-y_0)Fdt$, должен погасить количество движения $\frac{\gamma}{g}Q\,dt\cdot a$, к-рым обладает жидкость. Исходя опять из закона количества движения, имеем выражение как для скорости распространения ударной волны, так и для повышения давления при гидравлическом У.

$$a=\sqrt{\frac{1}{\frac{\gamma}{g}\left(\frac{1}{E_1}+\frac{D}{\delta}\cdot\frac{1}{E_2}\right)}}$$

и $y-y_0=\frac{ac}{g}$ в *м* столба жидкости или

$$p-p_0=\frac{\gamma}{g}a\cdot c$$

в единицах давления, где $p-p_0$—повышение давления при У. Изложенная теория гидравлич. У. принадлежит Альеви и проф. Н. Е. Жуковскому. Две приведенные ф-лы позволяют определить давление, к-рое получается внутри трубы в момент гидравлич. У. Как видно из выражения для скорости распространения ударной волны, она зависит исключительно от рода жидкости, от рода материала трубопровода и от геометрич. размеров последнего, вследствие чего для данной жидкости и данного трубопровода является величиной постоянной. При предположении абсолютно жесткого трубопровода приходим к ф-ле:

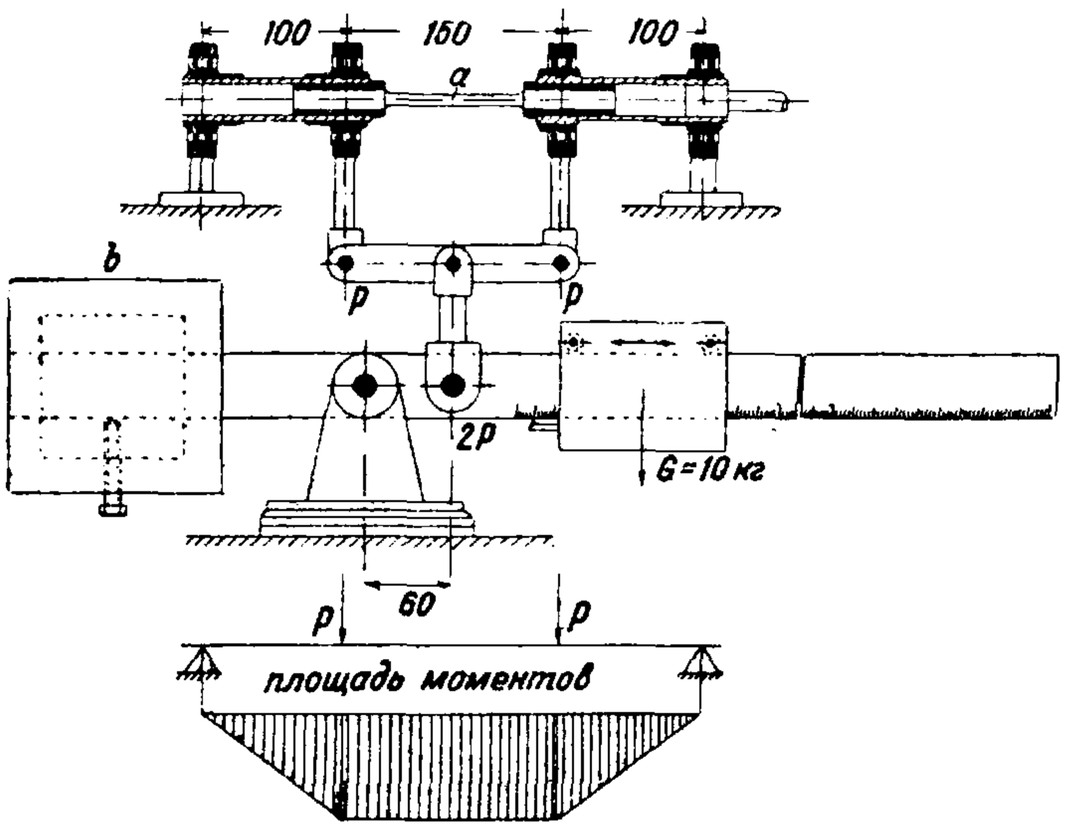
$$a=\sqrt{\frac{E_1 g}{\gamma}}=\sqrt{\frac{E_1}{\varrho}},$$

где ϱ—плотность жидкости. Эта ф-ла есть выражение скорости звука в среде с плотностью ϱ

и с модулем упругости E_1. Следовательно, если бы мы имели дело с абсолютно жестким трубопроводом, скорость распространения ударной волны равнялась бы скорости звука в данной жидкой среде. Упругость трубопровода уменьшает несколько эту скорость. Если бы трубы были абсолютно жесткими, а жидкость в свою очередь абсолютно несжимаема, то $a = \infty$ и трубы разрывались бы при малейших изменениях скорости течения жидкости. Зная величину a, легко вычислить и повышение давления в трубах от гидравлич. У. О расчете трубопроводов на ударное давление и мерах предотвращения явлений гидравлич. У. см. *Трибопроводы*.

Лит.: Мещерский И., Курс теоретической механики, ч. 2, М.—Л., 1930; Тимошенко С., Курс сопротивления материалов, изд. 11, М.—Л., 1931; Лойцянский Л. и Лурье А., Теоретическая механика, ч. 2, Динамика, М.—Л., 1933; Лейбензон Л. и др., Гидравлика, М.—Л., 1932; Жуковский Н., О гидравлич. ударе, «Записки Академии наук по физико-матем. отделению», СПБ, 1900, т. 9, 5. **В. Бриллинг.**

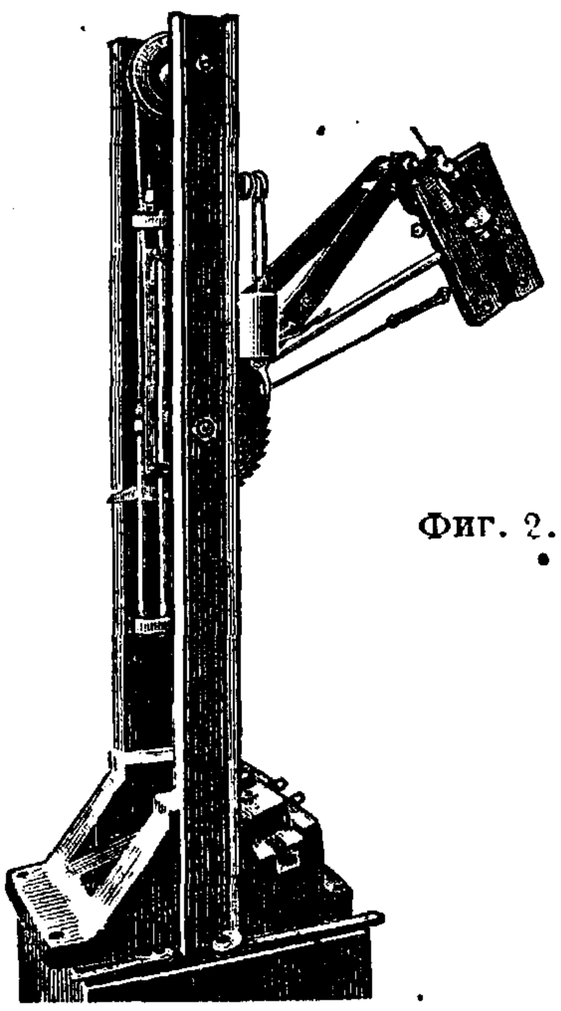
Напряжения в твердом теле при ударной нагрузке. Внезапное приложение или снятие нагрузки, внезапное изменение скорости движущейся массы и сообщение скорости покоящейся массе вызывают явление удара. В сопротивлении материалов и теории упругости У. относится к одному из двух способов действия нагрузок и представляет крайний вид динамической нагрузки. Статич. и динамич. нагрузка—способы приложения грузов, действующих на сооружения и машины. Медленное введение груза со скоростью, близкой к нулю, столь же медленное снятие его характеризуют статич. нагрузку. Если скорость введения или снятия груза значительно отлична от нуля, нагрузка относится к динамическим. Среди динамических нагрузок особо выделяется ударная нагрузка, которая прилагается с большой скоростью, причем ускорение не м. б. измерено с достаточной точностью, но всегда очень велико. Названия «статическая и динамическая нагрузка» употребляются также в качестве характеристики внутреннего напряженного состояния сооружений и машин. Постоянный знак и постоянная величина напряжения определяют статич. нагрузку внутри сооружения и машины; перемена знака и величины напряжения в известный промежуток времени указывают динамич. нагрузку. Если знак и величина напряжения изменяются за весьма короткий промежуток времени, длительность которого м. б. измерена с большими затруднениями или совсем не поддается измерению,—напряжение д. б. отнесено к ударным.



Фиг. 1.

В технич. практике действие собственного веса сооружений и машин чаще всего м. б. рассматриваемо как приложение статич. нагрузки; полезные нагрузки сооружения и машины б. ч. относятся к динамич. нагрузкам. В лабораторных условиях с большей определенностью м. б. проведено разделение между статической и динамической нагрузками.

Машина для статич. испытаний вводит нагрузку на образец величиною 50—100 *кг/см²* в мин. На фиг. 1 представлена схема машины Шенка для динамич. испытаний (на усталость): *a*—пробный стержень, *b* — уравновешивающий груз. Машина делает 2500—6000 об/м. и столько же раз в минуту изменяет знак постоянного по величине напряжения на изгиб в испытываемом образце. Типичной машиной ударного действия нагрузки и ударного напряжения является копер Шарпи (фиг. 2). Скорость приложения нагрузки здесь значительна; ускорение при современных условиях не может быть измерено с достаточной точностью, но очень велико. Опыт на изгиб, напр. в машине Краузе с механич. приводом, может быть выполнен и выполняется в нормальных условиях в течение получаса, т. е. при величине деформации в 3,0% от пролета скорость деформации равна 0,0016% в ск. и быстрота роста напряжения $\frac{13 \cdot 2 \cdot 10^6}{1\,000\,000} = 32$ *кг/см²* в ск. В опыте на усталость изгибом напряжение изменяется в зависимости от времени по закону:



Фиг. 2.

$$\sigma = \sigma_0 \sin \omega t,$$

где σ_0—наибольшее напряжение за оборот; поэтому быстрота нарастания и убывания напряжения равна:

$$\frac{d\sigma}{dt} = \sigma_0 \omega \cos \omega t$$

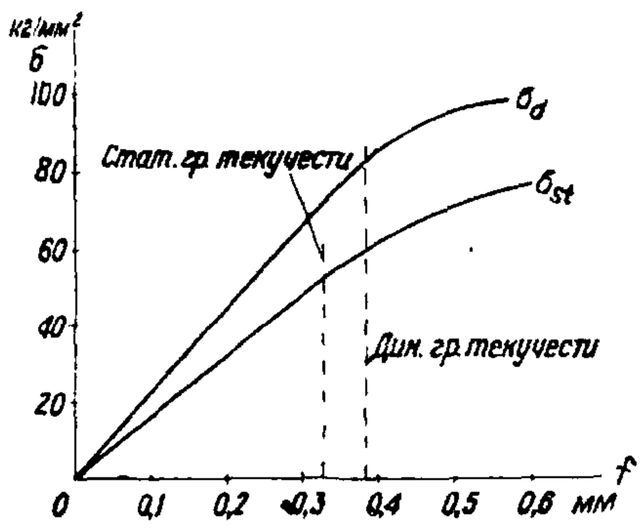
и для $t=0$

$$\left(\frac{d\sigma}{dt}\right)_{max} = \sigma_0 \omega.$$

Если машина Шенка делает один оборот в $\frac{1}{3000}$ мин., то $\left(\frac{d\sigma}{dt}\right)_{max} = 10\,000$ *кг/см²* в ск., т. е. приблизительно в 300 раз больше против статич. действия машины. То же напряжение на копре Шарпи вырастает за 0,0001 ск., и скорость напряжения следовательно равна 320 000 *кг/см²* в ск., т. е. в 10 000 больше скорости статич. или в 300 раз скорости колебательной нагрузки.

Прочность и деформация материалов, а стало быть также прочность и деформация машин и сооружений, находятся в большой зависимости от величины и знака действующих напряжений. В соответствии с исследованиями Вёлера, Баушингера и др. прочность металлов при динамич. нагрузке всегда ниже прочности при статич. нагрузке. Соотношение временных сопротивлений при статич. и динамич. нагрузках выражается числами 3 : 2 : 1, где число 3 относится к статич. нагрузке, 2—к динамич.

переменной от нуля до известного значения силы, 1—к динамической колебательной между отрицательным и положительным (и наоборот) значениями нагрузки. Временное сопротивление при ударной нагрузке не поддается надежному измерению, но результаты испытаний для железа и стали указывают на более высокое значение его по сравнению со статич. нагрузкой (для случая ударной нагрузки одного знака). Временное сопротивление для ударной нагрузки оказывается в 1,5 (Планк)—2 (Динник) раза больше против соответствующего статич. напряжения и во всех случаях известных испытаний не ниже его. На фиг. 3 приведена диаграмма Берга, из которой видно общее повышение напряжений при динамич. нагрузке по сравнению со статической (σ—напряжение, f—прогиб). Модули упругости и удлинение считают одинаковыми. Повышение напряжения наблюдается также при испытаниях с большей скоростью, и ударная нагрузка таким образом не находится вне этого общего положения. Ударная прочность определяется более часто опытом над надрезанным образцом (фиг. 4). Большое различие между металлами в этом отношении в зависимости от термической обработки видно из табл. 1.



Фиг. 3.

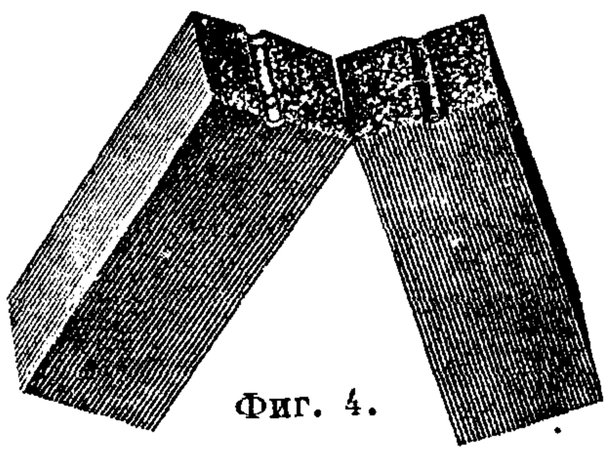
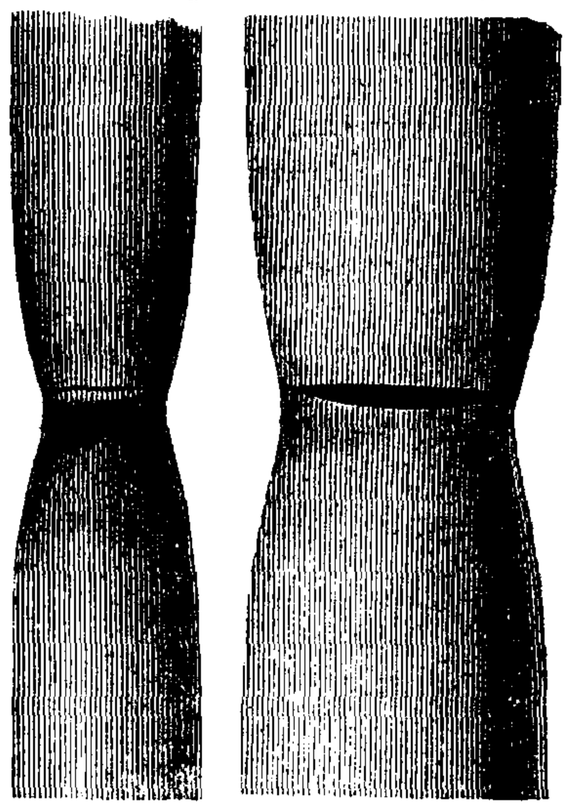
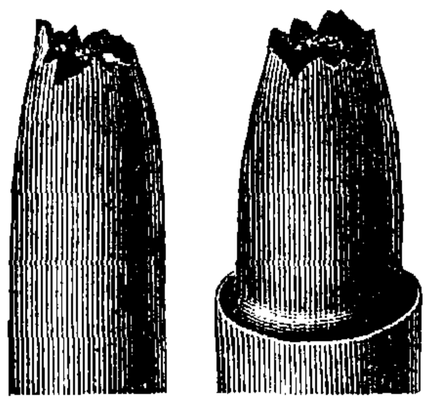

Фиг. 4.

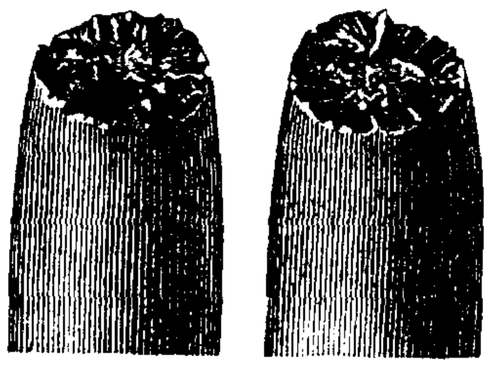
Табл. 1.—Зависимость величины ударной прочности от термической обработки.

Никелевая сталь 0,36% C, 2,95% Ni, 0,48% Mn	Отжиг 1 ч. при 900°	Закалка с 900° и отпуск при 650°	Закалка с 900° и отпуск при 350°
Удлинение δ, % (при разрыве) . .	25,1	19,0	7,0
Поперечное сжатие ψ, % . . .	48,5	67,0	50,0
Предел текучести σ_s, кг/мм²	46,3	62,2	132,0
Временное сопротивление σ_B, кг/мм²	61,0	70,9	141,0
Истинное сопротивление разрыву σ_u, кг/мм² . . .	101,5	140,0	202,0
Вязкость надрезанного образца a, кг/см²	8,2	18,6	7,0

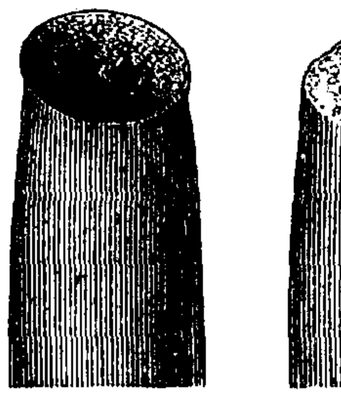
Испытание повторными У. (при числе У. < 500) даст те же результаты, что и испытание одним У., т. е. можно считать правильным утверждение, что ударная прочность—особое качество металлов, которое невозможно предусмотреть иным путем, кроме специального исследования. В машиностроении в качестве материала для изготовления деталей, которые подвергаются У. в работе, выбирают материалы с большой вязкостью надрезанного образца и кроме того принимают для расчета этих деталей пониженное допустимое напряжение против соответствующего случаю нагрузки. Употребительные коэф-ты понижения 1,5—2 и редко более, но не свыше 10. Все виды нагрузок отличаются друг от друга состоянием поверхности разрушения, поэтому возможно немедленно после разрушения установить характер действующей нагрузки внешним осмотром поверхности и особенно уверенно изучением ее под микроскопом. На фиг. 5—10 показаны виды поверхностей разрушения при статич. испытании на разрыв металлов различной вязкости. Фиг. 5—статич. разрыв круглого стержня из мягкой стали: $\sigma_B = 3\,800$ кг/см²; $\delta = 28\%$; $\psi = 5\%$; фиг. 6—то же плоского стержня из более твердой стали:

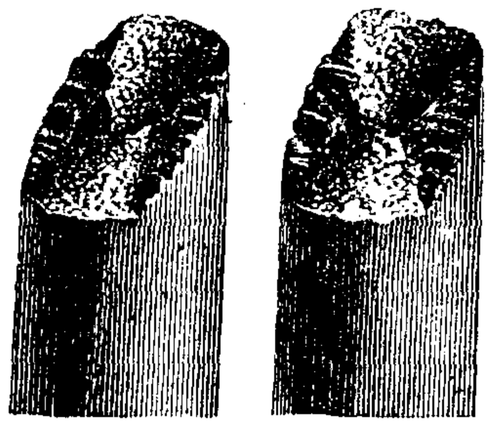

Фиг. 5. Фиг. 6.

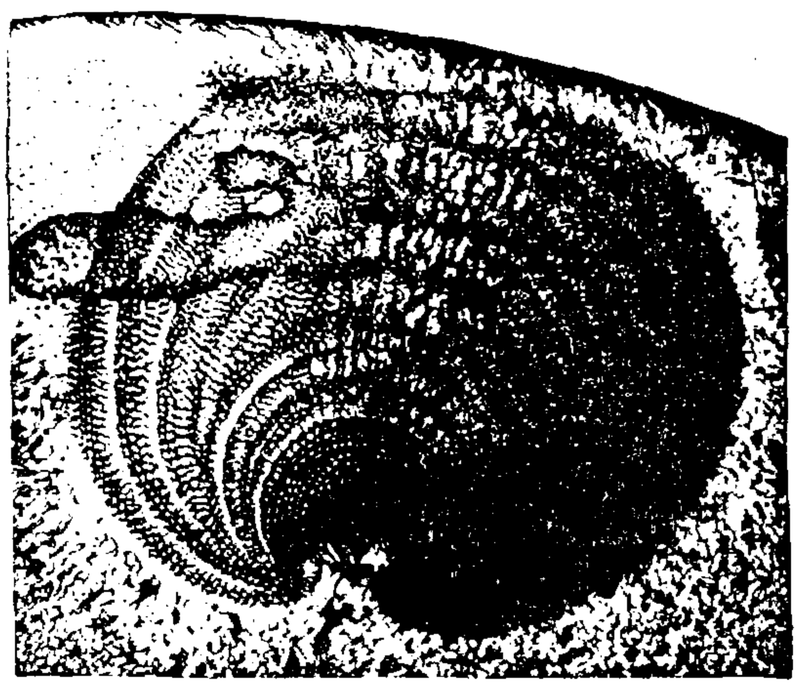

Фиг. 7.


Фиг. 8.

$\sigma_B = 4\,000$ кг/см²; $\delta = 25\%$; $\psi = 5\%$. Фиг. 7 и 8—разрыв литой стали: $\sigma_B = 4\,100$ кг/см²; $\delta = 22\%$; $\psi = 50\%$. Фиг. 9 и 10—разрыв специальной стали: $\sigma_B = 8\,815$ кг/см²; $\delta = 75\%$; $\psi = 48\%$. Фиг. 11 изображает поверхность разрушения при действии колебательной нагрузки (поверхность

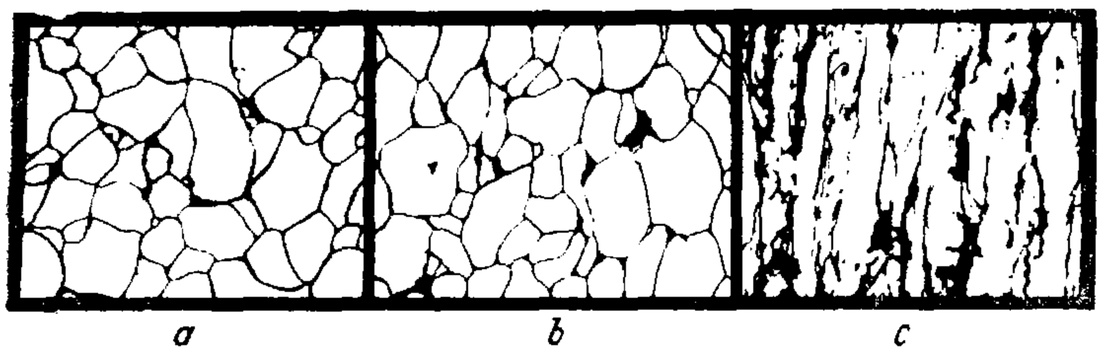

Фиг. 9.


Фиг. 10.

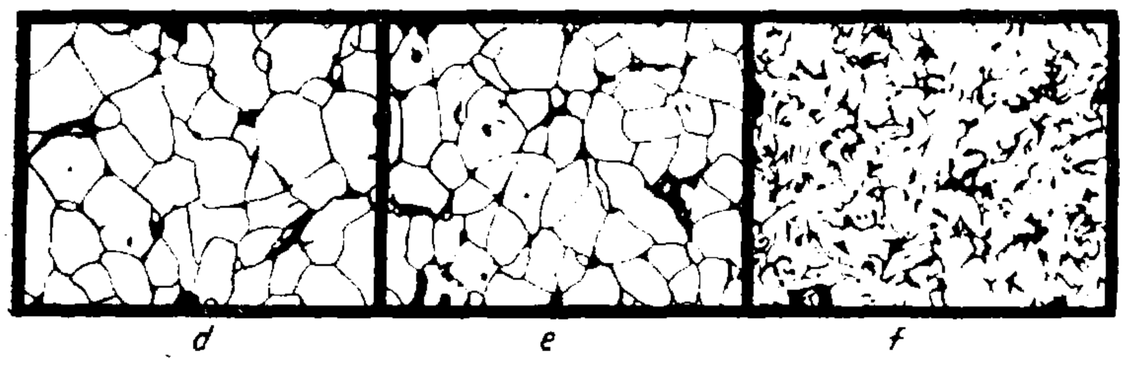

Фиг. 11.

усталости). На фиг. 12, А и Б показаны микроскопич. картины поверхности исходного материала и разрушенного при статич. испытании: фиг. 12, А—долевые деформации (a—естествен-

ное состояние, *b*—пластич. деформация при малых нагрузках, *c*—деформация перед разрушением), фиг. 12, Б—поперечные деформации, (*d*—естественное состояние, *e*—при малых нагрузках, *f*—перед разрушением). На фиг. 13—то же при испытании на усталость (*a*—структура



А



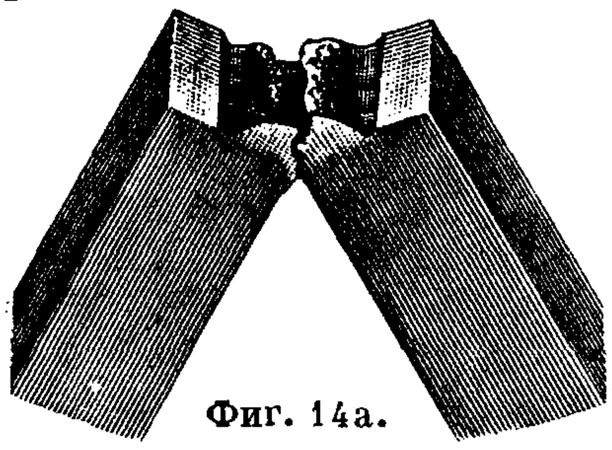
Б

Фиг. 12.

усталости, *b*—то же после отжига и *c*—структура с волосными трещинами разрушения). Можно усмотреть, что статич. испытание резко нарушает расположение кристаллич. зерен и их конфигурацию. Поверхность усталости (фиг. 11) разделяется на две зоны—кристаллическую и

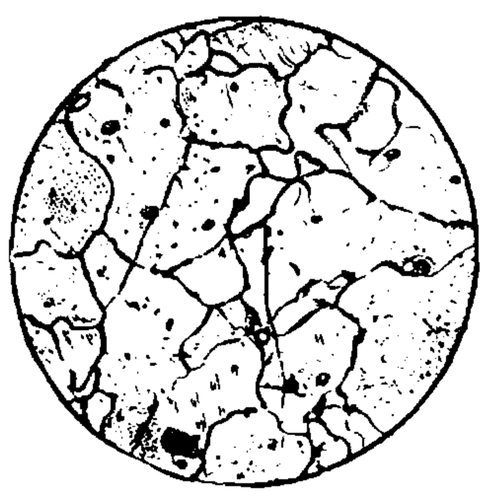
Фиг. 13.

аморфную, причем аморфная образуется путем последовательного роста радиуса окружности с крайней касательной к ней в наиболее напряженном месте поперечного сечения или в месте какого-нибудь внутреннего или внешнего дефекта. Фиг. 14а дает вид внешней поверхности при разрушении У. На фиг. 14б показаны микроструктура материала до У. и на фиг. 14в—после У. Здесь ясно выражена концентрация напряжений и деформированной зоны вблизи места У. Разрушение проходит через кристаллич. зерна (черные полосы—линии Неймана), а не между зернами, как при статич. испытании или на усталость (фиг. 12 и 13). Концентрация деформированной зоны позволяет различать самые тонкие качественные черты металла и дает основание для надлежащей оценки нескольких способов термообработки данной стали (табл. 1).



Фиг. 14а.

Изучение металла опытом на У. создает ясное представление о качественном состоянии и поведении металла и является прочным основанием для отбора металла для известных изделий, но не доставляет количественных данных для расчета. Расчет основывается всегда на временном сопротивлении при статич. растяжении (или начале текучести) и пределе усталости. Влияние удара учитывается особо для



Фиг. 14б.

Фиг. 14в.

каждой детали и д. б. указано при изложении способов расчета ее в курсах машиностроения. В табл. 2 [1] приведены допустимые напряжения

Табл. 2.—Допускаемые напряжения для крановых конструкций (*кг/см²*).

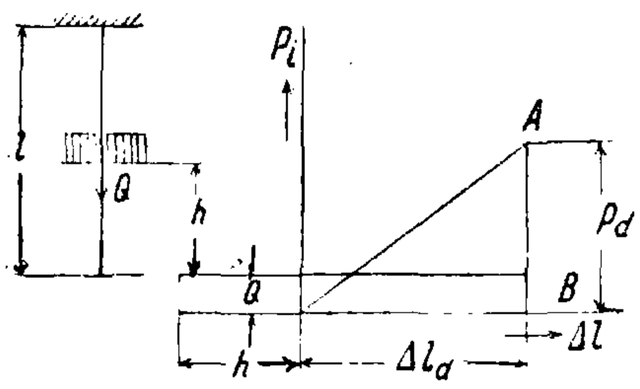
Марка стали *1		*2	A	B	C
Сталь 34	$\sigma_s = 1\,960$	I	$\frac{1\,916}{2,13}=910$	$\frac{1\,930}{1,62}=1\,210$	$\frac{1\,960}{1,51}=1\,295$
	$\sigma_{sch} = 1\,750$	II	$\frac{1\,750}{2,25}=780$	$\frac{1\,750}{1,75}=1\,000$	$\frac{1\,750}{1,45}=1\,255$
	$\sigma_w = 1\,310$	III	$\frac{1\,310}{2,38}=550$	$\frac{1\,310}{1,82}=720$	$\frac{1\,310}{1,34}=975$
Сталь 37	$\sigma_s = 2\,120$	I	$\frac{2\,120}{2,02}=965$	$\frac{2\,120}{1,65}=1\,280$	$\frac{2\,120}{1,55}=1\,370$
	$\sigma_{sch} = 1\,830$	II	$\frac{1\,860}{2,3}=910$	$\frac{1\,860}{1,75}=1\,010$	$\frac{1\,830}{1,15}=1\,280$
	$\sigma_w = 1\,380$	III	$\frac{1\,380}{2,4}=575$	$\frac{1\,380}{1,75}=745$	$\frac{1\,380}{1,35}=1\,020$
Сталь 50	$\sigma_s = 2\,715$	I	$\frac{2\,715}{2,28}=1\,190$	$\frac{2\,715}{1,75}=1\,550$	$\frac{2\,715}{1,625}=1\,670$
	$\sigma_{sch} = 2\,360$	II	$\frac{2\,330}{2,41}=980$	$\frac{2\,360}{1,82}=1\,295$	$\frac{2\,360}{1,154}=1\,530$
	$\sigma_w = 1\,690$	III	$\frac{1\,690}{2,52}=665$	$\frac{1\,690}{1,95}=870$	$\frac{1\,690}{1,4}=1\,210$
Сталь 70	$\sigma_s = 3\,620$	I	$\frac{3\,620}{2,4}=1\,510$	$\frac{3\,620}{1,8}=2\,010$	$\frac{3\,620}{1,71}=2\,120$
	$\sigma_{sch} = 3\,100$	II	$\frac{3\,100}{2,48}=1\,250$	$\frac{3\,100}{1,85}=1\,675$	$\frac{3\,100}{1,59}=1\,980$
	$\sigma_w = 2\,120$	III	$\frac{2\,120}{2,59}=820$	$\frac{2\,120}{2}=1\,060$	$\frac{2\,120}{1,4}=1\,510$

*1 Марка стали обозначает временное сопротивление разрыву в *кг/мм²*. Критич. напряжение для постоянной нагрузки σ_s равно пределу текучести, σ_{sch}—критич. напряжение при переменной нагрузке (от 0 до максимальной величины), σ_w—критич. напряжение при колеблющейся нагрузке (от $+\sigma_w$ до $-\sigma_w$). Допускаемое напряжение получается как частное от деления критического напряжения на коэфициент безопасности. *2 Категория нагрузки.

при конструировании кранов и других подъемных устройств, причем возможное появление У. оценивается здесь в зависимости от скоростей подъема и передвижения, а также умеренной или напряженной работы привода. В основание таблицы положены три механические константы стали: предел текучести, временное сопротивление для переменной нагрузки и предел усталости. Напряжения даны для трех случаев нагрузки: спокойной (I), переменной (II) и колебательной (III). Напряжение

в графе А относится к высоким скоростям и напряженной работе привода, в графе В—к незначительным скоростям и спокойной работе привода, почти одинаковой с ручным, и в графе С—только к железным конструкциям крана (не к машинным частям) и при достаточно тяжелой тележке. Предполагается совершенно справедливо, что сила инерции тяжелой тележки защищает конструктивные детали крана от внезапных ударов и прекращает колебания. В знаменателе всюду показаны достаточные, по мнению автора таблицы, запасы прочности. Из сравнения их можно вывести заключение, что автор дает У. и сотрясениям тем бо́льшую оценку, чем меньше удлинение материала; коэфициентам понижения напряжения он дает значения 1,44—1,8.

В элементарной теории У. предполагают, что: 1) смятия в месте У. не происходит, 2) влияние У. распространяется от места У. мгновенно (скорость передачи весьма велика), 3) длительность У. достаточна для развития соответствующей деформации, 4) скорость от места У. передается различным точкам упругого тела по закону, к-рому подчиняется соответствующая деформация, 5) упругое тело воспринимает энергию от У. в одном только виде—потенциальной энергии, 6) закон сохранения энергии приложим к явлению У. и 7) упругое тело в своих изменениях подчиняется закону Гука.



Фиг. 15.

У. при растяжении и сжатии. Пусть груз Q падает с высоты h на подставку, присоединенную к стержню длиной l, поперечного сечения F из материала с модулем 1-го рода E. До конца первого периода У., когда скорость груза и стержня будет равной нулю, закон сохранения энергии д. б.

$$Q(h+\Delta l_d)=\frac{P_d\,\Delta l_d}{2},$$

где Δl_d—абсолютное удлинение стержня, P_d—равнодействующая внутренних сил. На фиг. 15 представлено изображение ур-ия внутренней энергии стержня. Прилагая закон Гука в форме $P_d=EF\frac{\Delta l_d}{l}$, получим:

напряжение

$$\sigma_d=\sigma_{st}+\sqrt{\sigma_{st}^2+2\sigma_{st}E\frac{h}{l}}, \qquad (1)$$

удлинение

$$\Delta l_d=\Delta l_{st}+\sqrt{\Delta l_{st}^2+2\Delta l_{st}h}. \qquad (2)$$

Если включить в рассмотрение массу стержня, придем к выражению

$$\sigma_d=\sigma'_{st}+\sqrt{\sigma'^2_{st}+2\sigma'_{st}E\frac{h}{l}\left(1-\frac{1}{3}\frac{\sigma_e}{\sigma'_{st}}\right)}, \qquad (3)$$

$$\Delta l_d=\Delta l'_{st}+\sqrt{\Delta l'^2_{st}+2\Delta l'_{st}h\left(1-\frac{1}{3}\frac{\Delta l_e}{\Delta l'_{st}}\right)}, \qquad 4)$$

где

$$\sigma'_{st}=\frac{Q}{F},\ \Delta l'_{st}=\frac{\sigma'_{st}l}{E},\ \sigma_e=\frac{G_e}{F},\ \Delta l_e=\frac{\sigma_e l}{E}$$

и G_e—собственный вес.

Выражения (3) и (4) показывают, что напряжение и деформация в имеющем массу упругом теле уменьшаются по сравнению с таковыми для невесомого стержня. Наименьшее напряжение от У. будет при $h=0$ и равно $\sigma_d=2\sigma'_{st}$. Если σ'_{st}—малая величина, можно принять вместо (3) и (4)

$$\sigma_d=\sqrt{2\sigma'_{st}E\frac{h}{l}\left(1-\frac{1}{3}\frac{\sigma_e}{\sigma'_{st}}\right)}, \qquad (5)$$

$$\Delta l_d=\sqrt{2\Delta l'_{st}h\left(1-\frac{1}{3}\frac{\Delta l_e}{\Delta l'_{st}}\right)}. \qquad (6)$$

Высоту падающего груза можно заменить скоростью на основании того же закона сохранения энергии, а именно:

$$Qh=\frac{Q}{g}\cdot\frac{v^2}{2}\ \text{ и }\ h=\frac{v^2}{2g}.$$

Эта замена дает возможность распространения ф-л (1), (2), (3), (4) на те случаи, в к-рых высота падения не входит непосредственно, напр. внезапная остановка при подъеме с известной скоростью, пуск в ход с большой скоростью или слишком быстрое торможение и пр.

У. при кручении. Аналогично получим

$$\tau_d=\tau_{st}+\sqrt{\tau_{st}^2+2\tau_{st}G\frac{\varphi_0 r}{l}}, \qquad (7)$$

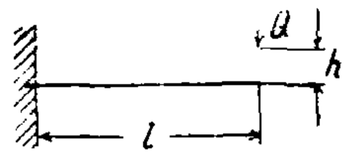
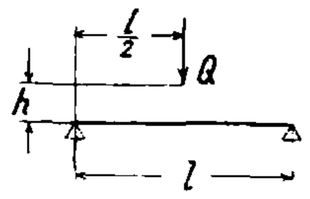
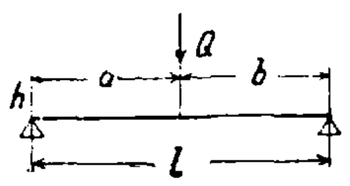
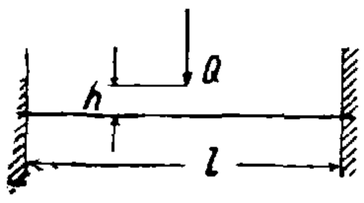
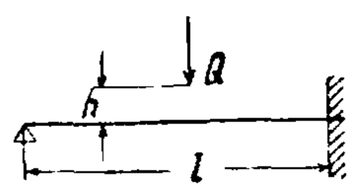
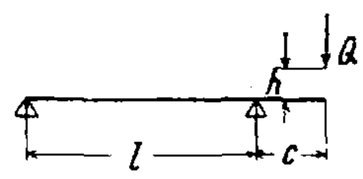
$$\varphi_d=\varphi_{st}+\sqrt{\varphi_{st}^2+2\varphi_{st}\varphi_0}, \qquad (8)$$

где G—модуль сдвига, l—длина вала, $\varphi_0 r$—произведение угла кручения на внешний радиус цилиндра, причем $\varphi_0=\frac{I\frac{\omega^2}{2}}{M_s}$, I—момент инерции масс относительно оси вращения цилиндра, ω — угловая скорость вращения, M_s—крутящий У. (внезапно приложенный момент кручения). Если начальная скорость масс до У. равна нулю, то

$$\tau_d=2\tau_{st}, \qquad (9)$$

в остальных случаях τ_d будет еще выше.

Табл. 3. — Значения α и β.

Вид балки и нагрузка	α	β
	1/3	1
	1/48	1/4
	$\frac{1}{3}\frac{a^2}{l^2}\frac{b^2}{l^2}$	$\frac{ab}{l^2}$
	1/192	1/8
	7/768	3/16
	$\frac{1}{9\sqrt{3}}\frac{c}{l}$	$\frac{c}{l}$

У. при изгибе. Напряжение при У. равно

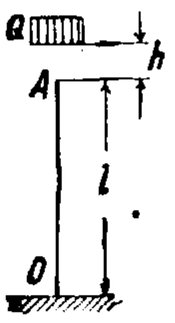
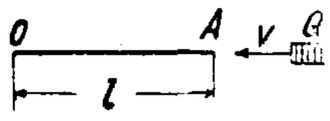
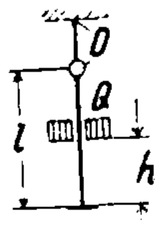
$$\sigma_d = \sigma_{st} + \sqrt{\sigma_{st}^2 + 2\sigma_{st}E \cdot \frac{h}{l} \cdot \frac{e}{l} \cdot \frac{\beta}{a}} \qquad (10)$$

и деформация

$$f_d = f_{st} + \sqrt{f_{st}^2 + 2f_{st}h}, \qquad (11)$$

где e—расстояние наиболее удаленного волокна опасного сечения от оси изгиба, l—длина балки, β — коэф. пропорциональности между длиной балки и плечом силы, момент к-рой эквивалентен моменту maximum, a—коэф., зависящий от устройства опор балки, f_d и f_{st}—стрелы прогиба в месте У. при динамич. и статич. нагрузке. В табл. 3 даны значения a и β для различных видов балок и расположения нагрузки.

Табл. 4.—Величины сил и напряжений для некоторых случаев удара.

Схема случая удара	Наиб. напряжение при У. σ_{max}	Место σ_{max}	Условия пользования ф-лой
	$E\frac{v}{a}(\sqrt{m}+1)$	Точка 0	$m > 24$
	$E\frac{v}{a}(\sqrt{m}+1{,}1)$	0	$24 > m > 5$
	$2E\frac{v}{a}\left(1+e^{-\frac{2}{m}}\right)$	0	$5 > m$
 Стержень свободен	$E\frac{v}{a}$	0	При всех значениях m
	1) $0{,}9E\frac{v}{a}$ 2) $1{,}5E\frac{v}{a}$ 3) $2{,}0E\frac{v}{a}$	0	1) $m = 1$ 2) $m = 2$ 3) $m = 4$

$a = \sqrt{\frac{Eg}{\gamma}}$, $m = \frac{Q}{\gamma Fl}$, $v = \sqrt{2gh}$, γ— уд. в.

В случае $h=0$ и $\sigma_d=2\sigma_{st}$; такое же соотношение, как и при других деформациях.

Принимая во внимание собственный вес балки, получим следующие ур-ия:

$$f_d = f_{st} + \sqrt{f_{st}^2 + 2f_{st}h \frac{1}{1+\frac{17}{35}\frac{G_e}{Q}}} \qquad (12)$$

и

$$\sigma_d = \sigma_{st}\frac{f_d}{f_{st}} \qquad (13)$$

для балки, свободно лежащей на двух опорах; для консольной балки множитель у второго члена $(2f_{st}h)$ под корнем будет равен:

$$\frac{1}{1+\frac{33}{140}\cdot\frac{G_e}{Q}}.$$

Если f_{st} — малая величина, то можно принять

$$\sigma_d = \sqrt{2\sigma_{st}E\frac{h}{l}\cdot\frac{e}{l}\cdot\frac{\beta}{a}}.$$

Выводы теории У. используются в расчетах как указание для выбора допустимых напряжений. Допустимые напряжения для вероятной ударной нагрузки (быстроходные двигатели) и тем более для постоянной (молот) выбираются в $1^1/_2$—2 раза и более ниже тех, к-рые соответствуют случаю нагрузки рассчитываемой конструкции. В табл. 4 приведены величины сил и напряжений для других случаев удара.

Лит.: 1) Garlepp, Zulässige Spannungen u. Dauerfestigkeit im Kran u. Verladebrückenbau, «Maschinenbau», 1930, B. 10; Давиденков Н., Динамич. испытание металлов, М., 1929; Todhunter I. a. Pearson K., A History of the Theory of Elasticity, v. 1, Galilei to Saint-Venant, L., 1886; Craf O., Die Dauerfestigkeit d. Werkstoffe, B., 1929; Rötscher F., Sicherheit u. Beanspruchung bei d. Berechnung von Maschinenteilen, «Maschinenbau», B., 1930, B. 9; Bock, Zulässige Spannungen, ibid., 1930, B. 9 u. 1931, B. 10; Schwinning, Beurteilung d. Werkstoffe nach Kerbversuchen, «Z. d. VDI», 1929, p. 390; Sears, «Transactions of the Cambridge Phil. Soc.», Cambridge, 1908, v. 20; Wagstaff, «Proceed. of the Royal Society of London», L., 1924, p. 544. **С. Лебедев.**

УДЕЛЬНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ, отношение полной поверхности тела к занимаемому им объему. Так, У. п. куба с ребром a или любого числа таких же кубов равна $6a^2 : a^3 = 6/a$; У. п. шара с радиусом r равна $4\pi r^2 : 4/3\,\pi r^3 = 3/r$. У. п. системы, состоящей из любого числа тел одинакового размера и формы, равна У. п. одного такого тела. При дроблении тела на нек-рое число равновеликих тел той же формы У. п. возрастает пропорционально уменьшению линейных размеров, напр. для куба с ребром в 1 *см* его поверхность = 6 *см*^{2}, объем = 1 *см*^{3}, У. п. = 6 *см*, для 1 000 кубов с ребром 0,1 *см* поверхность = 1 000 · 6 · 0,01 *см*^{2}, объем = 1 *см*^{3}, У. п. = 60 *см* и т. д. В физике дисперсных (напр. коллоидных) систем У. п. служит характеристикой степени дробления вещества: она выражает собою поверхность, которой обладает единица объема (1 *см*^{3}) вещества в раздробленном состоянии. См. *Дымы и туманы* и *Коллоиды*. **В. Янковский.**

УДЕЛЬНЫЙ ВЕС, см. *Плотность*.

УДЕЛЬНЫЙ ОБЪЕМ, объем, занимаемый единицей массы данного вещества. По определению У. о. V_1 есть величина, обратная плотности D: $V_1 \cdot D = 1$, $V_1 = \frac{1}{D}$; У. о. обычно измеряется в *см*^{3}/*г* или в *л*/*кг* или в *м*^{3}/*т*, имея размерность (длина)^3 · (масса)$^{-1}$. Умножая У. о. на мол. вес (массу) данного вещества, найдем молекулярный (молярный) объем $M \cdot V_1 = \frac{M}{D}$, т. е. объем, занимаемый 1 молем (граммолекулой) вещества в данном состоянии. Аналогично находится атомный объем: $A \cdot V_1 = \frac{A}{D}$; объем тела, приходящийся на 1 молекулу (1 атом) данного вещества, получится из этих величин делением на число Авогадро ($N = 6{,}06 \cdot 10^{23}$): MV_1/N или $A \cdot V_1/N$. Аналогично одинаковой размерности плотности и концентрации c, У. о. и величина, обратная концентрации — разведение $\frac{1}{c}$, имеют тоже одинаковую размерность. Тогда как плотность и У. о. относят обычно к любым телам, о концентрации и разведении гово-

рят применительно к растворам, понимая под разведением объем раствора, напр. в *л*, в к-ром заключена единица массы 1 *г* или 1 моль данного (растворенного) вещества. **П. Ребиндер.**

УДОБРЕНИЯ, вещества, вносимые в почву для повышения урожаев с.-х. растений. Это повышение урожаев обусловливается содержанием в У. питательных элементов, необходимых для жизни растений, или же их благоприятным воздействием на физико-химич. и микробиологич. свойства почвы. Вещества, содержащие питательные элементы, называются прямыми У. Все другие вещества, воздействующие только на физико-химич. свойства почвы, называются косвенными У. Кроме того все У. можно разделить на две большие группы: 1) органические У. с содержанием в них больших количеств органич. веществ, причем главная масса питательных элементов находится в них в форме органич. соединений; 2) минеральные У., вещества неорганич. происхождения, специально получаемые на ф-ках и з-дах, почему их часто называют искусственными удобрениями.

Минеральные У. Прямые минеральные удобрения разделяются на: а) односторонние, содержащие только один какой-либо питательный элемент для растений (N, K или P), и б) сложные, или многосторонние, содержащие два или больше питательных элементов. К односторонним У. относятся: калийные, содержащие только калий, фосфорнокислые, содержащие только фосфор, азотные, содержащие только азот. К сложным У. относятся: азотнофосфатные, содержащие N и P, фосфорнокалийные, содержащие P и K, калийноазотные, содержащие N и K, калийно-фосфорно-азотные, содержащие N, P и K. К группе косвенных У. относятся различные вещества, содержащие Ca, Mg и другие элементы. К этой же группе У. следует отнести т. н. стимулирующие У., вносимые в почву в весьма малых количествах, напр. соединения марганца, бора, меди, цинка и др. В некоторых случаях эти соединения в весьма сильной степени действуют на развитие растений. За последние годы приобрели весьма важное значение сложные удобрения, отличающиеся высоким содержанием питательных элементов и отсутствием других посторонних примесей (балласта).

Сложные У. получаются двоякимпутем: или в результате механического смешивания простых У. или же в результате химич. процессов взаимодействия различных соединений; в последнем случае состав сложных У. определяется химич. ф-лой входящих в них соединений, причем получаются безбалластные У., содержащие высокий % питательных элементов. При механич. смешении У. получается более низкое содержание питательных элементов при наличии балластных веществ, содержащихся в смешиваемых У. Смешение У. необходимо производить в тех случаях, когда в почву следует одновременно внести несколько питательных элементов. При таком смешении обращают внимание на форму смешиваемых У. и количественное соотношение питательных элементов в получаемых смесях. Что касается форм У., то не производят смешивания таких форм, когда: а) вследствие возникающих химич. реакций происходит выделение питательных элементов в газообразном виде, а следовательно их потеря, или б) возможно ухудшение физич. свойств полученной смеси, затрудняющее их дальнейшее использование. Соотношение питательных элементов в смесях устанавливается в зависимости от потребностей данной культуры в питательных веществах. Поэтому нельзя установить единой смеси с постоянным соотношением питательных элементов для всех районов и культур. Весь процесс смешивания м. б. легко механизирован, т. к. имеется достаточное количество разных систем смесителей.

Табл. 1. — Запасы сырья для минеральных удобрений в СССР.

Виды сырья	В каких областях имеются запасы сырья	Запасы в тыс. *m*		Среднее содержание действующих веществ в %
		A+B+C*1	A*1	
Апатиты *2 Фосфориты *2	Кольский полуостров.	530 000	183 800	—
	Горьковский край . . .	2 023 875	219 204	15÷25 P_2O_5
	Чувашская АССР . . .			
	Ивановская обл.			
	Московская »			
	Западная »			
	ЦЧО	94 085	43 447	13÷17 P_2O_5
	Ср. и Нижн. Волга . .	795 313	15 872	15÷20 P_2O_5
	УССР	4 912	1 511	15÷18 P_2O_5
	Казакстан	390 769	47 702	15÷20 P_2O_5
Всего фосфоритов и апатитов . . .		3 888 884	511 636	—
Верхнекамские калийные соли *5	Соликамский район	3 100 000 *3	—	K_2O
		2 400 000 *4	—	
Калийные соли Туркменистана *5	ТССР	Запасы еще не определены		—
Известняки *6	Имеются выходы во многих областях СССР	Огромные запасы		$CaCO_3$ 50÷99,7%
Доломиты *6	Имеются выходы во многих областях СССР	Огромные запасы		$MgCO_3$ $CaCO_3$
Гипс *7	Во многих областях СССР	Огромные запасы		$CaSO_4 \cdot 2H_2O$
Кость *8	Во многих областях СССР	—	—	$Ca_3(PO_4)_2$ с содерж. P_2O_5 до 35%
Фосфорсодерж. железные руды *9	Керченский полуостров	500 000 000	—	1% P_2O_5

*1 См. *Разведки* месторождений полезных ископаемых. *2 Для изготовления фосфоритной муки для непосредственного применения; для производства суперфосфатов, преципитатов, аммофосов. *3 Карналитовые запасы. *4 Сильвинитовые запасы. *5 Для изготовления разных видов калийных удобрений: хлористого калия, калийных солей и др. *6 Для непосредственного известкования почв и для производства преципитатов, кальциевой селитры. *7 Для непосредственного удобрения и для получения сульфата аммония в присутствии NH_3 и CO_2. *8 Для получения костяной муки для непосредственного удобрения и для производства суперфосфатов. *9 В виде шлака при выплавке стали и железа из чугуна идет после размола непосредственно на удобрение.

Для производства всех видов минеральных У. необходимо иметь соответствующие источники сырья: для фосфорнокислых У.—*фосфориты* (см.), *апатиты* (см.) и фосфорсодержащие железные руды [*вивианит* (см.) и др.], для калийных—залежи калийных минералов, для азотных—гл. обр. азот атмосферы и в меньшей степени—аммиак газов коксовальных печей. В табл. 1 приведены данные о запасах сырья в СССР.

Для получения соответствующих У. сырье необходимо переработать. Эта переработка преследует двоякие цели: во-первых, получить продукт в тонко измельченном состоянии, чтобы равномерно его распределить по поверхности поля, и, во-вторых, чтобы для нек-рых видов сырья произошли химич. изменения, в результате к-рых вещества переходят из неусвояемого для растений состояния в усвояемое. В соответствии с этими главными задачами все методы переработки сырья можно разделить на механич. и химич. В табл. 2 приведены главнейшие из методов переработки сырья, применяемых при производстве У.

Табл. 2.—Методы переработки сырья.

Название методов	Фосфорит и апатит	Азот воздуха	Калийные соли	Известь
Механический	Дробление, размол и просеивание для получения фосфоритной муки	—	Дробление и размол сырых солей	Дробление и размол для получения известковой муки
Химический	I. Действие на фосфорит кислотой, гл. обр. H_2SO_4, с целью перевода $Ca_3(PO_4)_2$ в фосфорите в $CaH_4(PO_4)_2$—суперфосфат	I. Синтез азота воздуха с кислородом в электрич. печи при $t°$ вольтовой дуги. Полученные окислы азота с водой дают азотную к-ту, из к-рой изготовляются различные соли, идущие на удобрения	Растворение и кристаллизация для очищения от примесей и получения высокопроцентных калийных удобрений	Обжигание с целью перевода $CaCO_3$ в CaO
	II. Действие на фосфорит кислотой с целью получения свободной фосфорной кислоты для последующего производства преципитата, двойных суперфосфатов	II. Синтез азота воздуха с водородом при высокой $t°$ и высоком давлении. Образуется аммиак, к-рый, соединяясь с кислотой, дает аммиачные удобрительные соли или же, окисляясь, образует азотную к-ту		
	III. Спеканием фосфорита с Na_2CO_3, Na_2SO_4 и др. для перевода $Ca_3(PO_4)_2$ в форму, более усвояемую для растений	III. Присоединение азота воздуха при высокой $t°$ к карбиду кальция с образованием цианамида кальция		
	IV. Электровозгонка из фосфорита фосфорной к-ты, применяемой далее для производства разных фосфорнокислых удобрений			

Более детально способы получения У. с указанием нек-рых свойств и состава отдельных У. даны в табл. 3.

Хранение У. Правильное хранение У. имеет весьма важное значение как в технике использования, так и в экономике их применения. Во время хранения в массе У. могут происходить как химич., так и физич. изменения, часто понижающие качество этих У.: 1) процессы частичного слеживания туковой массы, образующей комочки различной величины; 2) сплошное уплотнение от слеживания этой массы; 3) осырение туковой массы под влиянием гигроскопичности; 4) потери при хранении действующих веществ под влиянием химич. процессов, принимающих такое направление при неправильных условиях хранения (напр. цианамид кальция в сырых складах теряет азот и т. п.). Главнейшим условием при хранении туков являются защита их от непосредственного действия влаги как сверху, так и снизу из почвы, устранение колебаний влажности в помещениях, в к-рых хранятся туки, и пр. Для нек-рых У., как фосфоритная мука, томасшлак и др., такое колебание не имеет большого значения, но другие У., как нитрат аммония, калийные соли и пр., являются очень чувствительными к изменениям влажности воздуха складов. Слеживание и уплотнение туковой массы имеет значение при последующем использовании У. Слежавшиеся массы становятся непригодными для распределения по полю без предварительного их размельчения. Основным фактором слеживания является или ненормальная исходная влажность, гигроскопичность, или же последующее изменение влажности. Точно так же имеет значение в этом отношении длительность хранения без перекладывания, а также и то давление, к-рое создается на нижние слои хранящейся массы. В зависимости от свойств отдельных У. необходимо в отдельных случаях индивидуально подходить к хранению У. Охрана здоровья рабочих при складах У. приобретает весьма важное значение, т. к. нек-рые У. действуют весьма неблагоприятно и без принятия особых мер предосторожностей могут причинить вред здоровью людей. Так, сильно пылящие У. раздражают дыхательные пути и глаза. Многие отсыревающие туки сильно разъедают кожу рук и пр. Во всех случаях работы с У. необходимо принимать соответствующие меры предосторожности: специальные очки, прозодежда и т. д.

Физиологическая кислотность или щелочность удобрения. Помимо присущей каждому виду У. реакции необхо-

Табл. 3.—Удобрения, их свойства и методы производства.

№	Название удобрений	Химич. ф-ла и состав	Содерж. лавных питат. элементов в %	Прочие составные части и примеси в %	Главнейшие физические свойства	Способы получения
1	Чилийская селитра	$NaNO_3$	15÷16N	0,2 NaJ·NaCl	Кристаллическ. продукт белого или желтоватого цвета, гигроскопичен, слабо слеживается, нейтральный	Добывается из залежей растворением и последующей кристаллизацией
2	Кальциевая селитра (норвежская)	$Ca(NO_3)_2 \cdot H_2O$	13÷15,5N	25÷28 CaO	Белый аморфн. продукт, очень гигроскопичен, сильно слеживается, нейтральный	Из азотной к-ты нейтрализацией $CaCO_3$
3	Сульфат аммония (сернокислый аммоний)	$(NH_4)SO_4$	20÷21N	—	Кристаллич. белый порошок, слабо гигроскопичен, мало слеживается	Получается нейтрализацией серной к-ты аммиаком, полученным синтетически, или же аммиаком из газов коксовых печей; получается также и из гипса и аммиака в присутствии CO_2
4	Хлористый аммоний	NH_4Cl	24÷25N	—	Белый кристаллич. порошок, не гигроскопичен, не слеживается, нейтральный	Насыщением соляной кислоты аммиаком или как побочный продукт при аммиачном содовом производстве по способу Сольве
5	Азотнокислый аммоний	NH_4NO_3	33÷34N	—	Белый кристаллич. продукт, очень гигроскопичен, слеживается, нейтральный	Пропусканием аммиака в крепкую азотную к-ту с последующим упариванием и сушкой
6	Углекислый аммоний	$(NH_4)_2CO_3$	32÷34N	—	При хранении теряется азот	Взаимодействием аммиака и угольной к-ты
	Двууглекислый аммоний	—	17÷18N	—		
7	Сульфатнитрат аммония	$NH_4NO_3 \cdot (NH_4)_2SO_4$	26÷27N	—	Сероватый кристаллич. порошок, гигроскопичен, слеживается меньше, чем NH_4NO_3, нейтральный	Пропусканием аммиака в смесь серной и азотной кислот
8	Известково-аммиачная селитра	$NH_4NO_3 \cdot CaCO_3$	20÷21N	35 $CaCO_3$	Зернистый продукт сероватого цвета, гигроскопичен, мало слеживается, слабо щелочной	Получается путем смешения NH_4NO_3 с $CaCO_3$ в особых барабанах, где масса расплавляется
9	Цианамид кальция	$CaCN_2$	18÷20N	CaO 20÷28%; C 9÷18%; нераствор. примеси 2÷3%	Темносерый тонкий порошок, не гигроскопичен, не слеживается, щелочной	Из карбида кальция в электрич. печах при $t°$ 1 110° пропусканием азота, полученного из воздуха
10	Мочевина	$CO(NH_2)_2$	42÷46N	—	Гигроскопична, не слеживается, белый мелкокристаллическ. порошок, нейтральный	Из аммиака и CO_2 в автоклаве при $t°$ 150° и под давлением 125÷150 атмосфер
11	Фосфоритная мука	$Ca_3(PO_4)_2$	13÷35 P_2O_5	—	Не гигроскопична, не слеживается	Размолом фосфоритов
12	Суперфосфат простой	$CaH_4(PO_4)_2$	14÷18 P_2O_5	Гипс, полуторные окислы	Мягкий порошок, легко слипается в комки, не гигроскопичен, кислый	Действием на фосфоритную муку H_2SO_4
13	Суперфосфат двойной и тройной	$3(CaH_4(PO_4)_2 \cdot H_2O)$	32÷50 P_2O_5	—	Мягкий порошок, несколько вязок, может слипаться, не гигроскопичен, кислый	Действием на фосфоритную муку фосфорной к-ты
14	Преципитат	$CaHPO_4 \cdot 2H_2O$	32÷40 P_2O_5	—	Белый тонкий порошок, не гигроскопичен, не слеживается	Путем осаждения фосфорной к-ты $CaCO_3$
15	Томасшлак	$4CaO \cdot P_2O_5$	14÷18 P_2O_5	$CaCO_3$	Тяжелый тонкого размола порошок, не гигроскопичен, не слеживается, щелочной	Шлак при выплавке чугуна из руд, содержащих много фосфора
16	Термофосфат 1) Ренания-фосфат 2) Вольтерс-фосфат 3) Виберг-фосфат	$(CaO)_2N_2CO_3 \cdot P_2O_5$	17÷27 P_2O_5	—	Тяжелый, темносерый порошок, не гигроскопичен, не слеживается, щелочной	Сплавлением фосфоритной муки с $CaCO_3$ с полевыми шпатами, содой и Na_2SO_4

(Продолжение)

№	Название удобрений	Химич. ф-ла и состав	Содерж. главных питат. элементов в %	Прочие составные части и примеси в %	Главнейшие физические свойства	Способы получения
17	Сильвинит	$NaCl \cdot KCl$	12÷15 K_2O	—	Кристаллич. зернистый продукт розовато-бурого оттенка, мало гигроскопичен, слеживается, нейтральный	Из природного сильвинита посредством дробления, просеивания и механич. обогащения
18	Карналлит	$KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$	9÷12 K_2O	—	Расплывающийся на воздухе, сильно гигроскопичен, слеживается, нейтральный	Из природного карналлита посредством дробления, просеивания и механич. обогащения
19	Хлористый калий	KCl	48÷60 K_2O	—	Белый мелкокристаллич. продукт, мало гигроскопичен, слеживается, нейтральный	Растворением сильвинита в горячей воде и выкристаллизовыванием по охлаждении
20	20÷40%-ные калийные соли	KCl	20÷40 K_2O	—	Мелкокристаллич. продукт, сероватый, мало гигроскопичен, слеживается, нейтральный	Из хлористого калия путем смешения с сырыми солями
21	Сернокислый калий	K_2SO_4	42÷52 K_2O	$NaCl$	Мелкокристаллич. серый порошок, не гигроскопичен, не слеживается, нейтральный	Действием H_2SO_4 на KCl или путем обменного разложения KCl и $MgSO_4$
22	Аммиачный и аммонизированный суперфосфат	$CaH_4(PO_4)_2$, $(NH_4)_2SO_4$, $NH_4H_2PO_4$, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, $CaHPO_4$	2,5÷9,0 N; 9÷13 P_2O_5	—	Сухой, серый порошок, не гигроскопичен	Насыщением аммиаком суперфосфата или смешением суперфосфата с $(NH_4)_2SO_4$
23	Фосфаты аммония 1) аммофос 2) диаммофос	$NH_4H_2PO_4$ $(NH_4)_2HPO_4$	10÷11 N; 45—48 P_2O_5 20N; 50 P_2O_5	CaO, Al_2O_3, Fe_2O_3, SiO_2	Сероватый кристаллический порошок, слабо гигроскопичен, не слеживается	Нейтрализацией фосфорной к-ты аммиаком
24	Лейнафос	$(NH_4)_2HPO_4$, $(NH_4)_2SO_4$	20N; 20 P_2O_5	—	Белый порошок, слабо гигроскопичен, мало слеживается, нейтральный	Смешиванием $(NH_4)_2SO_4$ с $(NH_4)_2HPO_4$
25	Нитрат калия	KNO_3	13,5N; 45,6 K_2O	—	Белый кристаллический порошок, не гигроскопичен, не слеживается, нейтральный	Путем обменной реакции из KCl и HNO_3 или из $Ca(NO_3)_2$ и K_2SO_4
26	Калийно-аммиачная селитра	$KNO_3 \cdot NH_4Cl$	16 N; 28 K_2O	—	Буроватый порошок, гигроскопичен, слеживается, нейтральный	Смешиванием расплавленного NH_4NO_3 с KCl
27	Потазот	$KCl \cdot NH_4Cl$	12÷14 N; 20÷24 K_2O	$NaCl$	Белый или сероватый порошок, слабо гигроскопичен, несколько слеживается, нейтральный.	Из сильвинита, аммиака и угольной к-ты получается сода и потазот
28	Калийно-аммиачный суперфосфат	$CaH_4(PO_4)_2$, $(NH_4)_2SO_4$, KCl или K_2SO_4	4÷8 N; 7÷8 P_2O_5; 8÷15 K_2O	—	Серый порошок, гигроскопичен, слеживается, кислый	Смешиванием суперфосфата, $(NH_4)_2SO_4$ и KCl или K_2SO_4
29	Нитрофоски: I черная II голубая III красная	$KNO_3 \cdot NH_4Cl$, $(NH_4)_2 \cdot HPO_4$	22,0 K_2O; 17,5 N; 13,0 P_2O_5; 15,0 N; 11,0 P_2O_5; 26,0 K_2O 16,5 N; 17,5 P_2O_5; 20,0 K_2O	—	Белый или розоватый мелкокристаллич. порошок, слабо гигроскопичен, мало слеживается, нейтральный	Нитрофоски I, II, III и «А» готовятся смешиванием (сплавлением) $NH_4NO_3 + (NH_4)_2HPO_4 + KCl$
	IV	$K_2SO_4 \cdot NH_4Cl$, $(NH_4)_2HPO_4$	13 0 N; 15,0 P_2O_5; 18,0 K_2O	—	—	В нитрофоске IV вместо NH_4NO_3 берется $(NH_4)_2SO_4$
	«А» Зеленая	$KNO_3 \cdot NH_4Cl$. $(NH_4)_2HPO_4$	15,0 N; 30,0 P_2O_5; 15,0 K_2O	—	—	—
	«С» Коричневая	$KNO_3 \cdot (NH_4)_2HPO_4$	10,5 N; 15,5 P_2O_5; 10,0 K_2O; 13,0 N; 10,0 P_2O_5; 13,0 K_2O	—	—	В нитрофоске «С» KCl заменяется K_2SO_4
30	Лейнофоска	$K_2SO_4 \cdot NH_4Cl$, $(NH_4)_2HPO_4$		—	Серый порошок, гигроскопичен, слеживается, кислый	Получается смешиванием $(NH_4)_2HPO_4$, $(NH_4)_2SO_4$ и KCl

димо еще иметь в виду физиологическую реакцию, проявляющуюся при соприкосновении У. с корнями развивающихся растений, которые усваивают из удобрений или только кислотный остаток (напр. в $NaNO_3$—NO_3) или только основание (NH_3) [например в $(NH_4)_2SO_4$]. В первом случае остающийся натрий подщелачивает среду, а во втором SO_4 подкисляет ее; первое У. называется физиологически щелочным, второе—физиологически кислым. Для физиологически нейтральных У. происходит одновременное усвоение растениями к-ты и основания. Все аммиачные У. следует отнести также к физиологически кислым, т. к. аммиак в почве превращается под действием бактерий в азотную к-ту, подкисляющую среду. Для нормального роста и развития растений необходимы элементы: C, O, H, N, S, P, Ca, K, Mg, Fe. Углерод поступает в растения из CO_2 воздуха, O и H — в форме воды, а кислород — из кислорода атмосферы, все остальные элементы—из почвы. С урожаями всех с.-х. растений выносятся из почвы значительные количества минеральных веществ, и, чем выше урожай, тем сильнее происходит этот вынос. В табл. 4 приведены количества уносимых одним урожаем питательных элементов.

Табл. 4. — Потребление питательных веществ различными растениями.

Растение	Урожай в *ц/га*		Потребление в *кг* на *га*			
	*1	*2	N	P_2O_5	K_2O	CaO
Рожь озим.	25	60	81,0	37,0	75,0	—
Пшеница озим.	25	60	104,5	33,5	66,5	16,5
Гречиха	20	60	88,0	51,0	151,0	62,0
Картофель	150	120	84,0	41,2	192,0	105,0
Свекла сахарн.	300	200	120,0	54,0	175,0	52,0
Лен	10	40	62,8	30,1	18,8	12,7
Конопля	10	65	72,0	38,0	49,0	123,0
Горох	20	30	115,0	30,5	40,0	56,5
Клевер	—	60	118,0	33,6	90,0	141,0
Люцерна	—	100	260,0	65,0	150,0	252,6
Подсолнух	13	75	65,3	41,3	361,1	133,5

*1 Зерно, клубни, корнеплоды. *2 Солома, сено, ботва.

Как видно из табл. 4, хорошие урожаи выносят довольно значительные количества питательных элементов из почвы. При многолетней культуре этот вынос в сумме достигает больших величин и последующее развитие растений становится под угрозу недостатка питательных веществ, производя только весьма низкий урожай. Иногда в почвах имеются достаточные запасы питательных веществ, но они находятся в форме недоступной, не усвояемой растениями. В этих случаях также приходится вносить в почву питательные элементы с У. В опытах Научного ин-та по удобрениям определены запасы усвояемых питательных элементов для разных типов почв СССР (табл. 5).

Обеспеченность питательными веществами возрастает в направлении с С. на Ю., достигая в предкавказских и приазовских черноземах максимума, а затем уменьшается на каштановых почвах и сероземах. Во всех почвенных зонах меньше всего обеспечены урожаи азотом, лучше фосфором и еще лучше калием. Т. о. на первом месте по недостатку стоит азот, на втором фосфор и на третьем калий. Наибольшее действие следовательно будет проявляться, во-первых, от внесения азотных У. и, во-вторых,

Табл. 5. — Запасы усвояемых питательных элементов в почвах разного типа.

Почвы	Запасы питательных элементов в *ц/га*			Обеспеченность урожаев в питательных веществах в %		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Болотные	3,39	0,99	0,78	47,5	63,3	73,8
Подзолистые песчаные	1,54	1,21	0,97	31,4	76,5	82,5
Подзолистые суглинки	2,0	1,24	1,06	38,2	75,6	85,8
Серые лесные земли	1,88	1,36	1,21	35,6	80,7	89,1
Деградированный чернозем	2,59	1,26	1,16	44,5	76,2	89,0
Мощный чернозем	4,31	1,34	1,22	59,9	81,0	89,8
Обыкновенный чернозем	5,21	1,55	1,32	66,3	83,2	91,9
Предкавказский и приазовский черноземы	7,51	1,81	1,35	80,6	83,3	93,1
Каштановые	5,66	1,96	1,37	70,8	92,4	93,0
Сероземы	4,58	1,65	—	65,06	85,7	—

действие У. будет постепенно затухать по направлению с С. на Ю. В табл. 6 приведены данные, иллюстрирующие повышение урожая от действия тех или иных удобрений.

Табл. 6.—Повышение урожая на удобренных участках (в %).

Почвы	N	P	K	N, P, K
Болотные	72	86	73	175
Подзолистые песчаные	58	46	21	90
Подзолистые суглинки	80	56	27	112
Серые лесные земли	63	27	18	80
Деградирован. и выщелочен. черноземы	55	44	15	84
Мощный чернозем	51	24	15	63
Обыкновен. чернозем	25	16	7	36
Предкавказск. и приазовск. черноземы	5	13	7	16
Каштановые	10	1	4	19
Сероземы	18	14	—	27

Наиболее высокое повышение урожаев в % получается от *азотных удобрений* (см.) на подзолистых почвах; по направлению к Ю. действие азотных У. уменьшается, точно так же и для фосфора и калия, причем калийные У. уже с зоны деградированных черноземов начинают проявлять весьма слабое действие. Внесение полного У. (K, P, N) весьма сильно повышает урожаи до зоны обыкновенных черноземов, откуда по направлению к Ю. уменьшается дей-

Табл. 7.—Повышение урожая на удобренных участках для различных культур (в *ц/га*).

Почвы	Картофель	Лен	Овес	Конопля	Сахарн. свекла
Подзолистые	158,8	5,3*1 / 20,6*2	25,3*1 / 51,2*2	—	—
Серые лесные земли	138,3	—	18,6*1 / 21,0*2	7,5*1 / 17,0*2	—
Деградиров. чернозем	—	6,4*1 / 9,7*2	6,4*1 / 20,4*2	6,8*1 / 26,5*2	242,6
Обыкновен. чернозем	—	3,9*1 / 15,2*2	—	—	—

*1 Зерно. *2 Солома.

ствие У., повышаясь опять на сероземах в условиях орошаемого х-ва. Приведенные действия У. представляют средние величины из многих опытов для разных культур. Для отдельных культур повышение урожаев в нек-рых опытах достигает весьма большой величины (табл. 7). Такое максимальное повышение не является исключением и зависит в значительной степени от уровня агротехники, величины дозы, наличия севооборота и т. п. Важнейшим моментом в применении У. являются: выбор форм У., дозы У. и техника внесения их в почву. При выборе форм необходимо учитывать прежде всего реакцию У.: на почвах кислых лучше вносить щелочные или нейтральные формы, на щелочных почвах—наоборот. Распределение главнейших почвенных типов по степени кислотности представлено в табл. 8.

Табл. 8. — Распределение главнейших почвенных типов.

Почвы	Гидролит. кислотн. в % Ca	pH в KCl-вытяжке
Подзолистые	0,067	4,0÷5,3
Лесные земли, деградиров. и выщелоч. черноземы	0,078	4,7÷5,6
Мощный и обыкновенный черноземы	0,045	5,2÷6,6
Предкавказский и приазовский черноземы	0,021	5,1÷7,0
Южные черноземы и каштановые	0,052	5,2÷6,1
Сероземы Ср. Азии	0,001	7,0÷7,5
Красноземы	0,292	3,9÷4,2

Наименьшее значение pH имеют красноземы и подзолистые почвы, затем идут северные и южные черноземы. Мощный и обыкновенный черноземы имеют более высокий pH. За исключением красноземов возможно отметить, что от подзолистых почв на Ю. реакция становится более щелочной. Поэтому во все северные почвы лучше всего вносить нейтральные и щелочные формы У. Кроме реакции почвы на выбор той или другой формы влияют механич. состав почвы, климатич. условия и т. п. На легких песчаных почвах лучше аммиачные формы, чем нитратные, легко вымывающиеся дождями в нижние слои. Вообще в районах с большим количеством осадков лучше применять аммиачные формы, чем нитратные. Также в районах с коротким и холодным летом лучше применять быстро действующие формы, напр. селитру, суперфосфат; последний сокращает период вегетации растений.

Нормы и дозы У. Под нормой У. разумеется среднее количество У. для данной культуры и почвенно-климатич. условий района. Дозой У. называют количество У., вносимых под культуру в зависимости от конкретных условий данного совхоза или колхоза: 1) от типа почвы—на тяжелых глинистых вносят более высокие дозы, чем на легких песчаных почвах, 2) от способа внесения У.—при рядковом внесении вносят меньшую дозу, чем при разбросном, 3) от форм У.—более подвижные формы вносятся в более низких дозах, чем формы мало подвижные, поглощаемые почвой. Помимо перечисленных условий на установление дозы влияет ряд других факторов. Средние нормы У. для плановых расчетов в *кг/га* даны в табл. 9. Эти нормы являются средними, пригодными для плановых расчетов; в конкретных условиях совхозов и колхозов они будут меняться и скорее в сторону их увеличения.

Табл. 9.—Средние нормы удобрений (в *кг/га*).

Растение	N	P_2O_5	K_2O
Картофель	45÷60	45	60
Лен	30	45	45
Клевер	—	45÷60	45
Рожь озимая	30	45	45
Овес	30	45	45
Ячмень	30	45	45
Конопля	90	90	90

Сроки внесения У. определяются свойствами У. и характером почвы. Все У. с питательными веществами в растворимой форме вносятся перед посевом или иногда поверхностно по всходам. Все другие У. необходимо вносить заблаговременно, до посева, чтобы в почве эти У. испытали ряд превращений, делающих их доступными для растений. Все нитратные У. легко растворимы и легко усвояются растениями, поэтому они вносятся перед посевом или даже по всходам; все аммиачные формы поглощаются почвой, поэтому нет опасности их вымывания при внесении за нек-рое время до посева. Цианамид кальция вносят заблаговременно; на тяжелых почвах его вносят под яровые с осени, чтобы за это время цианамид кальция успел испытать ряд превращений, без к-рых он является для растений недоступным. Точно так же фосфоритная мука вносится заблаговременно, чтобы дать ей возможность полнее разложиться в почве ко времени посева, т. к. без такого разложения фосфорная к-та фосфоритной муки растениям недоступна. Калийные У., содержащие хлор, точно так же необходимо вносить заблаговременно, чтобы ко времени посева бо́льшая часть хлора могла быть вымытой из почвы, так как хлор вредит многим культурам (льну, картофелю, табаку и др.).

Внесение У. в почву. Различают следующие способы внесения У.: сплошное, или разбросное, и местное—рядовое и гнездовое. Все эти способы внесения должны производиться машинами, туковыми разбросными сеялками, комбинированными сеялками и пр. На ручном разбрасывании У. не следует останавливаться, как качественно мало пригодном. После разбрасывания У. машинами производится заделка У. бороной, плугом и другими орудиями. Местное внесение У. часто производится одновременно с посевом или посадкой комбинированными сеялками. Местное внесение по сравнению с разбросным имеет ряд технич. и экономич. преимуществ. При местном внесении У. помещаются на желаемую глубину и в определенном расстоянии от семян, что способствует корням растений с наибольшей легкостью находить в почве питательные вещества. При пропашных культурах возможно производить местное внесение в любую стадию развития растений. При местном внесении расходуется меньшее количество У. В настоящее время еще нет вполне пригодных машин для местного внесения У. под разные культуры. Соответствующие исследовательские ин-ты должны на это обратить самое серьезное внимание.

Органические удобрения: 1) навоз и навозная жижа, 2) торф, 3) компост, 4) отходы и отбросы пром-сти, 5) городские отбросы и нечистоты, 6) зеленые удобрения, 7) органо-минеральные удобрения. Навоз представляет смесь подстилки с твердыми и жидкими извержениями животных. Химич. состав навоза зависит от

свойств подстилки и состава извержений. Для подстилки чаще всего применяют солому озимых и яровых культур, торф, сухие листья и пр. Химический состав выделений зависит от вида животных, их возраста, способа использования и пр. Чем более концентрированные корма получают животные, тем навоз получается богаче азотом и фосфорной к-той. В табл. 10 приведен состав навоза (в %).

Табл. 10.—Химический состав навоза.

Навоз	Вода	Сухое вещество	N	P_2O_5	K_2O	CaO
Конский	71,3	28,7	0,58	0,28	0,53	0,21
Крупного рог. скота	77,5	22,5	0,45	0,23	0,50	0,40
Овец	64,6	35,4	0,83	0,23	0,67	0,33
Свиней	72,4	27,6	0,45	0,19	0,60	0,08
Средний состав навоза вообще	75,0	25,0	0,50	0,25	0,60	0,50

Состав навоза кроме других причин изменяется от способов хранения. При небрежном хранении из навоза теряется в первую очередь азот, далее фосфорная к-та и калий. Поэтому необходимо в совхозах и колхозах обратить самое серьёзное внимание на правильное хранение навоза. Практикующиеся в настоящее время способы хранения навоза в большинстве случаев являются крайне несовершенными, связанными с большими потерями питательных элементов, достигающими 50% и больше. Рациональными способами хранения нужно считать два: 1) горячий по Кранцу и 2) холодный. По первому способу навоз укладывается рыхло, высотой в один *м*; через 2—3 дня, когда $t°$ в такой куче поднимется до 60—65°, она уплотняется. По второму способу навоз сразу укладывается плотно, и $t°$ в такой куче не поднимается выше 25—30°, почему при втором способе навоз и называется холодным. При обоих способах потери азота значительно уменьшаются, причем в случае холодного способа эти потери достигают наименьшей величины, почему этот способ следует считать более пригодным для наших совхозов и колхозов. При устройстве навозохранилищ необходимо иметь непроницаемое для жидкости дно и крышу и кроме того по близости навозохранилища яму с непроницаемым дном и стенами для стока навозной жижи. Количество навоза, получаемого в среднем за год на одного животного, следующее (в *т*):

Лошадь	8	Корова при пастбище	6
Овца	0,5	Корова при стойловом содержании	12
Свинья	1		

Общее количество навоза за год по всему СССР достигает огромной величины 300÷400 млн. *т*. Из этой массы примерно 25% идет на топливо (Ниж. Волга, Сев. Кавказ и другие области). Остальные 75% идут на У. В качестве примера повышения урожая от внесения навоза для озимой ржи приведена табл. 11. Эффективное

Табл. 11.—Повышение урожаев озимой ржи от внесения 36 *т/га* навоза.

Зона	Повыш. урожая	
	ц/га	% против неудобр.
Нечерноземная	7,3	66
Черноземная	4,8	33
Юго-восточная	2,0	15

действие навоза проявляется в продолжение нескольких лет. Средняя доза считается 36 *т/га*, но в зависимости от культуры она может повышаться и понижаться (например под овощные культуры вносят бо́льшие дозы навоза). Весьма серьезным моментом в использовании навоза являются вывозка навоза, распределение по полю и заделка. По организационным хозяйственным соображениям лучше всего вывозку навоза приурочить на конец зимы. Но распределенный в небольшие кучи до момента запашки навоз теряет много азота, поэтому лучше при зимней вывозке навоз складывать в большие кучи, к-рые распределяются весной перед запашкой. Вывезенный в другие сезоны года навоз необходимо немедленно распределить по полю и сейчас же запахать, чтобы избежать потери азота. При распределении навоза необходимо применять навозоразбрасыватели, увеличивающие производительность и делающие более совершенным качество работы. Навозная жижа содержит азот и калий. Навозная жижа собирается в жижеприемник частью из-под навозохранилищ, частью непосредственно со скотных дворов. Всю скопляющуюся навозную жижу следует вывезти на поле, равномерно распределяя по поверхности, после чего немедленно следует запахать. Навозная жижа применяется кроме того на лугах и пастбищах в виде поверхностного У., на 1 *га* вносится в количестве 20—40 *т*. *Торф* (см.) помимо использования на топливо возможно применять на У., причем моховой торф предварительно используется на скотных дворах в качестве подстилки и после этого как навоз вывозится на поле. Луговой торф в виде фрезерной крошки возможно применять непосредственно на У. Вывозку возможно производить и зимой, не опасаясь потерь азота. Особенно хорошее действие оказывает торф на легких песчаных почвах. В почве торф весьма медленно разлагается, отчего питательные элементы для растений в нем переходят в усвояемое состояние очень медленно. Поэтому вместе с торфом необходимо применять фосфоритную муку и калийные У. Торф улучшает физич. свойства почв, поэтому вообще все минеральные У., внесенные по торфяному фону, повышают свое действие. Средней дозой торфяной, несколько подсушенной массы считается 36÷72 *т/га*. Действие торфа распространяется на несколько лет. Особенно хорошее действие торф проявляет на овощные культуры, корнеплоды, клубнеплоды. Компост представляет смесь различных разложившихся растительных и животных остатков. Все такие остатки, напр. золу, обрезки кожи, разные кухонные отбросы и т. п., укладывают в кучу, поливают водой или навозной жижей и прикрывают иногда сверху слоем земли, чтобы уменьшить потери азота. Через 8—12 месяцев в компостной куче получается хорошо разложившаяся однородная масса, пригодная для У. Компост возможно вносить под все с.-х. культуры, но он больше применяется в овощеводстве и плодоводстве. Использование отходов и отбросов пром-сти на У. представляет важнейшую задачу, т. к. при таком использовании совхозы и колхозы получают добавочные источники У., а пром-сть по меньшей мере возвращает себе расходы на их удаление. Наибольшее значение имеют органич. отбросы, т. к. они помимо питательных элементов для растений содержат органич. вещество, имеющее также важное значение для повышения урожаев с.-х. растений. В табл. 12, приведены нек-рые отходы промышленности, имеющие применение в с. х-ве на удобрение.

Табл. 12.—Отходы промышленности, используемые в с. х. на удобрение.

Удобрения	H_2O	N	P_2O_5	K_2O	CaO
Кровяная мука	11,5	11,0	1,2	—	0,2
Мясокостная мука . .	—	6,6	18,0	—	22,7
Кожевенная стружка .	—	6÷8,0	—	—	—
Кожевенная мука . .	—	6÷8,0	—	—	—
Роговая мука	—	13÷14,5	0,2	—	0,55
Табачная и махорочная пыль	8÷10	2,5	0,8	3,5	5,0
Очесы шерсти, шерстяная пыль и пр. .	8,0	4÷8,0	—	—	—
Шелковичная куколка	13,2	10÷11,0	2,25	3,2	0,25
Мясная и рыбная мука	7,4	13,3	1,83	—	—
Мука из голов селедок	6,2	9,7	—	—	8,9
Жмыхи рыжиковый и рапсовый.	8,9	6÷7,0	2,0	1,2	—

Здесь не упоминается о многих производствах, имеющих отходы и отбросы, пригодные для У. Необходимо во всех производствах сделать проверку пригодности отбросов для целей У. Городские отбросы и нечистоты. В городах и населенных пунктах скопляются различные отбросы, к-рые необходимо быстро отсюда удалить. Обыкновенно эти отбросы вывозят на свалку, где, перегнивая, они отравляют воздух окрестностей городов, в то время как в этих отбросах содержатся иногда довольно значительные количества питательных элементов для растений. Поэтому необходимо эти отбросы по возможности полностью использовать для У. К городским отбросам относятся: 1) домовый *мусор* (см.), 2) уличный смет, 3) фекальные массы (ночное золото). В среднем для Москвы получается ежегодно на одного человека: домового мусора ок. 2 *ц*, фекальных масс ок. 5 *ц*. По механич. составу домовый мусор состоит из бумаги, тряпки, кости, овощных остатков, стекла, железа и пр. Химич. состав приведен в табл. 13.

Табл. 13.—Химический состав мусора (%).

Нечистоты	Влажность	Зола	N	P_2O_5	K_2O	CaO
Домовый мусор .	48—60	54—60	0,5	0,6	0,4	1,9
Уличный смет . .	15—20	84	0,3	0,3	1,1	—
Фекальные массы	95,9	—	0,43	0,17	0,16	—

Все эти отбросы приобретают весьма важное значение, особенно для совхозов и колхозов с овощным направлением, расположенных около городов и других населенных мест. Зеленое удобрение представляет прием, состоящий в запахивании зеленых растений, преимущественно мотыльковых, с целью обогащения почв органич. веществом и азотом. Зеленое У. возможно применять в районах с годовым количеством осадков 550—600 *мм*, этим определяется южная граница зеленого У. На С. ограничивающим фактором является $t°$; наиболее пригодными районами для зеленого У. являются: БССР, Украинское Полесье, Западная, Московская и Ивановская области, Горьковский край, ю.-з. часть Ленинградской области, зап. часть Уральской области. В табл. 14 приведены применяемые на зеленое У. растения, их состав и количество наращиваемой зеленой массы.

Кроме перечисленных растений в качестве зеленого У. применяют иногда и другие растения, напр. гречиху. Растения на зеленое У. возделываются как главная культура и как промежуточная. При главной культуре растения на зеленое У. занимают поле весь вегетационный период, осенью запахиваются, после чего происходит посев последующей культуры или вскоре после запашки или только весной будущего года. При промежуточной культуре различают два способа: подпокровный и пожнивной. 1) Подпокровный способ, когда растения на зеленое У. подсеваются весной под какую-нибудь культуру: озимую рожь, озимую пшеницу, ячмень, овес. После уборки основной культуры растения на зеленое У. продолжают свой рост. Запашка их происходит только поздней осенью. 2) Пожнивной способ заключается в том, что растения на зеленое У. высеваются в конце лета после уборки основной культуры. Пожнивной способ возможно применять только в районах с теплой и продолжительной осенью, чтобы растения на зеленое У. могли достаточно развиться. Особенно большое значение зеленое У. имеет в районах песчаных почв, где органич. вещества представляют важнейший фактор поднятия урожайности этих почв. Зеленое У. совместно с фосфоритной мукой и соликамскими калийными солями на песчаных почвах вполне обеспечивает надежные и высокие урожаи. По зеленому У. возделываются разные культуры: озимая рожь, озимая пшеница, картофель и др. Повышение урожаев от зеленого У. получается весьма значительное, поэтому на этот прием следует обратить особенное внимание совхозам и колхозам.

Табл. 14.—Растения, применяемые на зеленое удобрение.

Название растений	*1	Содержание питательн. веществ в %			*2
		N	P_2O_5	K_2O	
Люпин	160—320	0,5	0,11	0,40	80—160
Сераделла . . .	120—300	0,48	0,20	0,45	60—145
» . . .	130—300	0,45	0,15	0,43	70—135
» . . .	130—220	0,50	0,15	0,45	65—110
Чина	100—180	0,49	0,14	0,40	50— 90
Вика	160—260	0,50	0,15	0,50	80—130
Конские бобы .	160—260	0,50	0,15	0,50	80—130
Клевер	130—280	0,46	0,13	0,44	65—135

*1 Количество наращиваемой зеленой массы в *ц/га*.
*2 Запахивается азота с зеленой массой в *кг/га*.

Органо-минеральные У. содержат минеральные элементы, химически связанные с органич. веществом. При насыщении торфа и бурых углей газообразным аммиаком получаются соединения аммиака с гуминовой к-той этих веществ. Если предварительно торф обработать водным аммиаком и вытяжку осадить фосфорной к-той, то получается после фильтрования и сушки органо-минеральное У., содержащее кроме органич. веществ еще азот и фосфорную к-ту. Торф, обработанный только аммиаком, содержит 6,5% N; торф, обработанный аммиаком и фосфорной к-той, содержит 5,5% N и 22—27% P_2O_5. Насыщение торфа газообразным аммиаком будет иметь большое значение, т. к. при этих условиях для связывания аммиака не расходуются другие к-ты (серная, соляная и пр.). Недостатком этих У. является низкая концентрация азота.

Экономика. Производство минеральных удобрений приняло за последние годы огромные размеры. В табл. 15 приведены размеры мирового производства главнейших видов удобрений (в тыс. *т*). В СССР производство по всем видам удобрений растет в огромных размерах. Производство фосфоритной муки и суперфосфата в СССР (в тыс. *т*) приведено в табл. 16.

Табл. 15.—Мировое производство минеральных удобрений.

Годы	Суперфосфат	Томас-шлак	Сульфат аммония	Чилийская селитра	Цианамил кальция	Норвеж. селитра	Калийная селитра	Калийные соли	Фосфориты
1913	11 219	4 534	1 361	7 277	180	73	14,7	1 295	7 281
1927	13 838	5 115	3 600	1 645	1 073	493	6,2	1 738	9 934
1928	15 538	5 459	3 925	3 203	1 197	597	4,6	1 973	10 303
1929	15 415	5 942	5 197	3 263	1 264	734	—	2 153	10 631
1930	15 330	5 050	4 609	2 627	1 041	900	—	2 039	11 773

Табл. 16.—Производство фосфоритной муки и суперфосфата в СССР (по годам).

Удобрения	1913	1922/23	1923/24	1924/25	1925/26	1926/27	1927/28	1928/29	1929/30
Фосфоритная мука .	7,9	4,9	4,2	6,1	6,5	9,3	13,4	44,6	132,4
Рост в % к 1913 г.	100	62	53	78	82	118	171	565	2 055
Суперфосфат	21,4	11,0	26,6	51,5	83,1	97,0	151,7	193,4	381,0
Рост в % к 1913 г.	100	52	125	241	389	454	710	909	1 782

С открытием соликамских калийных залежей и пуском аммиачных з-дов производство этих видов У. в СССР точно так же принимает соответствующие размеры.

Зола как удобрение см. *Зола*.

Лит.: Справочник по удобрениям НИУ НКТП, Л., 1933; Перитурин Ф., Навоз и другие органические удобрения, М.—Л., 1933; Действие азота, фосфора и калия на урожай полевых культур по районам Союза ССР, «Труды НИУ», Л., 1932, вып. 86; Географические опыты с минеральными удобрениями, там же, 1933, вып. 93—94; Работы по органическим удобрениям, там же, 1933, вып. 97; Прянишников Д., Учение об удобрении, 6 изд., М.—Л. (печ.).

Ф. Перитурин.

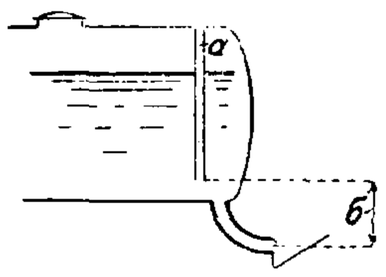
Распределители У., машины для распределения различных удобрений на полях и других угодьях. Д. Н. Прянишников дает следующие цифры средних урожаев пшеницы и картофеля за 5 лет (1908—1913 гг.) по отдельным странам (в *т* на *га*):

	Пшеница	Картофель
Бельгия	2,70	27,94
Голландия	2,66	19,18
Англия	2,46	17,71
Германия	2,3	17,33
Австрия	1,48	9,87
Франция	1,43	9,35
США	1,07	6,69
Россия	0,74	8,05
Петровская с.-х. академия (Москва)	—	24,60

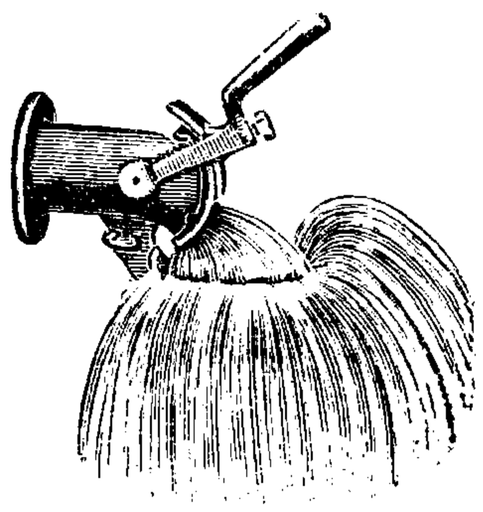
Отмечая такую резкую разницу в урожаях в разных странах, он объясняет это тем, что в одних странах широко применяются минеральные У., а в других—сравнительно слабо. Из приведенных данных видно, что урожаи в США стояли на предпоследнем месте, а по урожаю картофеля США стояли даже ниже России. За тот же период хозяйство Петровской с.-х. академии получило урожай картофеля выше среднего бельгийского на 2,66 *т*—указание, каких результатов можно добиться у нас, даже на наших тяжелых подзолистых суглинках, каким могучим средством вообще являются минеральные У. для повышения урожаев и какое большое внимание д. б. уделено распределителям У. При различных культурах применяются следующие удобрительные средства: 1) жидкие—навозная жижа и растворенные в воде минеральные соли; 2) соломисто-волокнистые—У. органич. происхождения, напр. навоз от домашних животных, иногда торф и отбросы домашнего х-ва; 3) зеленые У.—гл. обр. бобовые растения: люпин. вика, сераделла и др., запахиваемые в почву на корню, и наконец 4) самая обширная группа—минеральные У. порошкообразные (разные соли, известь и др.). В зависимости от вида У., их количества, вносимого за один прием, и способа распределения применяются и соответственные конструкции распределителей У. В качестве общего требования ко всякой конструкции распределителя предъявляется требование равномерного распределения на единицу площади (или на *п. м* длины борозды при комбинированном посеве) определенного количества У. Это требование одинаково применимо как по отношению к легко растворимым солям (напр. селитра), к-рые переходят непосредственно в питательные растворы, так и по отношению к удобрительным средствам, к-рые сильно влияют на физ. свойства почвы (известь, мел, гипс, торф, навоз). При неравномерном внесении легко растворимых солей, особенно под растущие уже растения, могут получиться слабо удобренные пятна или же, наоборот, удобренные настолько сильно, что получится раствор слишком крепкой концентрации, к-рый будет не только вреден для растения, но может его даже погубить. А если к тому же У. вносится и для улучшения физич. свойств почвы, то оно д. б. по возможности равномерно распределено не только по поверхности, но и по всей толще пахотного слоя. Но равномерное распределение тука—задача далеко не легкая: если подсчитать напр. толщину слоя извести при внесении на *га* 10 000 *л* (5 000 *кг*), то она получится всего в 1 *мм*. А при распределении томасшлака или фосфоритной муки в количествах 200÷500 *кг* толщина слоя будет всего 0,02÷0,05 *мм*. А между тем действие их очень сильное. Т. о. к распределителям У., так же как и к сеялкам, первым и главным предъявляемым требованием является равномерность распределения, а затем уже другие, второстепенные, как удобство обращения, легкость наполнения и опоражнивания, простота и практичность конструкции и т. д. В зависимости от этого и должна производиться оценка отдельных конструкций распределителей У.

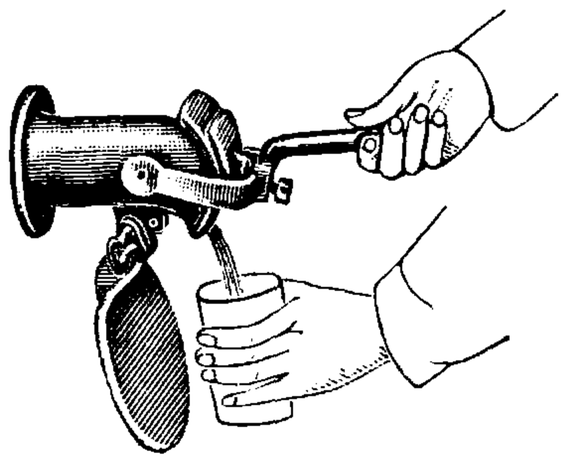
Главным представителем первой группы У. является навозная жижа, собираемая в навозохранилищах при скотных дворах, а также и разбавленное водой содержимое помойных и выгребных ям, принимающих сточные жидкости из отхожих мест и кухонь. Навозная жижа распределяется по поверхности участка в количестве 30÷72 тыс. *л/га*, считая 1 000 *л* жижи равноценными 250÷425 *кг* навоза. В садовых и огородных культурах ею поливают, после разбавления водою, из садовых леек. При распределении же на больших пространствах полей жижа выливается из цистерн (бочек на колесном ходу), выпускные отверстия к-рых снабжены кранами с особыми наконечниками. Под давлением столба жидкости в бочке жижа вытекает с известной скоростью и, встречая наконечник, разбивается в тонкую и широкую (веерообразную) струю, к-рая распределяется уже

б. или м. равномерно по поверхности поля, выходя даже за следы колес от бочки. Но т. к. по мере вытекания жидкости уровень ее в бочке и давление понижаются, отчего изменяется и скорость вытекания, а следовательно и ширина струи от наконечника, то для более равномерного распределения д'Аншаль предложил вставить в бочку открытую сверху трубку *а* (фиг. 1), отчего бочка превращается в сосуд Мариотта, из к-рого струя вытекает уже под постоянным давлением столба *б*. Бочки делаются или деревянными или же железными с двойной оцинковкой на 2- или 4-колесном ходу. Из наконечников можно отметить наконечники з-да Пранкель—«Probat» с отверстиями в 50 и 65 *мм*



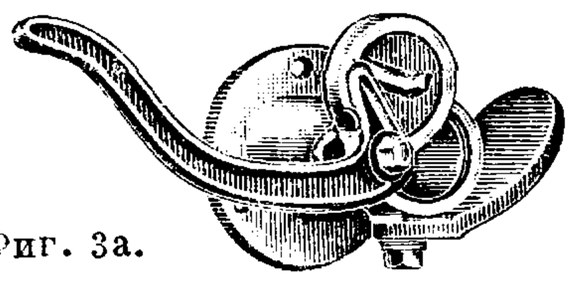
Фиг. 1.

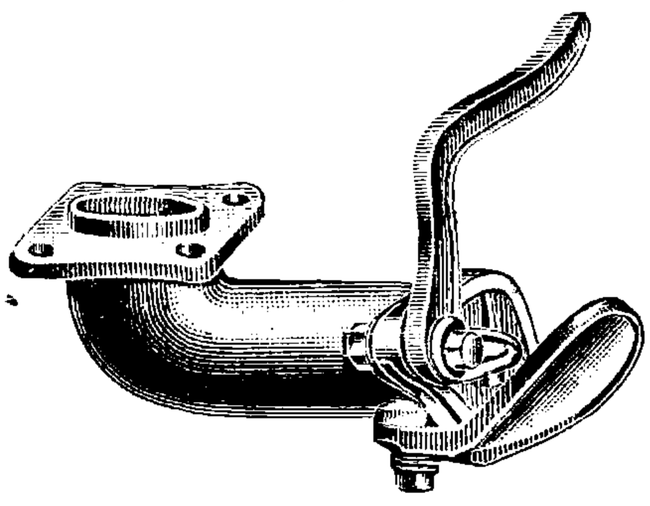

Фиг. 2а.


Фиг. 2б.

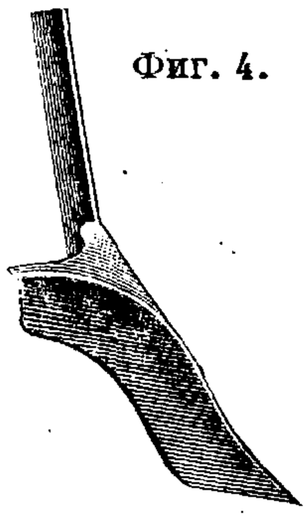
(фиг. 2а и 2б) и «Duplex» с отверстиями в 50, 60, 75 и 100 *мм* (фиг. 3а и 3б). Наполнение бочек производится или простым черпаком или специальными насосами, напр. четчатым (нория) или сист. Фаулера (см. *Насосы*). Жидкости необходимо наливать в бочки через сетку, чтобы отделить крупный сор.

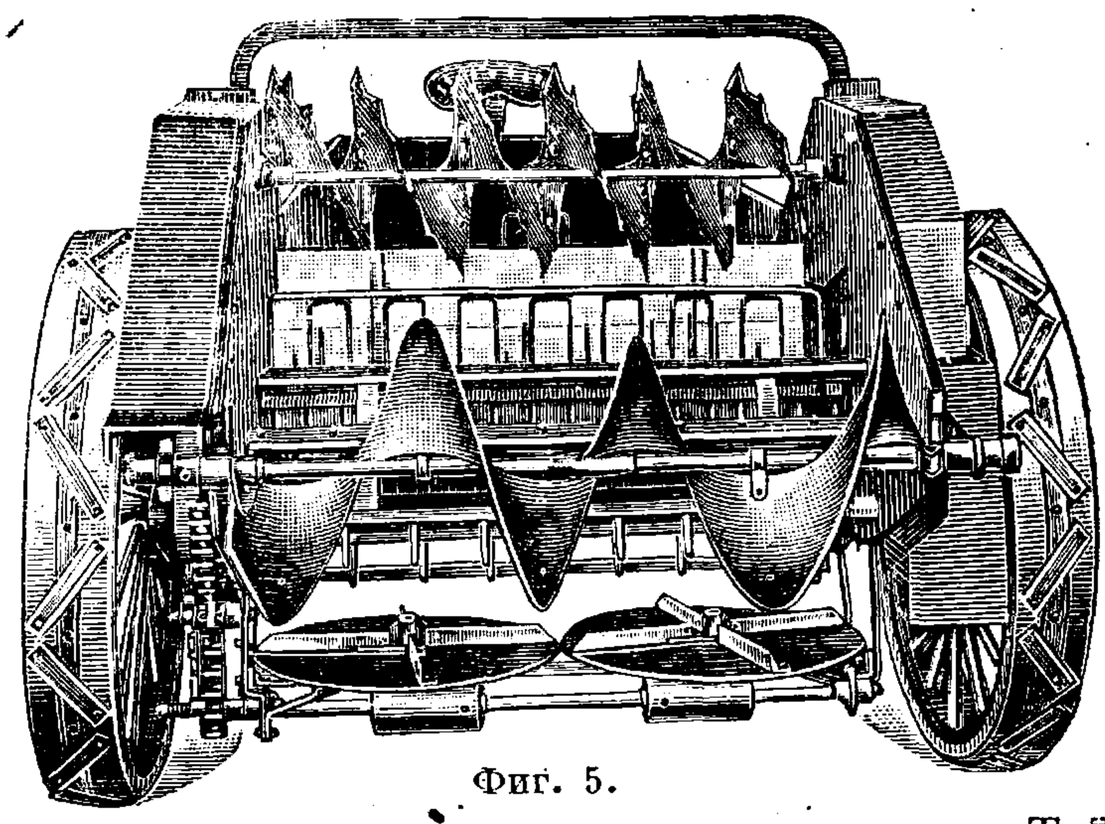
Ко второй группе У. относится универсальное (полное) удобрение—н а в о з домашних животных. Вносится он в количестве 5÷150 *т* на *га*. При ручном распределении навоз вывозится обычно прямо в поле и разбрасывается по поверхности или с воза или же сваливается на разбитые «лешением» (при помощи окучника или маркера) равные клетки размером ~ 100 $м^2$. В середину каждой клетки сваливается определенная порция навоза, а затем он разбрасывается вилами равномерно по всей поверхности и запахивается плугом на глубину 12÷14 *см*. Для более полной и равномерной заделки навоза его сгребают граблями в борозду перед каждым проходом плуга или же запахивают плугом с дисковым ножом и сдерноснимом или со специальным навозоукладывателем (фиг. 4). Для этой же цели французы применяют особую коронку, прикрепляемую позади плужного корпуса и вращающуюся на наклонной оси (сист. Collot-Vinot), к-рая своими зубцами при вращении сбрасывает навоз в борозду.


Фиг. 3а.

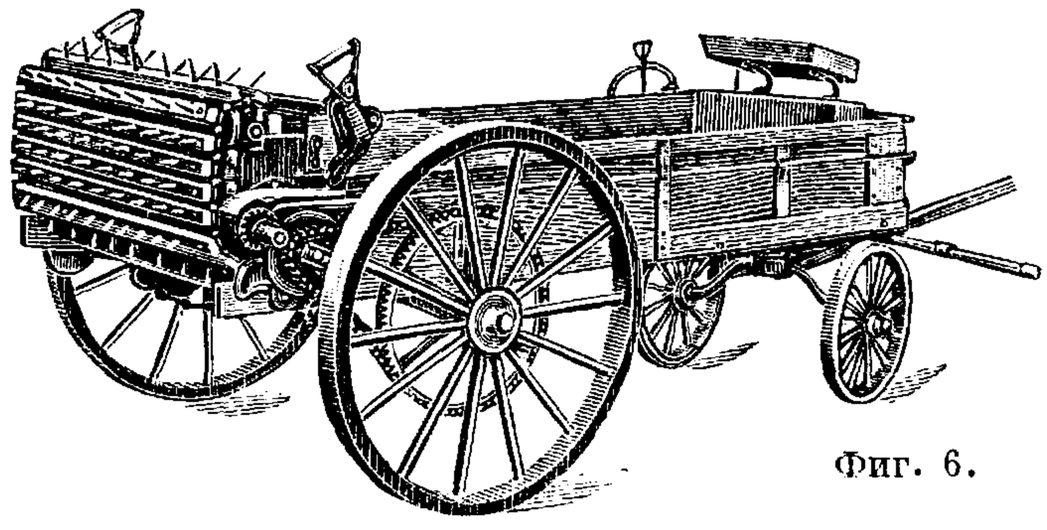

Фиг. 3б.

Из машин применяются особые н а в о з о р а з б р а с ы в а т е л и, гл. обр. америк. конструкций. Напр. типичный навозоразбрасыватель Межд. комп. убор. маш. (фиг. 5) представляет собой 4-колесную телегу, у к-рой по дну ящика проходит бесконечное полотно, составленное из поперечных деревянных планок, соединенных цепью. При движении полотна от передка назад навоз, лежащий в телеге, передвигается к разбрасывающему аппарату, расположенному около задних колес, захватывается его рабочими частями и распределяется по поверхности поля при движении телеги вперед со скоростью хода лошади или трактора. Подвижное полотно и разбрасывающий аппарат получают движение от задних колес при помощи цепных передач. Рабочие детали разбрасывателя делаются или в виде барабана с пальцами, захватывающими навоз, или в виде полотна, составленного из горизонтальных брусков и перемещающегося около горизонтальных осей (тип Клейтона, фиг. 6), или же в виде барабана (тип МКУМ). Весь механизм навозоразбрасывателя включается и выключается при помощи рычага, расположенного у сиденья у переднего конца ящика. Количество навоза на *га* изменяется соответственным изменением скорости движения полотна. В машинах Межд. комп. убор. маш. полотно можно устанавливать на шесть различных скоростей


Фиг. 4.


Фиг. 5.

при соответствующих передачах от колес. Тейлор приводит для сравнения данные по затрате времени (в мин.) при работе конного навозоразбрасывателя и двух ручных способов для нормального хозяйства америк. фермера, а именно: I) при вывозке парного нормального воза


Фиг. 6.

навоза на поле в отдельные кучи с последующим разбрасыванием; II) вывозка и разбрасывание вручную не посредственно с воза и III) вывозка и распределение машиной (см. табл. 17). Выигрыш времени в 5 мин. при нагрузке в навозоразбрасыватель происходит благодаря более низкому положению ящика сравнительно с обыкновенной телегой. При машинном распределении получается более равномерное разбра-

Табл. 17.—Данные по затрате времени на распределение удобрения.

Работа	I	II	III
Нагрузка на телегу	21	21	16
Проезд на место и обратно .	11,5	11, 5	11,5
Складывание в кучи и распределение	32	—	—
Распределение с воза	—	28	—
Распределение машиной . . .	—	—	2
Итого . . .	64,5	60,5	29,5

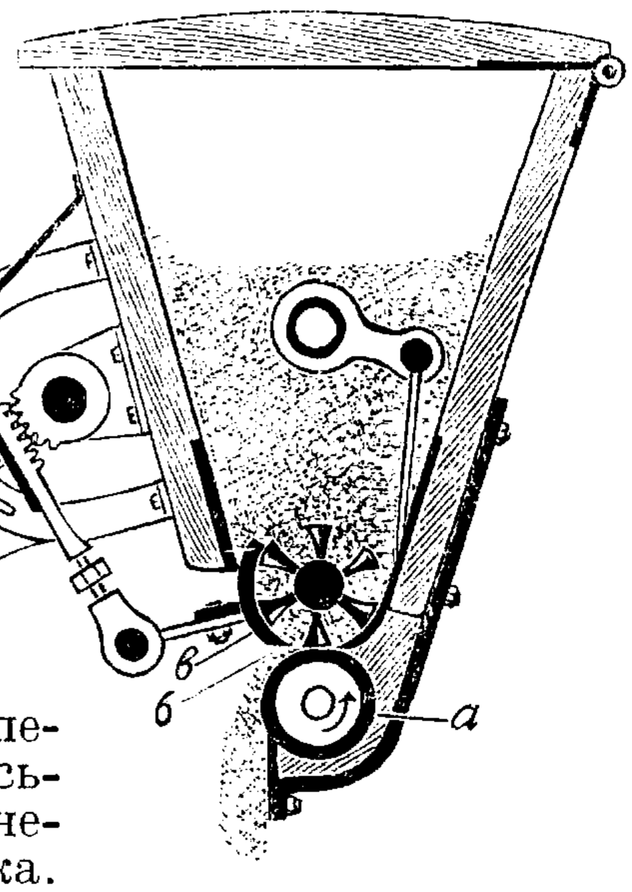
сывание навоза и сокращение рабочих рук, что в крупном хозяйстве имеет большое значение. При внесении в почву волокнистого торфа применяются те же приемы, как и при У. навозом.

Третью группу У.—з е л е н ы е У.—распределять почти никогда не приходится, а только высевать семена обычным порядком, а затем запахивать плугом с дисковым ножом и с дерноснимом или со стальным прутом, пригибающим стебли растений и укладывающим их вдоль борозды (см. *Плуги*). Бывает полезно поле предварительно прикатать гладким катком.

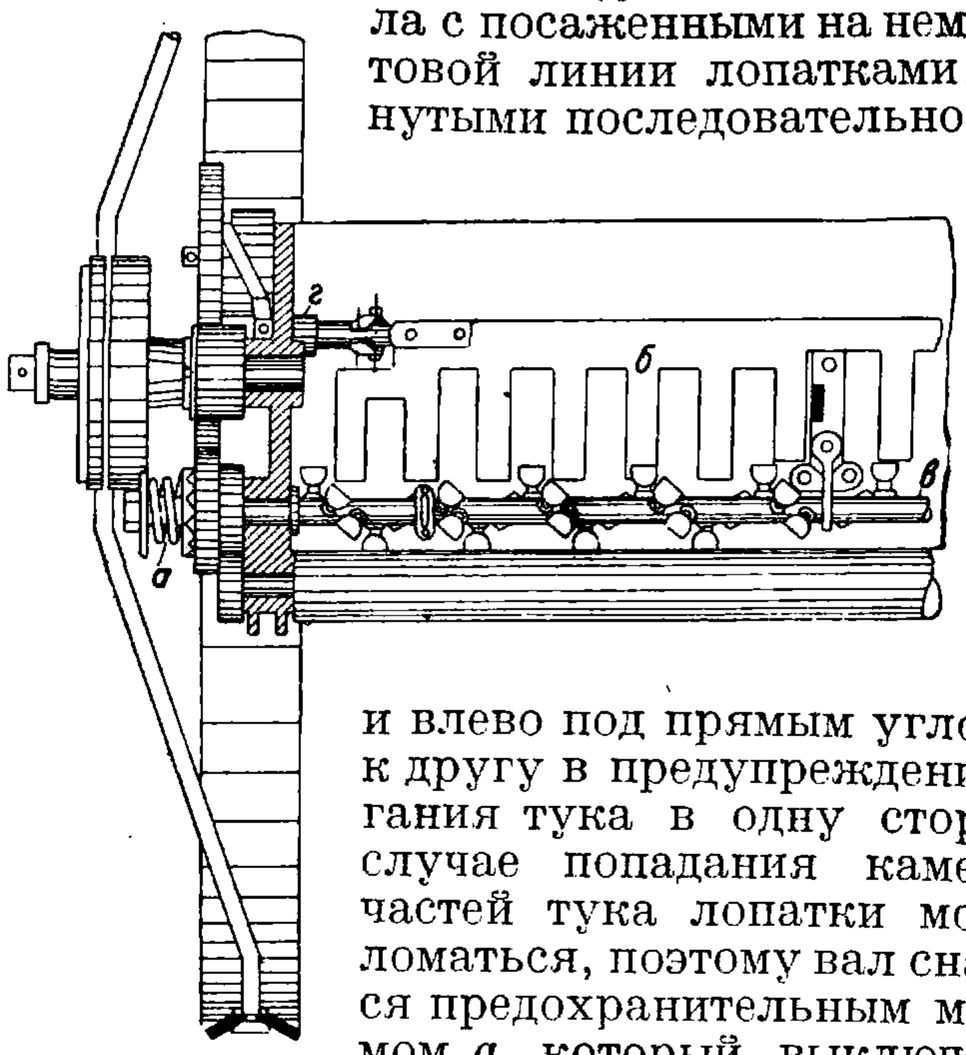
Для распределения четвертой группы У.—м и н е р а л ь н ы х У.—сконструировано наибольшее число распределителей весьма разнообразной конструкции. Все минеральные У. вносятся в почву в мелкораздробленном виде. Т. к. туки слеживаются в комки большей или меньшей величины, особенно гигроскопичные соли (напр. селитра, каинит и т. д.), то перед внесением в почву их приходится снова дробить или вручную или же на специальных вальцах. Строят вальцы различной производительности (450÷1 800 *кг/ч*). Количества туков, вносимых в почву, весьма разнообразны. Их вносят на *га* от 1 *ц* (селитра) до 10—12 *т* (мергель и известь). Поэтому распределители У. строят: а) универсальные, пригодные как для очень небольших, так и средних количеств, и б) специальные, предназначенные для распределения больших количеств туков, гл. обр. извести в ее различных соединениях, почему их называют обычно и з в е с т к о в ы м и распределителями.

У н и в е р с а л ь н ы е распределители по своему внешнему виду и общей конструкции весьма сходны с разбросными сеялками: тот же длинный призматич. ящик на двух колесах с поперечным сечением в форме опрокинутой трапеции, но только с более крутыми стенками. Применяются выбрасывающие аппараты разных систем, мешалки не всегда имеются; иногда вдоль одной из стенок ящика ставится подвижная доска или решетка, приводимая в движение особым механизмом, во избежание образования сводов между стенками. Затем имеется приемная часть, состоящая или а) из распределительной доски, нижний край к-рой расположен недалеко от земли, во избежание распыления тука, или б) из вращающегося вала, усаженного пальцами или пучками пиассавы в виде щетки, к-рыми выбрасываемый тук распыляется и дробится дополнительно. Кроме этого при распределении в рядки применяются направляющие рукава и трубки или те же семяпроводы. Универсальные распределители несмотря на их разнообразие можно разбить на три группы: машины, выбрасывающие тук через сплошную щель в дне или в задней стенке ящика; машины, выбрасывающие тук через отверстия в ящике, и машины, производящие выбрасывание через верхний неподвижный край ящика. Первая группа машин самая многочисленная и разнообразная. Как на типичных представителей ее можно указать на распределители: 1) сист. Гампеля-Фосса и Наумана, 2) сист. Робильяра, 3) сист. «Вестфалия» и 4) системы «Империаль».

Распределитель Гампеля-Фосса имеет призматич. ящик без дна длиною ок. 4 *м* и емкостью 245 *л*, а с наставными ящиками 550 *л* (фиг. 7). Дном ящика служит гладкий металлич. полый вал *а* диам. ок. 70 *мм*, который в современных выпусках делают на шарнире откидным вместе с частью передней стенки, что весьма упрощает опорожнение и чистку ящика. Этот же вал служит и выбрасывающим аппаратом: вращаясь по стрелке, он захватывает тук и через щель *б* выбрасывает его наружу. Изменяя высоту щели, поднимая и опуская заслонку *в* при помощи тяги и рычага, можно регулировать разбрасываемое количество тука. В предупреждение слегания тука ящик имеет две ворошилки. Одна из них *в* (фиг. 8) имеет форму вала с посаженными на нем по винтовой линии лопатками, повернутыми последовательно вправо



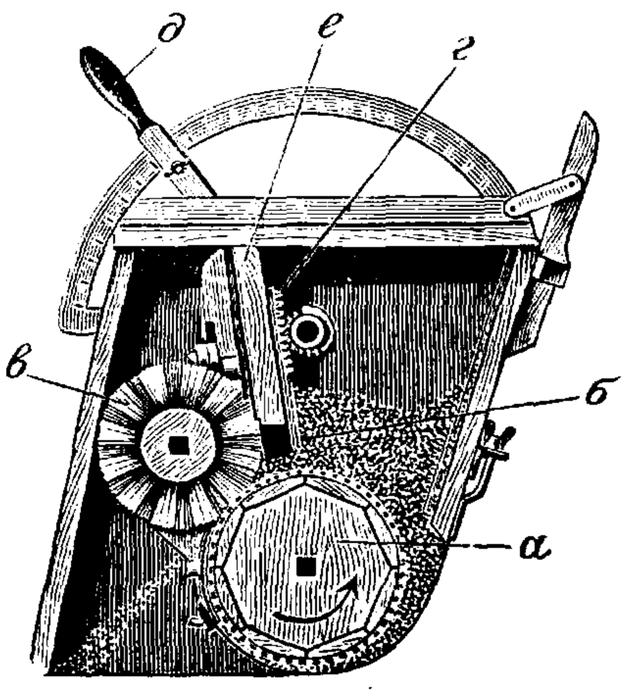
Фиг. 7.



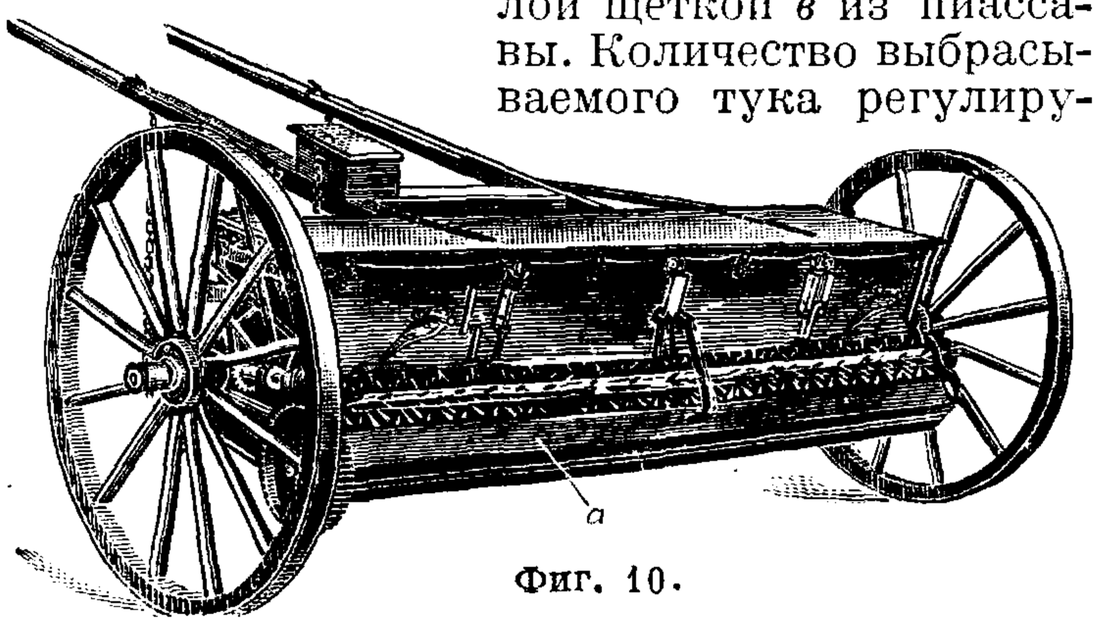
Фиг. 8.

и влево под прямым углом друг к другу в предупреждение сдвигания тука в одну сторону. В случае попадания каменистых частей тука лопатки могли бы ломаться, поэтому вал снабжается предохранительным механизмом *а*, который выключает вал при больших сопротивлениях. Второй ворошилкой является гребенка *б*, которая совершает вдоль передней стенки ящика колебательные движения вправо и влево от тяги с головкой *г*, скользящей по косому прорезу. Гребенка эта препятствует образованию сводов между стенками ящика. Каждая половинка сеялки приводится в действие от своего колеса. Оригинальное устройство имеют и колеса: их втулки вынесены наружу из обода, благодаря чему ширина захвата машины равна расстоянию между колесами (4 *м*), что облегчает управление распределителем в поле. При испытаниях (в Черемушках, под Москвой) этот распределитель дал среднюю неравномерность 11,7%, что впол-

не удовлетворительно. Емкость ящика для тука 50÷9 000 *л/га*. При толчках выбрасывается почти в 3 раза большее количество тука, что является недостатком конструкции. Потребная сила тяги по невспаханному полю была равна 85 *кг*, а по пашне 170 *кг*. Разумеется, по мере того как металл выбрасывающего вала будет ржаветь, на нем появятся раковины, и равномерность выбрасывания будет падать. Распределитель системы Наумана (фиг. 9) является интересным для нас благодаря своей простоте и хорошему качеству работы. Как видно из поперечного разреза ящика, его механизм состоит из деревянного барабана *а* (вращающегося по направлению, указанному стрелкой), обтянутого оцинкованной сеткой. Этот барабан захватывает тук и выносит его через щель *б* из ящика, а затем тук сбрасывается с него начисто круглой щеткой *в* из пиассавы. Количество выбрасываемого тука регулируется высотою щели *б* при помощи рычага *д*, передающего движение шестеренке, соединенной с кремальерой *г*, скрепленной с подвижной перегородкой *е*. Благодаря большой ширине ящика и его почти вертикальным стенкам ворошилка здесь не является необходимой.



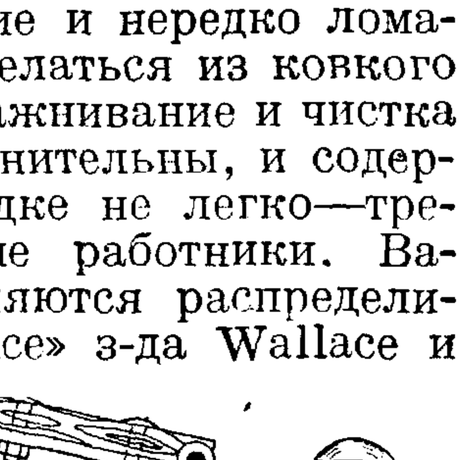
Фиг. 9.

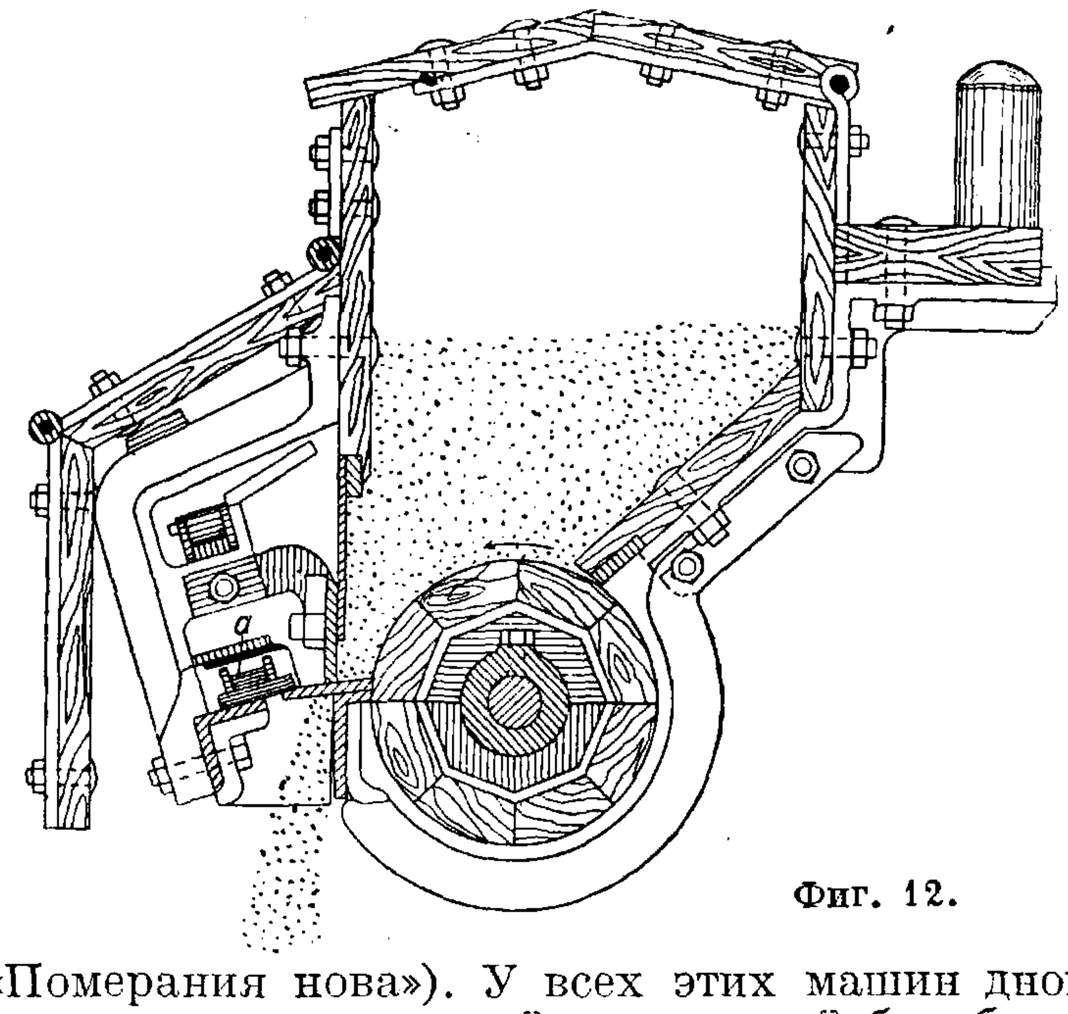


Фиг. 10.

Распределитель системы Робильяра (фиг. 10) имеет довольно широкий ящик с крутыми стенками (без ворошилки) и подвижное дно, к-рым является бесконечное полотно, составленное из длинных деревянных планок *а*, шарнирно соединенных между собой. Полотно получает медленное движение по направлению к выпускной щели от левого колеса при помощи одной конической и одной червячной передач. Снаружи ящика над полотном расположен вал с лопатками (или ерш из пиассавы), к-рыми тук и разбрасывается по полю. Количество тука регулируется изменением высоты выпускной щели. Машина эта делается с шириной захвата от 1,5 до 2,75 *м*.

Распределитель «Вестфалия» имеет сложную конструкцию. Его ящик на обеих торцовых металлич. стенках несет механизмы, приводимые в действие от колес. Выбрасывающий аппарат состоит из бесконечной цепи, скользящей вдоль дна ящика. Звенья цепи (фиг. 11) имеют особые косые отростки под углом в 45° к направлению движения цепи, к-рыми тук и выдвигается из ящика через щель наружу, на распределительную доску или же на особый цилиндрической формы ерш, к-рыми тук уже разбрасывается по поверхности поля. Количество распределяемого тука регулируется высотой выпускной щели ящика и изменением скорости движения цепи, что достигается сменой шестерен. Кроме того левое колесо приводит в колебательное движение (вперед и назад) при помощи шатуна доску вдоль задней стенки ящика, чем препятствует образованию сводов. Для очистки пальцев от налипших туков имеется скребок. Ширина захвата машины бывает до 3 *м* для конной тяги и в 4 *м* при емкости ящика в 315 *л* для тракторной. Машина имеет хорошую равномерность разбрасывания и достаточные пределы (80÷8 000 *л/га*) количества разбрасываемых туков, почему и распространена в Европе. В распределителе «Вестфалия» однако тук сдвигается цепью к одному концу ящика и его приходится время от времени разравнивать. Общая конструкция очень сложна и дорога в производстве. Звенья цепи сильно ржавеют от соприкосновения с туками. Сама цепь испытывает значительное напряжение, особенно же в широкозахватных конструкциях, так как каждый из отростков ее звеньев проходит под толстым слоем тука и должен перемещать также достаточно широкий слой к выпускной щели, действуя аналогично ножу плуга, проходящему в почве. При плохой же подготовке тука, когда он засыпается в ящик в комках, напряжение цепи значительно увеличивается, и цепь рвется. Ведущие шестерни и звездочки испытывают при этом также большое напряжение и нередко ломаются, почему и должны делаться из ковкого чугуна или из стали. Опоражнивание и чистка ящика здесь весьма затруднительны, и содержать всю машину в порядке не легко—требуются квалифицированные работники. Вариантами «Вестфалии» являются распределители сист. Столя («Relliance» з-да Wallace и

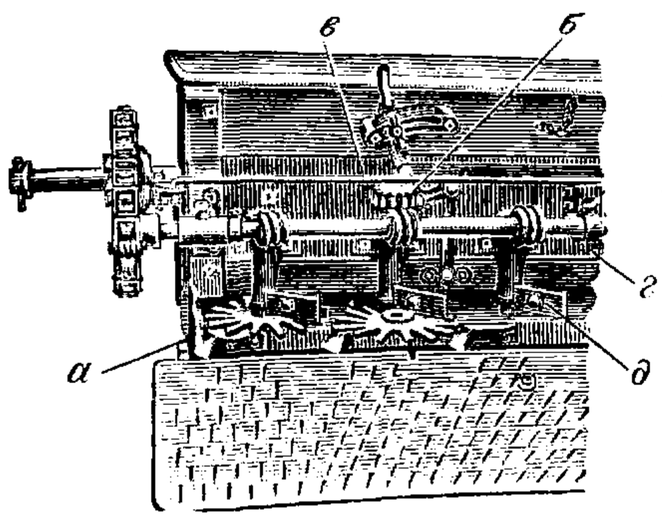

Фиг. 11.



Фиг. 12.

«Померания нова»). У всех этих машин дном ящика служит гладкий деревянный барабан с медленным вращением, который подводит тук к щели. Распределитель У. «Померания нова» (фиг. 12) имеет звенья цепи *а* не с косыми отростками, а с отростками в виде буквы «П», которыми, сбрасывается тук, придвинутый питательным барабаном к щели. Своеобразную кон-

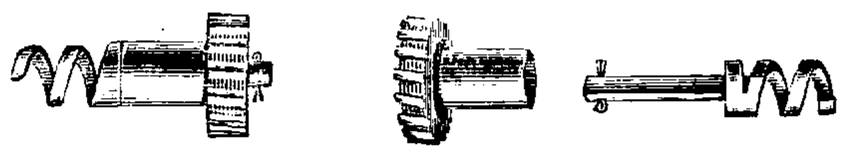
струкцию имеет распределитель сист. «Имериаль» (Англия). Этот распределитель снабжен следующим выбрасывающим аппаратом: вдоль щели ящика расположены звездочки *а* фиг. 13,



Фиг. 13.

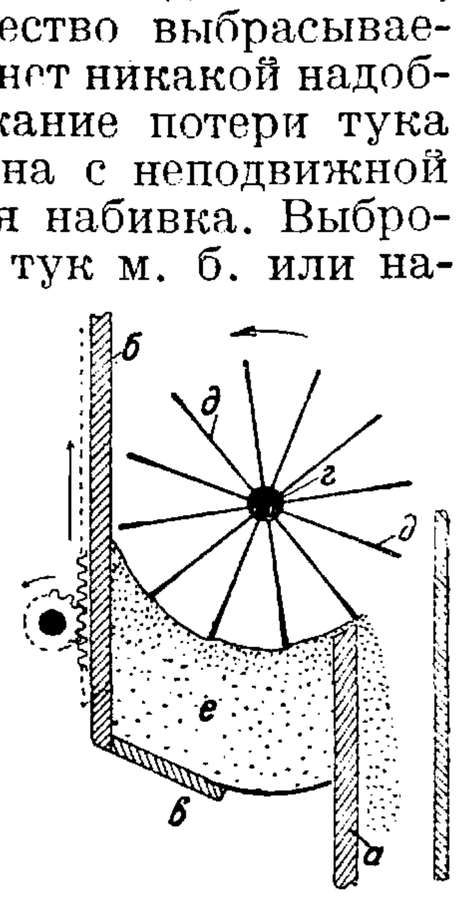
вращающиеся вместе с вертикальными пальцами. Верхние концы втулок имеют зубчатки *б*, соединенные с червяками *в*, сидящими на общем горизонтальном валу *г*. Вал соединен с колесом цепной передачей и приводит в движение весь механизм выбрасывающего аппарата. Пальцы звездочек, заходя в щель ящика, выгребают из него тук и сбрасывают на распределительную доску. Количество тука регулируется высотой щели. Тук, оставшийся сверх пальцев, снимается скребками *д*. Звездочки делаются съемными для удобства очистки. З-д выпускает машины шириной захвата в 2, 2,4 и 2,8 *м*.

Ко второй группе распределителей можно отнести обыкновенную разбросную *сеялку* (см.) с выбрасывающим аппаратом Рида, к-рой можно распределять порошкообразные негигроскопич. туки. В эту же группу надо включить и распределитель «Helix» (Англия). Это машина с обыкновенным длинным призматич. ящиком на двух колесах, имеющим в своей задней стенке круглые выпускные отверстия. Выбрасывающий аппарат состоит из особых штопоров (фиг. 14), входящих в отверстие ящика и извле-

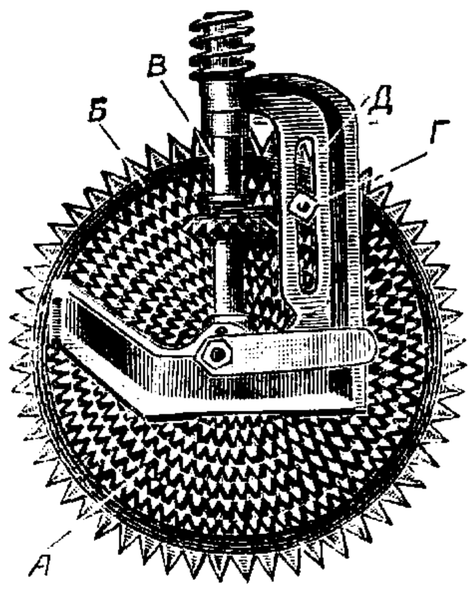

Фиг. 14.

кающих из него тук наружу. Штопоры эти сидят на стержнях квадратного сечения, к-рыми они вставляются в удлиненные втулки шестеренок, работающих от червяков. Отдельные червяки посажены на общий горизонтальный вал, получающий вращение от ходовых колес. Регулирование количества выбрасываемого тука производится изменением скорости вращения вала, а следовательно и штопоров. Значительно более простой машиной этой группы является распределитель «Vainqueur» (Франция). Его выбрасывающим аппаратом служит ряд бесконечных цепей, проходящих по дну ящика в поперечном направлении и надетых на звездочки вала, расположенного позади ящика и получающего от колес вращение при помощи цепной передачи. При своем движении каждая цепь увлекает с собой через отверстие из ящика тук и сбрасывает его на землю. Количество тука регулируется изменением величины отверстий прямоугольной формы (при помощи рычага регулятора) и изменением скорости движения цепей. Внутри ящика помещен вал с мешалкой против каждой цепи. Машину строят на одну лошадь. При ширине захвата в 2 *м* на этой машине можно распределить 100÷800 *л* тука на *га*. Все распределители этой группы должны непременно снабжаться распределительной доской, иначе разбрасывание по поверхности поля будет неравномерным.

Типичным представителем третьей группы является распределитель сист. Шлёра, к-рый был принят нашими з-дами для комбинированных сеялок: а) Эльворти и б) Фильверт и Дедина. Механизм этой машины очень прост и остроумен. Он состоит из длинного призматич. ящика, к-рый (фиг. 15) имеет неподвижную стенку *а* и подвижные стенку *б* и дно *в*. Подвижная стенка при помощи рейки и шестеренки поднимается кверху вместе с дном и поднимает с собой находящийся в ящике тук. Вдоль верхней части ящика вращается барабан с неподвижной осью *г*, к-рый своими планками, или лопатками, *д* сгребает тук *е* слоями и сбрасывает его в щель, откуда он падает по назначению. Изменяя скорость движения стенки и дна ящика, можно регулировать количество выбрасываемого тука. Как видим, здесь нет никакой надобности в мешалке. Во избежание потери тука в месте соприкосновения дна с неподвижной стенкой делается войлочная набивка. Выброшенный барабаном в щель тук м. б. или направлен на распределительную доску, и тогда получится его сплошное распределение, или же при помощи перегородок в щели или распределительной доске высевается в ряды, и тогда получится распределение рядовое, как это и делается при комбинированном посеве. Механизмов для подъема дна и стенки ящика существует несколько систем, но нашей пром-стью освоены только две: Эльворти и Веска. Механизм сист. Эльворти состоит из одной конической и одной червячной передач (фиг. 16). Диск *А* имеет набор из восьми рядов конич. зубцов с шагом зацепления, равным шагу подвижной конич. шестеренки *Б*. Эта шестеренка скользит на шпонке по валику *В* и м. б. сцеплена с любыми зубцами набора на диске и в этом положении закреплена болтом *Г*, скользящим одновременно с ней по прорези стойки Д. На верхнем конце валика посажен червяк, соединенный с шестеренкой горизонтального вала, поднимающего дно ящика. Этот механизм



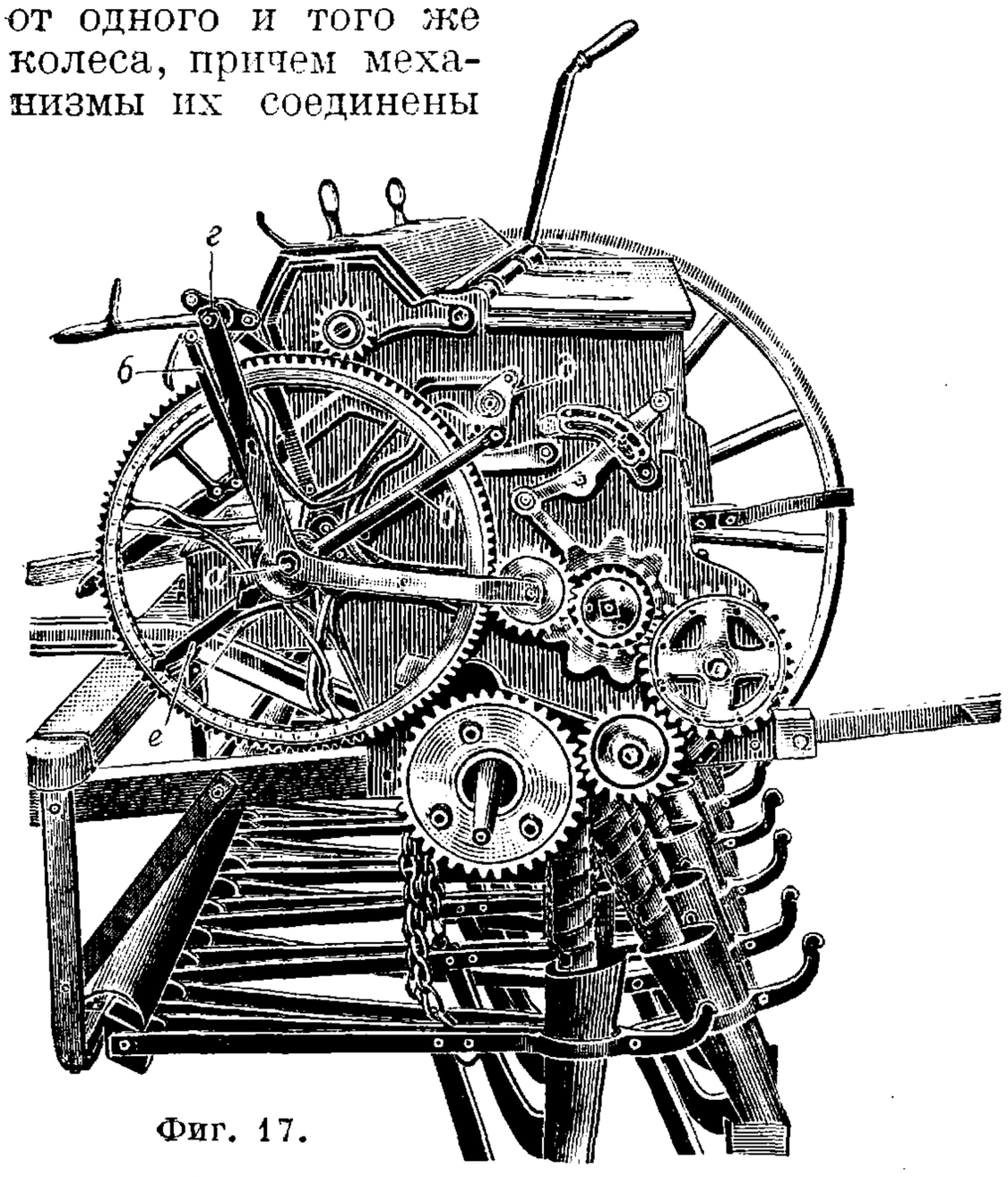
Фиг. 15.



Фиг. 16.

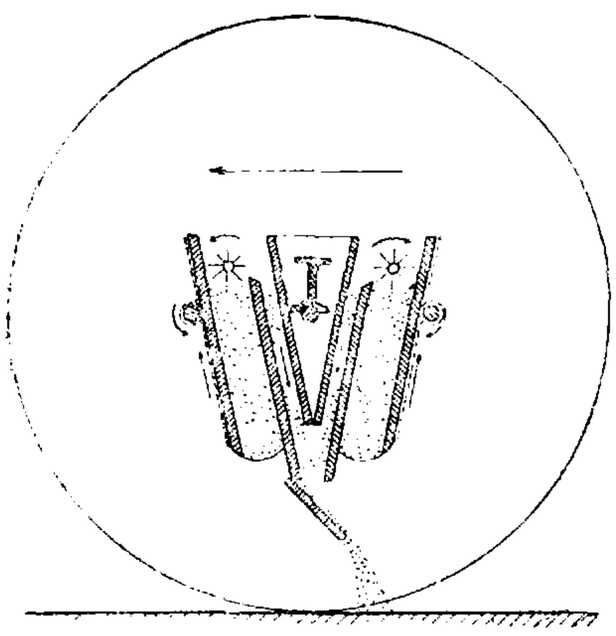
подает под барабан тук совершенно равномерно, благодаря чему он выбрасывается равномерно, без «пульсации», но количество тука можно менять только значительными скачками. Механизм системы Веска более сложный. Он имеет одну цилиндрич. передачу (фиг. 17), эксцентрик *а*, дающий колебательное движение двум рычагам *б* и *в*, к-рые при помощи коромысел *г* и *д* перемещают четыре собачки по храповому колесу, сидящему на валу, поднимающему дно. Изменяя величину эксцентриситета при помощи рычага *е*, можно в известных пределах распределять любое количество тука на *га*. Но храповой механизм, как известно, не может дать абсолютно равномерного движения дну ящика—несмотря на 4 собачки дно перемещается неравномерно, и при выбрасывании неизбежна нек-рая пульсация. В тресте «Каучуконос» разработан проект «сдвоенного» распределителя туков с механизмом Шлёра-Веска, который имеет (фиг. 18) двойной объем ящиков, что очень важно при

больших дозах У. и при тракторной тяге, и у к-рого в одну и ту же щель выбрасывают одновременно два аппарата, получающих движение от одного и того же колеса, причем механизмы их соединены



Фиг. 17.

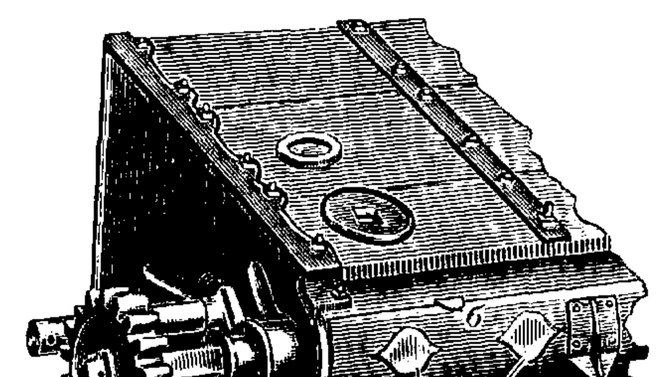
таким образом, что максимум скорости одного совпадает с минимумом другого, что почти устраняет пульсацию. Кроме того такая комбинация сдвоенных механизмов позволяет распределять одновременно два тука в разных количествах каждый, без предварительного их смешивания. Ширина захвата распределителя для конной тяги равна 3 *м*, а для тракторной 5 *м*. Емкость ящиков равна 120 *л/п. м* ширины захвата, т. е. всего 360 и 600 *л*. Эти распределители позволяют разбрасывание 50÷1 470 *л/га*.



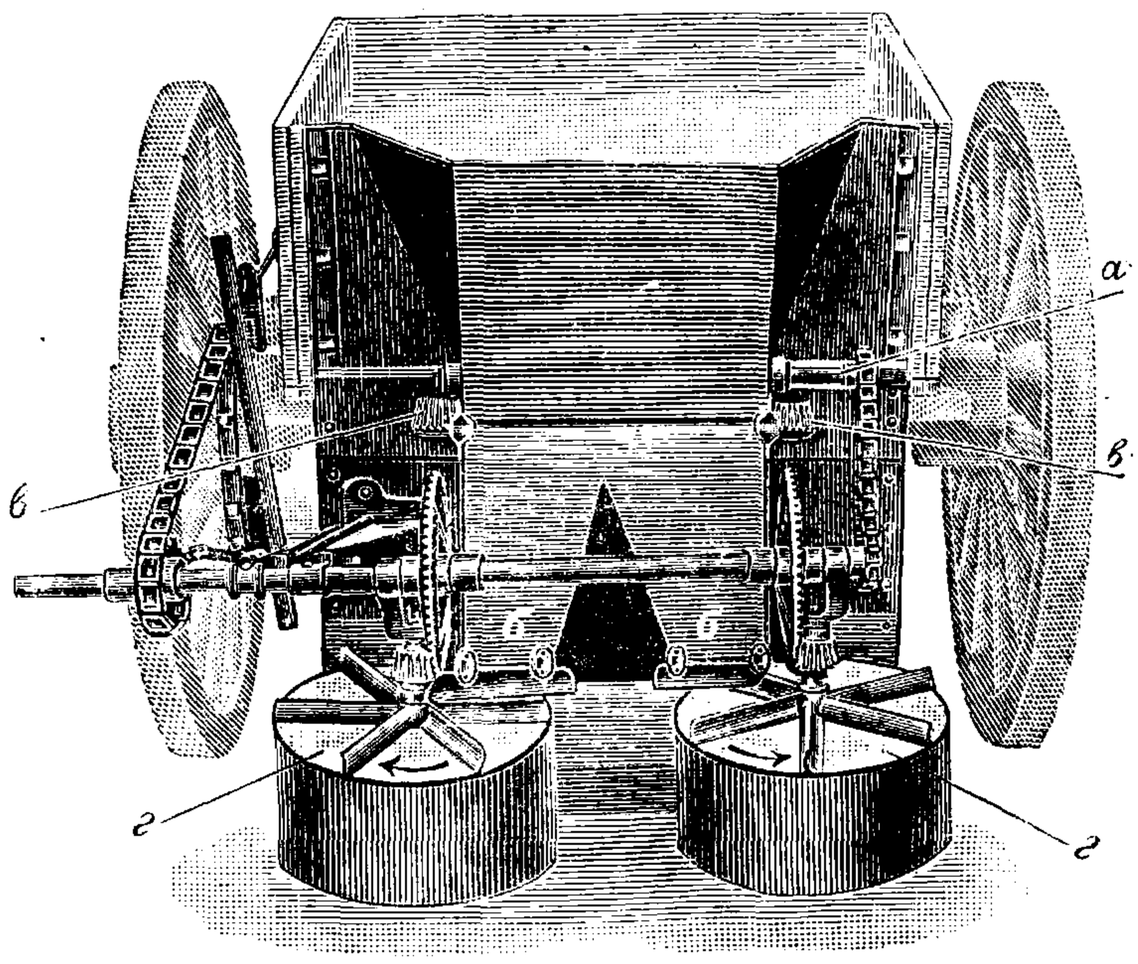
Фиг. 18.

К специальным распределителям У. относятся машины, предназначенные гл. обр. для распределения извести. Известь вносится в количествах 3÷12 *т/га*. Последняя цифра относится уже к мероприятиям мелиоративного порядка. Наш Научно-исследовательский ин-т по удобрениям ставит требованием, чтобы машины, распределяющие известь, могли разбрасывать 3÷8 *т/га*. Нормой при известковании наших подзолистых суглинков считается 5—6 *т/га* за один прием. Из сложных машин универсального типа, работа к-рых близко подходит к этим требованиям, можно указать на распределитель Мак-Кормика № 3. Он состоит из деревянного призматического ящика длиною 2,5 *м*, емкостью в 360 *л* на двух колесах. Дно ящика овальное с 16 отверстиями *а* диам. в 50 *мм*, к-рые имеют по бокам по 2 треугольных выреза *б* для избежания образования узкой выпускной щели при малых открытиях (фиг. 19). Выбрасывающий аппарат мотыльковый; мотыльки сидят на нижнем валу против выпускных отверстий. Над этим валом расположен второй с сидящими на нем пальцами ворошилок. Под выпускными отверстиями сеялки расположены две распределительные доски на цепях с крючками. Каждая половина распределителя приводится в действие от своего колеса и включается и выключается самостоятельным рычагом, что позволяет работать при надобности с половинным захватом. Для предупреждения попадания в ящик крупных комков и камней вместо крышки поставлены два оцинкованных решета. Производительность 120÷9 800 *л* на *га* мергеля и 390÷9 100 *л* гашеной извести. При испытаниях в Черемушках (под Москвой) замечено, что при максимальном выбрасывании распределение идет более равномерно, чем при минимальном.

Из более простых машин применяются так называемые разбрасыватели, которые не являются самостоятельными машинами, а приставляются к заднему концу ящика обыкновенной телеги и механизм к-рых работает от ее колес. Из фиг. 20 видно, что ковш разбрасывателя не имеет передней стенки и после установки на место служит сам задней стенкой ящика телеги, к-рый наполняется известью. Через дно ковша пропущен вал *а* с 2-лопастным шнеком, к-рый сдвигает известь к середине ковша, т. е. к отверстию. Из отверстия известь попадает в два рукава *б*, в к-рых подаваемое количество регулируется особыми задвижками *в*, а затем поступает на диски с крыльями *г*, вращающиеся в противоположные стороны (левый по часовой стрелке, а правый—против), и ими разбрасывается сплошным тонким слоем шириною нормально ок. 5 *м*. По мере высыпания извести ковш наполняется вручную лопатой рабочим,



Фиг. 19.



Фиг. 20.

находящимся на телеге. Диски с крыльями получают свое вращение от заднего колеса телеги, и это вращение осуществляется при помощи одной цепной и одной конической передач, для чего звездочка надевается на ступицу колеса или прикрепляется к спицам. Такая комбинация проста, дешева и удобна, но имеет свои

существенные недостатки. Во-первых, при больших количествах вносимой на 1 *га* извести требуется весьма напряженная работа со стороны рабочего, сдвигающего ее в ковш, а, во-вторых, ширина захвата разбрасывателя в сильной степени зависит от скорости движения телеги по полю, так как центробежная сила, как известно, пропорциональна второй степени скорости (равна $P = \frac{Mv^2}{r}$). Поэтому при неравномерном ходе упряжных животных ширина захвата будет беспрестанно изменяться, и распределение получится неравномерное—с пропусками и огрехами. При тракторной тяге работа разбрасывателя будет более правильной. Из систем разбрасывателей можно отметить машину Мак-Кормика и Хольдена. Производительность разбрасывателя Хольдена 85 ÷ 11 000 *л/га*. Разбрасыватели применяют для распределения извести, мергеля, гипса, фосфоритной муки, гуано и т. п. В сел. х-ве они м. б. использованы для разбрасывания по полю бактериальных У. (для люпина, люцерны) и при сверхраннем посеве. Так например, один из разбрасывателей «Пеория» (по данным фирмы) способен обсеменять за один проход полосу шириною в 9 *м* овсом, 15 *м*—рожью, пшеницей, ячменем и рисом. Кроме того ими можно пользоваться в дорожном строительстве для разбрасывания песка, глины, гравия и т. п. Испытание распределителей туков сводится обычно к предварительному осмотру, общей оценке конструкции, причем здесь одним из главных требований будет наименьшее количество металлич. частей и деталей машины, соприкасающихся с туками, т. к. от этого металл подвергается быстро ржавлению и порче. Затем следует проверка выбрасывающего аппарата, т. е. равномерности его работы и количества выбрасываемого тука в условиях лабораторного испытания. После этого необходимы полевые испытания, которые сводятся к определению равномерности разбрасывания, к проверке количества тука, выбрасываемого машиной как при нормальном ходе, так и при сотрясениях и толчках при различном наполнении ящика, при разных его наклонах. Одновременно производится и определение тяговых усилий динамометрированием. Для фиксации картины распределения тука на определенной площади можно пользоваться или известью, распределяя ее по темной поверхности поля, или же туками с темной окраской (фосфоритная мука, томасшлак), разбрасывая их по поверхности поля, покрытого снегом. Картина распределения может быть сфотографирована. Испытания распределителей туков у нас показали, что они требуют тяговых усилий 32÷96 *кг* на 1 *п. м* ширины захвата. Величина сопротивления здесь, так же как и у сеялок, зависит: от веса самой машины, от веса загруженного в нее тука, от сопротивления ее механизма, от ∅ колес, от ширины их ободьев, от скорости хода машины и от состояния поверхности поля. Легко растворимые туки—селитра, соли калия—обычно не нуждаются в специальной заделке: разбросанные по поверхности поля, они смываются в почву первыми дождями. Но целый ряд туков, напр. фосфоритная мука, томасшлак, суперфосфат, известь и торф нуждаются для проявления своего эффекта в тесном соприкосновении с почвой, а следовательно и в заделке. Заделка туков производится несколькими способами. При комбинированном посеве тук вводится в бороздки и заделывается одновременно с семенами. При распределении тука вразброс его можно заделывать проходом в несколько следов, во взаимно перпендикулярных направлениях, бороной или же в один след груббером, экстирпатором или дисковым культиватором, а также лущильником-запашником или даже простым плугом на небольшую глубину. Но самым совершенным орудием для смешивания является барабан *фрезы* (см.).

Производство распределителей туков в СССР еще налаживается: комбинированные сеялки для сахарной свеклы с аппаратами Шлёра и распределитель «Вестфалия» строит з-д «Красная Звезда» в Зиновьевске; Симский з-д (на Урале) также копирует распределитель «Вестфалия», з-д «Сибсельмаш» в Омске делает распределитель полукустарного типа, являющийся измененной машиной Мак-Кормика.

Лит.: Моисеев И., Известковые сеялки и разбрасыватели, М.—Л., 1931; Арцыбашев Д., Орудия и машины сельского хозяйства, СПБ, 1910; «Известия Бюро с.-х. механики», 1916, т. 3; Ringelman M., Sur les distributeurs d'engruis, «Journ. d'agric. prat.», P., 1901; Puchner H., Untersuchungen auf dem Gebiete des Landwirtschaftlichen Maschinenwesen, München 1903.

Н. Сладков.

УЗЛОВЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКИ, напряжения в узлах *сети электрической* (см.) и токи в проводах линий, сходящихся в узлах, т. е. в не питаемых непосредственно точках скрещивания трех или более линий, идущих от питательных пунктов. Определение У. н. и т. важно для проектных расчетов сечений *проводов* (см.) сложных сетей. Сложными называют сети, содержащие узлы, т. к. расчет их сложнее расчета сетей без узлов: при наличии узлов уже нельзя найти распределения токов в проводах сети и вычислить их сечения сразу без предварительного подсчета. В отличие от напряжений в питательных пунктах, к-рые при расчете известны, напряжение в узле заранее неизвестно; величина его зависит от падения напряжения. Следовательно, чтобы найти величину напряжения в узле, надо выяснить распределение токов в проводах, сходящихся в узле. Но для этого надо знать сечения проводов. Для вычисления же сечения необходимо знать токораспределение. Благодаря этому расчет сети при наличии узлов перестает быть определенным. Задача м. б. решена только методом последовательных приближений. Однако теория и практика расчета сетей выработали для этого способы, довольно быстро приводящие к правильным результатам. Расчет сложной сети разбивают на: 1) предварительный (приблизительное вычисление необходимых сечений, основанное на некотором предположительном распределении токов) и 2) точный расчет (выяснение истинного токораспределения для найденных сечений в целях проверки их на падение напряжения и нагревание). Метод Кольтри (см. *Сети электрические*) и другие, применяемые для точного расчета сложных сетей, сводятся в основном к определению У. н. и т. [1,5,9,14]. Расчет сложных сетей приобретает большое практич. значение для нашего строительства в связи с оживлением у нас интереса к замкнутым сетям. До последнего времени несмотря на общепризнанные за границей преимущества замкнутых сетей (бóльшая надежность снабжения потребителей, меньший расход металла на провода и бóльшую эластичность их) они не находили себе применения в нашей практике, отдававшей предпочтение менее рациональным технически, но в силу своей примитивности более

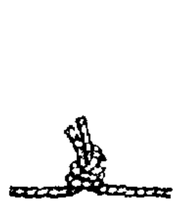
простым для проектирования и эксплоатации разомкнутым сетям. Определение У. н. и т. позволяет затем найти полную картину токораспределения в сети. При этом обычно определяют не самые напряжения в узлах, а падения напряжения от питательного пункта до соответствующего узла. Найдя это падение напряжения, делят его на сопротивление данного провода, получая т. о. ток в последнем [5,8,9,14,15]. Для определения узловых напряжений (вернее падений напряжения) и токов наиболее распространены: 1) метод Кольтри, 2) метод наложения, или суперпозиции, и 3) комбинированный метод. Метод Кольтри применим во всех случаях, но при наличии в одном из самостоятельных участков сети (на к-рые сеть разбивают при расчете, проводя линии раздела через питательные пункты) большого числа узлов он приводит к совместному решению большого числа ур-ий. Для подобного случая Seidel, Mehmke, Gauss и другие предложили приближенные способы решения, основанные на принципе решения ур-ий путем последовательных приближений: в ур-ия подставляют нек-рые произвольные значения неизвестных, к которым вычисляют ряд последовательных поправок. На расчет сети, даже и при пользовании этими сокращенными методами, требуется большая затрата времени. В виду этого при большом числе узлов в самостоятельных участках сети методу Кольтри предпочитают метод наложения, удобный и при малом числе узлов вследствие его наглядности. В метод наложения входит как составная часть метод Фрика, неприменимый в тех случаях, когда линии, соединяющие между собой узлы, образуют замкнутый контур (в этом случае применяют комбинированный метод). Метод Фрика [1,5,6,9] имеет целью замену рассчитываемого участка сети эквивалентной упрощенной системой в виде одного провода: предварительно приводят все провода сети к одному общему сечению (за общее сечение удобнее брать сечение, чаще всего встречающееся в сети, или наименьшее кратное нескольких сечений); затем, заменяя несколько параллельных линий одной, эквивалентной проводимости, и перенося нагрузки из узла в узел, постепенно упрощают сеть и сводят ее в конечном результате к одной линии с одной нагрузкой. Найдя распределение токов в этой линии, возвращают сеть к ее первоначальному виду путем обратного процесса, т. е. вновь разъединяя сложенные ранее вместе параллельные провода и перенося нагрузки обратно на их места, постепенно находя т. о. узловые токи, а затем и токораспределение во всей сети. Если применить метод Фрика мешает наличие замкнутого контура, представляющего собой тр-к, то его можно преобразовать в пучок лучей по методу *трансфигурации* (см.); если же замкнутый контур представляет собой мн-к с числом углов более трех, то для расчета применяют комбинированный метод: упростив сеть по Фрику, т. ч. она будет приведена к замкнутому контуру, к углам последнего применяют уравнения Кольтри для нахождения узловых напряжений.

Лит.: 1) Гефнер Ф., Системы распределения тока и расчет электрич. сетей, СПБ, 1909; 2) Глазунов В., Теория и расчет электрич. распределительных сетей, 2 изд., М.—Л., 1931; 3) СЭТ, Справ. книга для электротехников, т. 3, Л., 1928; 4) Фаульь Ф., Справочник по электротехнике, т. 3, Л., 1929; 5) Хащинский В., Канализация эл. энергии, Сети, 3 изд., ч. 1, Л., 1931; 6) Хрущов В., Электрич. сети и линии, М.—Л., 1932; 7) Gallusser H. u. Haussmann M., Theorie u. Berechnung elektr. Leitungen, B., 1904; 8) Häfner Ph., Stromverteilungssysteme u. Berechnung elektr. Leitungen, Hannover, 1906; 9) Herzog-Feldmann, Die Berechnung elektr. Leitungsnetze in Theorie u. Praxis, 4 Aufl., B., 1927; 10) Mauduit A., Installations électriques à haute et basse tension, P., 1926; 11) Piazzoli E., Tecnica degli impianti elettrici per luce e forza, v. 2, parte 1, Milano, 1929; 12) Revessi G., La trasmissione e la distribuzione dell'energia elettrica, Brescia, 1926; 13) Russel A., The Theory of Electric Cables a. Networks, 2 ed., L., 1920; 14) Rziha E. u. Seidener J., Starkstromtechnik, Taschenbuch für Elektrotechniker, B. 2, 7 Aufl., B., 1931; 15) Strecker K., Hilfsbuch für die Elektrotechnik, Starkstromausgabe, 10 Aufl., Berlin, 1925.

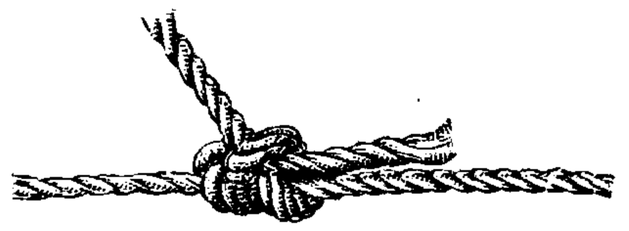
В. Хащинский.

УЗЛОВЯЗАТЕЛЬ, механизм, применяемый в текстильной пром-сти для связывания пряжи. Завязывают ли узлы руками или при помощи У.,—узлы должны иметь форму, наиболее пригодную для того, чтобы легко проходить через глазки и бердо (см. *Ремизное производство*, бердочное производство).

Обыкновенный узел (фиг. 1) не при всех условиях применим, т. к. он выступает с одной стороны нити и м. б. причиной обрыва ее при прохождении ее через глазки и

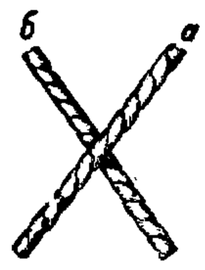


Фиг. 1.

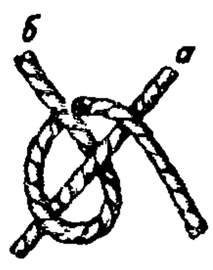


Фиг. 2.

берде. Более подходящим является ткацкий узел (фиг. 2); он выступает б. или м. равномерно вокруг нити и благодаря этому число обрывов нитей при завязывании таким способом меньше. На фиг. 3, 4, 5 и 6 изображены последовательные стадии завязывания ткацкого узла: *а*—конец нити основы, которую держат левой рукой, *б*—конец нити в правой руке. При завязывании нити располагают крестообразно, причем нить *а* перекрывает нить *б*. Нитью *б* делают петлю, проводя нить между обоими выступающими концами нитей сзади (фиг. 4). Для устранения возможности скольжения нити (это гл. обр. применяется на пряже из искусственного шелка)



Фиг. 3.

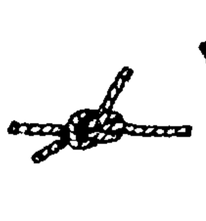


Фиг. 4.

Фиг. 5.

Фиг. 6.

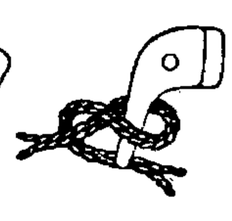
делают двойную петлю (фиг. 5). Через петлю пропускают большим пальцем правой руки конец *а* и затягивают узел, натягивая нить правой рукой (фиг. 6). Концы узла д. б. расположены по направлению движения нити в дальнейшей обработке (фиг. 7); при такой форме узла он при натяжении не распускается; менее пригодной формой узла является та, когда концы узла расположены с одной стороны нити, а не с двух (фиг. 7). Концы узлов не должны быть длинными, т. к. это может вызвать пороки (подоплетины, двойные концы), но они и не должны быть слишком короткими во избежание распускания узла; для этого их срезают, оставляя нужной длины. Не-



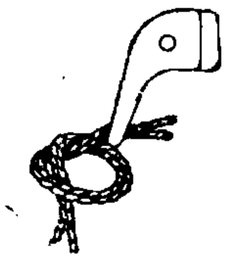
Фиг. 7.

Фиг. 8.

Фиг. 9.



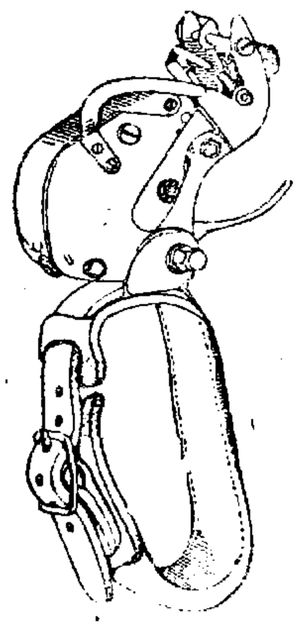
Фиг. 10.



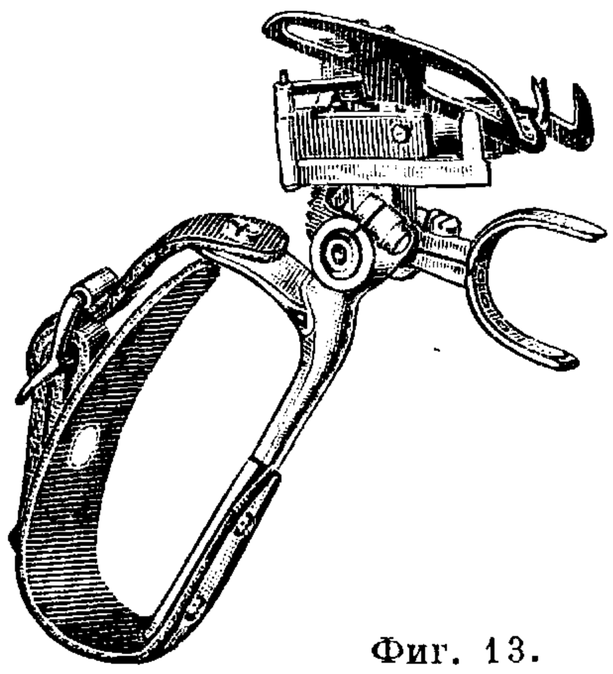
Фиг. 11.

удобства ткацких узлов следующие: при завязывании нить благодаря вытягиванию несколько ослабляется, и кроме того процесс завязывания продолжителен. Для ускорения завязывания узлов применяют У. Они гл. обр. находят применение при работе на быстроходных мотальных машинах, а также и в ткачестве. У. бывают ручные и в виде передвижных машин. Ручные У. бывают разных систем. У. сист. Стуббса надевают на правую руку. У. сист. Барбер-Кольмана, Либерти, Бойса, Кука—на левую. Работа с У. сист. Стуббса протекает сл. обр.: работница берет в левую руку оба конца оборвавшейся нити, выравнивает их, сжимая между большим и указательным пальцем, причем слегка натягивает, образуя мост из нитей между средним и указательным пальцем. Узел (обыкновенный) делается носком У., который помещают сзади и снизу нитей. Вращая

У., делают петлю (фиг. 8); дальнейшее образование узла видно из фиг. 9, 10 и 11. На фиг. 12 показан У. сист. Бойса, а на фиг. 13—У. сист. Барбер-Кольмана, надеваемые на левую руку; при работе ремень затягивают. У. сист. Бойса более сложен по конструкции, чем У. сист. Барбера, и более тяжел, что утомляет руку. У. сист. Кука вырабатывают четырех типов: для простого узла, для ткацкого, для прямого (морского) и для двойного узла (для шерсти). Кроме ручных У. имеются передвижные, применяемые для соединения не отдельных нитей, а целых основ вместо присучки их. Основы д. б. одинаковы как по ширине, так и по числу нитей. При работе обе основы располагают одна под другой. Узловязательный прибор двумя рычагами с иглами (с крючками) захватывает нить верхней и нижней основы, завязывает узел и подвигается по всей ширине основы. При этом особый прибор обрезает кончики узлов, к-рые удаляются в приемник отсасывающим приспособлением; вместе с концами узлов удаляется также и отставшая от основы часть шлихты, благодаря чему У. не засаривается. У. работает от электромотора в $^1/_4$ Л. Обычно машины сист. Барбер-Кольмана конструируют разной ширины (46″—56″—66″... 116″) для плотности основы в 30 нитей и выше на 1″ Средняя производительность машины ок. 10 000 узлов в час. У. сноповязалок—см. *Жатвенные машины.*



Фиг. 12.



Фиг. 13.

Н. Арманд.

УЗЛЫ радиотелеграфные, см. *Центры радиотелеграфные.*

УЗОР. Под У. подразумевается рисунок украшения жаккардовой (фасонной) ткани, заимствованный как из области природы, так и из области искусств или представляющий собою плод фантазии художника. Следовательно всякая жаккардова (фасонная) ткань, прежде чем д. б. выработана на ткацком станке, требует составления У. или рисунка, называемого эскизом. Разработанный эскиз в тенях и красках, т. е. в окончательном виде и в окончательном размере по ширине и длине, как требуется для выполнения на ткани, называется моделью. Кроме творч. составления У. весьма часто практикуется копирование У. непосредственно с образцов тканей.

Составление У. для тканей находится в полной зависимости и связи как с сущностью видов переплетений, так и с самими механизмами ткацкого станка. У. состоит из двух частей: собственно У.—фигуры—и грунта, или фона (земли). У. и фон м. б. одинаковы по материалу, по цвету или различны. Что же касается видов переплетений, к-рые применяются для У. и фона, то они в большинстве случаев берутся различные (см. *Патронирование*).

С. Молчанов.

УИТСТОНА АППАРАТ, см. *Буквопечатающие телеграфные аппараты.*

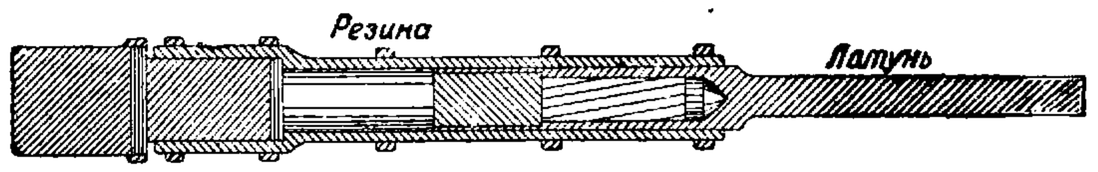
УКЛАДКА КАБЕЛЕЙ зависит от их назначения. В случае подземных кабелей прокладка производится непосредственно в землю (способ, распространенный в СССР и за границей, кроме Англии и США), обеспечивая наилучшие условия отдачи кабелем тепла в окружающую среду (т. е. охлаждения кабеля); позволяет допускать большие силы токов в кабелях; в пределах городов требует применения бронированных кабелей. Способ рытья траншеи и У. к. в нее одинаков для кабелей сильных токов и кабелей связи (см. *Кабель* и *Линии связи*). По улицам с усовершенствованной мостовой кабель кладут под тротуаром: ответвления короче; прокладывать можно на меньшей глубине; почва суше; прокладка скорее и дешевле (меньше земляных работ); кабельные колодцы и ящики не требуют солидной кладки и массивных покрышек; кабели доступнее для производства соединений и ремонта; подпочва свободна; восстановление тротуара после прокладки дешевле, чем восстановление мостовой. По трассе линии развозят и укладывают вдоль нее песок, кирпич, трубы и прочие материалы для работ. Отрывают одновременно канаву такой длины, чтобы она не оставалась открытой (во избежание накопления воды, которую пришлось бы откачивать), а после укладки кабеля была бы тотчас засыпана землей. При достаточном числе рабочих отрывку ведут в нескольких местах ночью, чтобы закончить работу к началу уличного движения. Материал от разборки мостовой, тротуара и землю от рытья траншеи складывают с одной стороны ее, оставляя другую свободной для работ по У. к. Кабельные барабаны нельзя при разгрузке позволять сбрасывать на землю, а надо скатывать по доскам. Барабан устанавливают или в голове канавы (для применяемой при рыхлом грунте укладки по каткам или прямо в траншею) или около канавы (кабель сперва укладывают вдоль траншеи у ее бровки, а после уже перекладывают на дно траншеи) на расстоянии $^1/_3$ длины кабеля от начала траншеи, чтобы избежать излишнего протаскивания кабеля по земле. В случае тяжелых кабелей и если места у канавы достаточно, У. к. выполняется откатыванием барабана (конец кабеля неподвижен). Для сматывания кабеля с барабана в среднее отверстие его просовывают крепкий железный стержень, концы к-рого, имеющие желобчатую выемку, помещают на головках винтового домкрата. У барабана должно находиться не менее 3 рабочих для вращения барабана (сторона вращения указана на нем стрелкой) и 1 рабочего для торможения барабана. В углах траншеи ставят по 1 рабочему, чтобы он давал надлежащую кривизну. Разматывание и У. к. требуют крайней осторожности (избегать крутых перегибов, не давать натяжения кабеля). У. к. в мороз вообще нежелательна и производится лишь после предварительного прогревания кабеля (перед прокладкой держат в теплом помещении 2—3 суток или прогревают, помещая его между специальными жаровнями, в течение нескольких час., причем барабан все время вращают). Самую У. к. при морозе ведут ускоренно. Надо избегать соприкосновения кабеля с бетоном и известью, разрушающими свинцовую оболочку. Засыпается кабель сперва мягкой мелкой землей (слой ок. 10 *см*), затем в местах возможных разрытий прикрывается через нек-рые промежутки кирпичом или просмоленными досками (назначение кирпича или досок—при позднейшем разрытии предостеречь рабочего от повреждения кабеля); после этого кабель засыпают землей с утрамбовкой и (в местах, к-рые будут замощены) с поливкой водой для улучшения усадки почвы. Проложенные линии тщательно наносят на план. При У. к. непосредственно в землю кабельные муфты также прямо зарывают в землю; кабельные колодцы с люками для установки кабельных муфт и ящиков не применяются,

что дает экономию в средствах, но сопряжено с необходимостью разрушения верхнего строения улицы и производства земляных работ для получения доступа к муфтам (при устранении повреждений, ремонте и пр.) [1,2,3,12,17].

Механизированная У. к. применяется за границей после войны для удешевления земляных работ, составляющих до 60—70% всего числа рабочих часов по У. к. Специальная машина (сочетание экскаватора с плугом) соединяет рытье траншеи, У. к. и засыпку траншеи в один процесс. Машина (экскаватор) роет траншею шириной 50—65 *см* и глубиной 1,7 *м*; скорость рытья регулируется в пределах 0,250÷2,44 *м/мин*. Траншея засыпается помощью особых плугов с механич. приводом. Трамбование осуществляют пневматич. трамбовками. Для У. к. (вытягивания) применяют лебедку (шпиль), монтированную на тележке; электрич. тяга от аккумуляторной батареи позволяет значительно сократить число рабочих при этой операции (вместо всей партии требуется только 5 чел.). При этом У. к. идет более чем в 3 раза быстрее, чем вручную. Машина позволяет рыть траншеи глубже, делая возможным применение кабелей без брони. Недостаток машины: применение возможно лишь после удаления мостовой вручную и только в местах, где нет оживленного движения. Вместо машин-экскаваторов применяют и менее громоздкие специальные плуги, которые прорезают в грунте узкий (и поэтому засыпающийся сам собой) канал, одновременно протаскивая за собой кабель. При пересечениях кабелем трамвайных и ж.-д. путей применяют особый бур (вернее острую штангу, не вращающуюся, а движущуюся поступательно), вдавливаемый гидравлич. прессом в грунт; за буром продвигаются трубы для У. к. Механизацию У. к. стали с успехом осуществлять и в СССР (в Москве и Ленинграде) сперва помощью импортного машинного оборудования, а затем и машинами союзного изготовления [12,13,17,21].

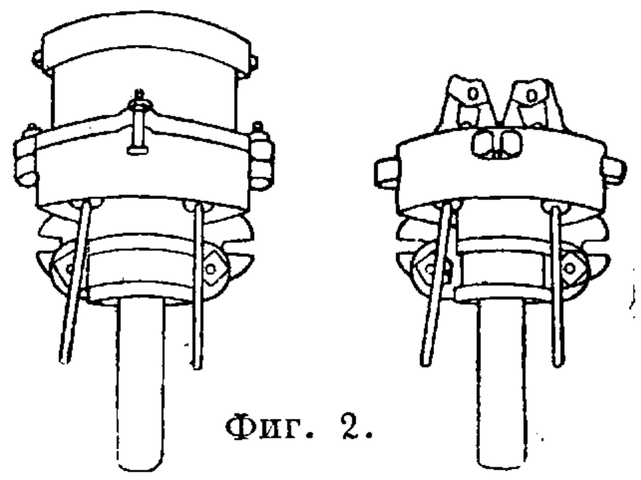
Прокладка в трубопроводах (называемых иногда канализацией)—более совершенный способ, распространен в Англии и США. В СССР пока применялся только для линий связи. За последнее время у нас заинтересовались им и для кабелей сильных токов. Производство фибровых труб разработано трестом «Пластмасс». В виду значительной дороговизны способа, он будет на данном этапе нашего строительства применяться повидимому лишь в особых случаях, где недопустимы стеснения движения, создаваемые работами по ремонту и расширению подземных кабельных линий, или если пространство, где прокладывается кабель, насыщено другими трубопроводами, так что вероятны частые земляные работы. Относительно техники У. к. в трубопроводах—см. *Линии связи*. При размещении кабелей по каналам трубопровода (в случае прокладки в трубопроводах нескольких линий) необходимо придерживаться определенной системы. Кабели для местного распределения помещают обычно в верхнем ряду (легче делать ответвления, можно люки не опускать ниже верхнего ряда каналов). Каналы для сквозных линий выбирают так, чтобы число пересечений их с другими кабелями было наименьшим [2,7,8,12,13,17].

Соединения и ответвления кабелей. Изоляция между жилой и свинцовой оболочкой кабеля д. б. тщательно предохраняема в местах разреза от сырости. Поэтому конец разрезаемого кабеля не должен долгое время быть открытым для доступа воздуха. Простейшей защитой является наложение слоя изолирующей массы на место среза и покрытие его изолирующей лентой. Можно вместо этого надевать на конец кабеля свинцовые колпаки, плотно закрывающие конец для предотвращения доступа сырости в изоляцию кабеля. С подобными наконечниками кабель хранится и перевозится к месту работ. Для присоединения кабеля к распределительным шинам, машинам и аппаратам применяют особой конструкции наконечные муфты, дающие надежный контакт и защищающие изоляцию от сырости. На фиг. 1



Фиг. 1.

изображена кабельная наконечная муфта одножильного освинцованного кабеля низкого напряжения со скрученным проводником. Она состоит из луженой латунной гильзы, заканчивающейся сплошным стержнем. Конец жилы кабеля впаивают в гильзу. Поверх одевается резиновая трубка, к-рая в нескольких местах перевязывается мягкой оцинкованной проволокой. Для перехода от подземных линий к воздушным служат особые переходные столбы. На верхушке их устанавливают мачтовые кабельные переходные муфты (фиг. 2). Медная жила кабеля присоединяется к проводу, идущему к воздушной линии, помощью зажимной гильзы посредством свинчивания и пайки. После присоединения муфта плотно закрывается крышкой на болтах, а внутри ее заливают изолирующей массой.



Фиг. 2.

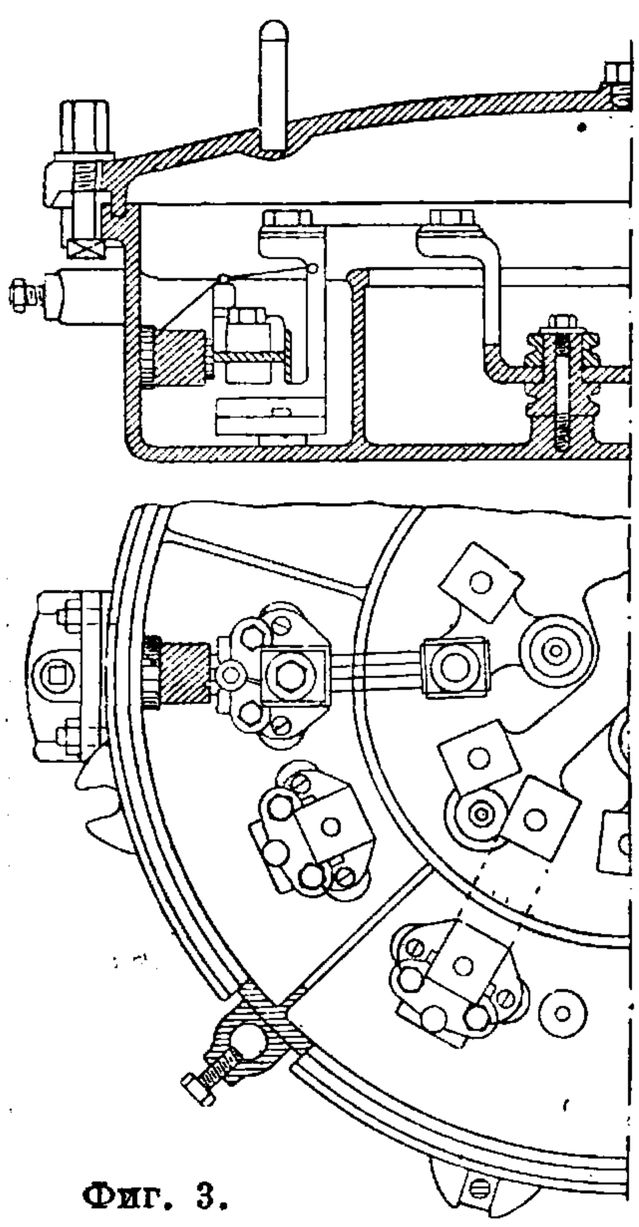
Соединительные и ответвительные муфты. Для соединения отдельных концов кабеля служат соединительные муфты. При помощи их можно также взять ответвление от главной линии, тогда они называются ответвительными муфтами. Назначение этих муфт—герметически закрыть концы кабеля, дать надежный контакт и передать растягивающее усилие на броню (см. *Муфты*). При производстве работ по соединению кабелей или присоединению их к аппаратам и машинам необходимо обратить внимание на хороший контакт и надежное предохранение изоляции от сырости. Несмотря на тщательное выполнение соединений все же самым слабым местом в кабельной линии являются кабельные муфты; большее число неисправностей происходит именно в них. Изоляцией при соединении муфтами служит особая изолирующая кабельная масса—смесь смолистых веществ с маслами (см. *Компаунд*). Этот заливочный состав может явиться причиной многочисленных аварий, если будет применяться не достаточно хорошего качества. Кроме хороших изолирующих свойств и способности выдерживать высокие напряжения, заливочный состав должен обладать однородностью и неизменяемостью, пластичностью, достаточной прилипаемостью к металлам, быть непроницаемым для газов и не впитывать воду. Надо

помнить, что ничтожная экономия на заливочном составе может причинить очень большие убытки и неприятности: при плохой заливочной массе может легко получиться пробой и тяжелые повреждения муфты и кабеля. Для высокого и низкого напряжений, а также для высоких и низких $t°$ окружающего пространства применяются различные составы для заливки муфт. Работа по заделке кабеля в муфты состоит из подготовки кабеля и присоединения муфты. Подготовка кабеля для заделки в наконечную муфту ведется нижеследующим порядком. Отпиливают лишнюю часть кабеля. Прежде чем приступить к распиливанию, закрепляют джутовую обмотку с обеих сторон места распиловки вязальной проволокой. При распиливании надо избегать крутых изгибов. Наружную джутовую оплетку перевязывают вязальной проволокой на расстоянии от конца кабеля, равном длине муфты плюс длина жил кабеля, предназначенных для соединений (зависит от способа соединения). После этого снимают наружную джутовую оплетку. Помощью трехгранного напильника прорезают железную броню непосредственно у обвязки наружной джутовой оплетки, удаляют броню и снимают внутреннюю джутовую оплетку вровень с броней. При этой работе надо остерегаться повредить свинцовую оболочку; нож устанавливается не поперек, а вдоль кабеля. Обнаженную свинцовую оболочку очищают тряпкой, пропитанной бензином, после чего удаляют часть ее, приняв меры предосторожности, чтобы не попортить нижележащие слои обмоток. У конца свинцовой оболочки, несколько отступя от него, бечевкой перевязывают лежащую под оболочкой изоляцию и обрезают ее. После этого отрезают продольные жгуты (джутовые или бумажные), заполняющие пространство между жилами, наблюдая за тем, чтобы не попортить жилу кабеля и ее изоляцию. Затем зачищают жилы кабеля на расстоянии, определяемом размерами сжима, перевязывая изоляцию бечевкой с обоих концов зачищаемого места. Надев на кабель концевую муфту, на концы жил кабеля надвигают дистанционные кольца—особые зажимы, служащие для распора жил, а жилы выводят через отверстия в крышке муфты наружу. В том месте на свинцовой оболочке, где д. б. шейка муфты, наматывают просмоленную ленту для более плотного прилегания муфты. Муфту надвигают на кабель и помощью изоляционной ленты надежно закрепляют на кабеле. Монтаж муфт сопровождается особыми мерами предосторожности, из которых надо указать: 1) котлы для разогревания заливочной массы для равномерного подогревания этой массы снабжают рубашками и крышками; 2) заливочная масса не должна нагреваться свыше 140—150°, иначе она разлагается и теряет свои ценные качества. В то же время и недогрев массы также опасен, т. к. состав, не будучи легкоподвижным, отскакивает от стенок муфты (особенно в холодную погоду и при тяжелых чугунных муфтах). Америк. нормы требуют, чтобы при заливке $t°$ у выходного отверстия была не ниже 105°, а в котелке не выше 150°. Необходимо установить хотя бы упрощенный контроль $t°$ в котлё. Обыкновенно массу варят до тех пор, пока она не перестанет давать пену. Густой белый дым указывает на перегрев состава; 3) для равномерного заполнения муфты ее предварительно подогревают, что особенно важно при холодной погоде; 4) не применять кембрик, лакированной или проклееной бумаги и других легко разлагающихся веществ в качестве изоляции; 5) не заполнять всего объема сразу, т. к. при охлаждении масса уменьшается в объеме, почему ее надо наливать в несколько приемов и закрывать крышку после охлаждения. Выведенные концы жилы для защиты от сырости обматываются вплоть до наконечников особого сорта изоляционной лентой. Подобная же подготовка концов кабеля производится и при монтаже других муфт. Самая заделка муфт несколько отлична у муфт разборных, состоящих из двух половин. Сращиваемые концы кабеля вводятся через шейки в муфту. Для предохранения от проникания сырости в муфту место ввода кабеля в муфту уплотняется помощью пропитанного маслом джута или толевого картона, а в месте соединения двух половин в кольцевой канал закладывается просмоленный джут; при тщательном выполнении его соединение помощью стяжных болтов является достаточно надежным от сырости. Обнаженные концы жил соединяются между собой или помощью особых зажимов или спайкой (при соединении многофазных кабелей перед соединением на жилы надеваются указанные выше дистанционные кольца).

В особо ответственных случаях сросток жил кабеля помещают сперва в свинцовые муфты, составляющие как бы продолжение свинцовой оболочки кабеля. Внутренность этих муфт заполняется составом из гарпиуса (80%) и масла (20%). Свинцовая муфта состоит из двух половин, запаиваемых третником (на тщательность пайки д. б. обращено особое внимание); эта муфта помещается в чугунную и заливается асфальтовым составом. Несмотря на столь тщательное соединение, опыт, например бакинской сети, дает пример пробоя подобных двойных муфт. Наполнение соединительных или ответвительных муфт изолирующим составом д. б. произведено с еще большей тщательностью, чем муфт наконечных. Приняв все указанные выше меры предосторожности и очистив внутренность муфты от пыли и грязи, после сбалчивания муфту через главное отверстие заполняют до уровня открытых меньших отверстий изолирующей массой. Через 1—2 ч. состав застывает и его уровень понижается. После этого тот же состав доливается до верхнего края. В промежутках времени между вливанием в муфту отдельных порций массы надо отверстия прикрывать, чтобы не засорить внутренность муфты. Лишь убедившись, что муфта целиком наполнена изолирующей массой, после охлаждения ее можно закрыть отверстия для вливания массы. В сырую погоду нужно позаботиться о том, чтобы влага не осаждалась в муфте, для этого палатку закрывают и держат $t°$ палатки выше окружающей. Изолирующую массу при этих условиях варят во второй палатке. Подобным же образом монтируются и остальные разъемные муфты. Свинцовые муфты не д. б. подогреваемы открытым огнем (паяльная лампа). При монтаже муфт (особенно важно для высоких напряжений) надо снабжать рабочих материалом вобрез (оставшаяся масса загрязняется и портится) и требовать чистоты при производстве этих работ. Инструмент д. б. в полном порядке и в достаточном количестве, чтобы не было задержек в работе с этой стороны. Муфты располагают так, чтобы они не несли никаких механич. усилий, для

чего иногда заводят в них концы кабеля петлей. В кабелях высоких напряжений броня и свинцовая оболочка должны быть заземлены, чтобы избежать появления высокого напряжения на оболочке кабеля. Для этого применяют медную луженую проволоку, которую припаивают как к свинцовой оболочке, так и к броне, а после подкладывают ее под затяжные винты муфты. В установках же более низкого напряжения (до 750 V) оболочку кабеля рекомендуется изолировать от кабельных муфт и распределительных ящиков. Для этой цели служат джут или асфальтовый картон, к-рый прокладывается между муфтой и кабелем при вводе последнего в муфту.

Кабельные ящики и колодцы. При большом числе ответвлений или необходимости легкого доступа к ним за границей устанавливают особые кабельные ящики круглой или четырехугольной формы. На фиг. 3 указан общий вид круглого кабельного ящика для соединения четырех скрученных трехжильных кабелей. Концы кабелей подводят к медным соединительным пластинкам или шинам, с к-рыми их соединяют помощью предохранителей. Эти ящики иногда заливаются изолирующей массой, но соединительные пластинки и шины не должны быть залиты ею, чтобы дать возможность производить переключения в ящике. При сборке ящика д. б. обращено внимание на плотную его укупорку; для этого крышку ящика ставят на резиновое кольцо; кроме того концы кабеля, соприкасающиеся с ящиком, д. б. настолько тщательно заделаны, чтобы не дать проникнуть сырости внутрь ящика. Контакт жилы с шинами д. б. надежным. Кабельные ящики устанавливают на особых фундаментах, за границей же их ставят в специальных колодцах из бетонной или кирпичной кладки. Люк, ведущий в колодец, закрывают чугунной плитой. В СССР ящики и муфты непосредственно зарывают в землю и их месторасположение тщательно наносят на карте. За последнее время взамен их в СССР предпочитают применять надземные конструкции: концы заводят в особые киоски, внутри к-рых расположены соединительные шины, переключатели и пр. [4,6,7,12,13,17]. При монтаже кабельных наконечников, муфт, ящиков и вообще при производстве всякого рода кабельных работ необходимо достигнуть надежного контакта и полной непроницаемости кабельной изоляции. Несоблюдение этих условий ведет к порче и разрушению кабеля. Чтобы во-время дать знать о начавшейся неисправности изоляции и своевременно выключить кабель до появления более серьезного повреждения, в кабельных линиях применяют различные защитные системы (напр. Merz & Price, Pfannkuch, Lypro и др.), к-рые дают знать о неисправности и автоматически выключают линию. Большинство предохранительных приспособлений основано на том, что при порче изоляции через испорченную часть ее получает возможность протекать ток в особый аппарат, к-рый своим действием сперва указывает на появившуюся неисправность, а когда ток возрастет вследствие увеличения неисправности, то подействует особая часть аппарата, которая выключит линию [3].



Фиг. 3.

Специальные случаи прокладки кабелей. Прокладка в зданиях м. б. выполнена в каналах или открыто. В зданиях каналы обычно устраивают в подвалах. Глубина этих каналов не превосходит 30—50 *см*, ширина же делается в зависимости от числа и толщины предназначенных к прокладке кабелей (между кабелями оставляют расстояние в 6 *см*) и во всяком случае не менее 30 *см*, чтобы иметь возможность поместить в канале ответвительные и соединительные муфты. Каналы устраиваются из кирпича, оштукатуренного цементом или покрытого деревом, а также из железобетона и закрываются сверху бетонными или железными крышками. Открытая проводка м. б. проложена горизонтально вдоль стен или под потолком; при этой проводке применяют железные или деревянные поддержки. При прокладке вдоль стены не следует кабель опускать ниже 30 *см* от пола, чтобы сохранить кабель сухим при мытье полов. Для прикрепления кабеля к стенам применяют железные или деревянные скобы (обоймы), располагаемые друг от друга на расстоянии 0,8÷2 *м*. Диам. их не д. б. меньше, чем диам. кабеля, а острые концы их не должны портить кабеля. Для кабелей, прокладываемых вертикально по стене (восходящие магистрали), необходимо обратить внимание на надежное крепление их во всех опорных пунктах. Чтобы крепление кабеля не портило его изоляции, применяют железные скобы, точно подходящие под размеры кабеля, а еще лучше, если эти скобы снабжены деревянными обоймами или целиком сделаны из дерева. При ширине скоб (обойм) в 15 *см* расстояние между ними д. б. не больше 3 *м* [2,12,13,17]. Прокладка на мостах в случае наличия на них земляной насыпи ничем не отличается от У. к. обычных подземных линий; при отсутствии земляной насыпи У. к. производится вдоль конструктивных элементов моста в трубах, особых ящиках или без них. В обоих случаях д. б. приняты специальные меры предосторожности против повреждений кабеля при перемещениях ($t°$-ных изменениях длины) моста. Прокладка в туннелях, шахтах и штольнях д. б. выполнена с учетом возможных перемещений породы. У. к. производят открыто вдоль стен на скобах (как в зданиях) или в специальных (деревянных) кожухах, располагаемых вдоль стен или в особых канавах у стен. Во всех случаях, когда возможна нагрузка кабеля на растяжение, применяют кабели с броней из круглой или фасонной проволоки [12,13,15,17]. В случае необходимости проложить тяжелый кабель вертикально на значительную высоту (например шахты, колодцы и пр.) барабан с кабелем устанавливают внизу. Кабель, привязанный к канату достаточной прочности, тянут наверх. При этом необходимо соблюдать большую осторожность, ибо в случае аварии будет не только испорчен кабель, но и произведены

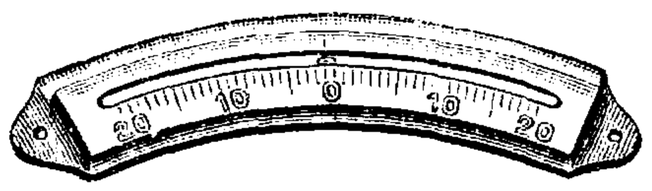
большие разрушения. После того как кабель подтянут, его крепят скобами, начиная снизу [12,13,17]. У. к. для подводных линий сильных токов осуществляется так же, как и для подводных *линий связи* (см.) [12,13,16,17]. См. также *Сети телефонные* и *Сети электрические*.

Лит.: 1) AEG, Электричество как источник света и силы, 2 изд., Берлин, 1930; 2) Кулешов Б., Монтаж и прокладка кабельных линий, М.—Л., 1933; 3) Руководство Сименса, Электрическое оборудование световых и силовых установок, Берлин, 1924; 4) Соловьев П., Руководство по разделке кабелей и монтажу концевых муфт в сетях с рабочим напряжением до 6 600 V, М.—Л., 1933; 5) СЭТ, Справ. книга для электротехников, т. 3, Л., 1928; 6) Управление московского губернского электротехника, Урочные нормы и расценки на электромонтажные работы, М., 1927; 7) Фаульф., Справочник по электротехнике, т. 1 и 3, пер. с англ., Л., 1928—29; 8) Хащинский В., Канализация электрической энергии, Сети, ч. 2, Механич. расчет, Конструкция, Л., 1926; 9) Beaver, Insulated Electric Cables, L., 1926; 10) Del Mar W., Electric Cable, L., 1924; 11) Euler A., Die bisherige Entwicklung d. Kabelendverschlüsse ohne Vergussmasse, «Siem. Ztg», B., 1931, Heft 2; 12) Klein M., Kabeltechnik, B., 1929; 13) Kyser H., Die elektrische kraftübertragung, 3 Aufl., B. 2, B., 1932; 14) Leiterverlegung bei Planung öffentlicher Strassen, «Die elektr. Wirtschaft», *511*; 15) Morton W., The Selection a. Installation of Electric Cables in Collieries, «Electrician», 1909; 16) Müller E., Das Seekabel nach Ostpreussen, «ETZ», 1921, p. 333; 17) NELA, Underground Systems Reference Book, N. Y., 1931; 18) Piazzoli E., Tecnica degli impianti elettrici per luce e forza, v. 2, parte 1, Milano, 1929; 19) Stobbings G., Underground Cable Systems, L., 1929; 20) Vogel W., Das Druckkabel, ein Fortschritt im Bau von Hochspannungskabelanlagen, «ETZ», 1932, *7*, *8*; 21) Wiarda, Moderne Arbeitsmethoden bei d. Kabelverlegung, «Mitteil. d. Ver. d. El.-Werke», 1928, p. 595.

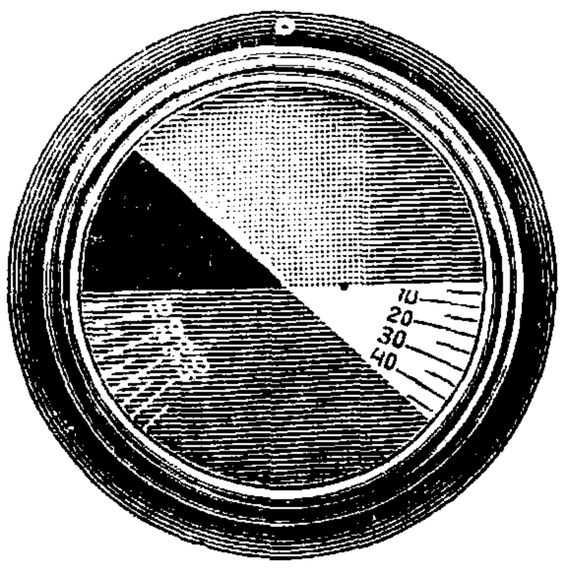
В. Хащинский.

УКЛОНОМЕРЫ, приборы, устанавливаемые на самолете для определения уклонения самолета от устойчивого положения и для измерения величины уклонов. Одним из условий наиболее устойчивого положения аппарата является совмещение вектора силы тяжести или веса аппарата с плоскостью его симметрии, а при вираже совмещение с той же плоскостью равнодействующей силы тяжести и центробежной силы. Если во время полета самолет сильно уклоняется от своего устойчивого положения в поперечной плоскости, то он будет скользить на крыло. Поэтому при управлении самолетом важно знать, в каком положении находится самолет относительно сил, действующих на него, и насколько далек от критического положения—перехода на крыло. Положение вектора равнодействующей силы тяжести и центробежной силы относительно самолета вполне определится, если известны поперечный и продольный уклоны самолета, т. е. углы, образуемые поперечной и продольной регулировочными линиями с плоскостью, перпендикулярной к равнодействующей. Приборами, служащими для определения уклона, кроме У. могут служить балансиры, которые показывают наличие поперечного уклона самолета и его направление или же только переход поперечного уклона через некоторый определенный угол, давая т. о. указания для поперечной балансировки аппарата. При полетах в облаках или в туманную погоду, когда пилот не видит земли, ему необходимы для более уверенного управления самолетом приборы, к-рые заменяли бы ему вид горизонта земли и указывали положение самолета относительно ее. Такими приборами д. б. кренометры—приборы, определяющие направление и величину кренов, т. е. наклонов самолета относительно горизонтальной плоскости (см. *Курсодержатель*). Эти приборы называются также иногда абсолютными У., в противоположность обыкновенным У., которые в этом случае называются относительными. У. представляют по существу те же балансиры, но измеряющие в градусах уклоны самолета от наиболее устойчивого положения, т. е. от того положения, когда вектор равнодействующей силы тяжести и центробежной силы перпендикулярен к основной плановой плоскости самолета.

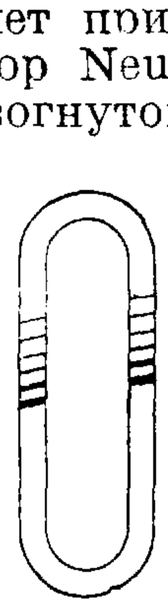
Одним из распространенных У. является поперечный англ. У. типа «Эллиот» (фиг. 1), состоящий из равномерно согнутой стеклянной трубки, заполненной глицерином, с находящимся внутри ее пузырьком воздуха. Трубка вставлена на гипсе в металлическую оправу, на которой нанесены деления в градусах от 0 до 20°. Для самолетов, предназначенных для фигурных полетов, изготовляются уклономеры с делениями до 90°. На фиг. 2 изображен поперечный У. сист. «Герц». Он состоит из двух стеклянных дисков, представляющих как бы стенки плоской коробочки, до половины заполненной темной жидкостью. Задняя непрозрачная стенка выкрашена в два цвета (внизу белый и наверху черный), разделенных между собой горизонтальной прямой линией. На белом фоне задней стенки нанесены по бокам градусные деления через 5°. В обычном положении темная жидкость в приборе покрывает всю нижнюю белую половину задней стенки. При уклонах же самолета показывается с одной стороны белый сектор нижней стенки, величина которого, измеренная в градусах, определяет уклон самолета. U-образные трубки, заполненные цветной жидкостью, также могут служить для измерения уклонов самолета. Обычной формы U-образная трубка (фиг. 3) является недостаточно удобной в том отношении, что имеет, так же как У. сист. «Герц», небольшой масштаб шкалы. Наиболее удачное решение задачи представляет прибор Neuber и Weise. Прибор Neuber'а (фиг. 4) состоит из изогнутой в виде восьмерки стеклянной трубки с утолщением в нижней половине ее. Нижняя половина заполнена тяжелой жидкостью (ртутью), поверх к-рой находится окрашенный спирт в равном количестве с обеих сторон. При наклонах самолета благодаря наличию двух жидкостей различной плотности разность уровней значительно увеличивается. Прибор Weise (фиг. 5) состоит из двух кольцеобразных трубок, поставленных рядом, благодаря чему две рядом стоящие части трубок показывают значительную разницу уровней.

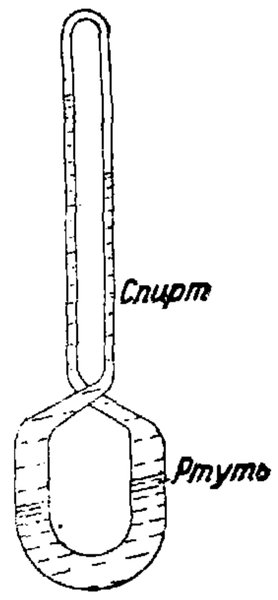


Фиг. 1.



Фиг. 2.

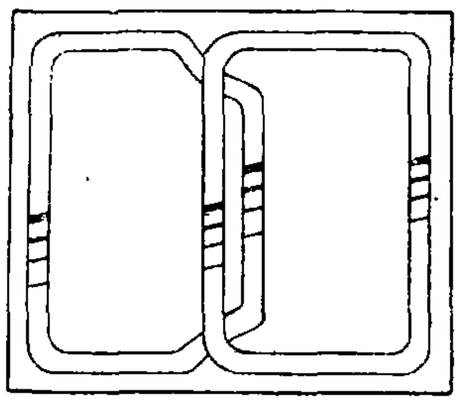

Фиг. 3.



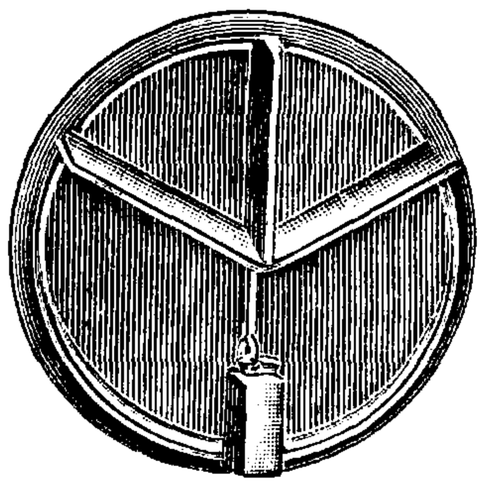
Фиг. 4.

Тип маятникового У. представляет прибор Sperry, показанный на фиг. 6. У. сист. Badin, представляющий собой тип продольного У.

(фиг. 7а, 7б), состоит из небольшого цилиндрич. резервуара *а*, соединенного трубкой *б* с коробочным манометром. На аппарате манометр устанавливают на доске перед пилотом, а резервуар—в хвостовой части аппарата на одной высоте с манометром при установке самолета

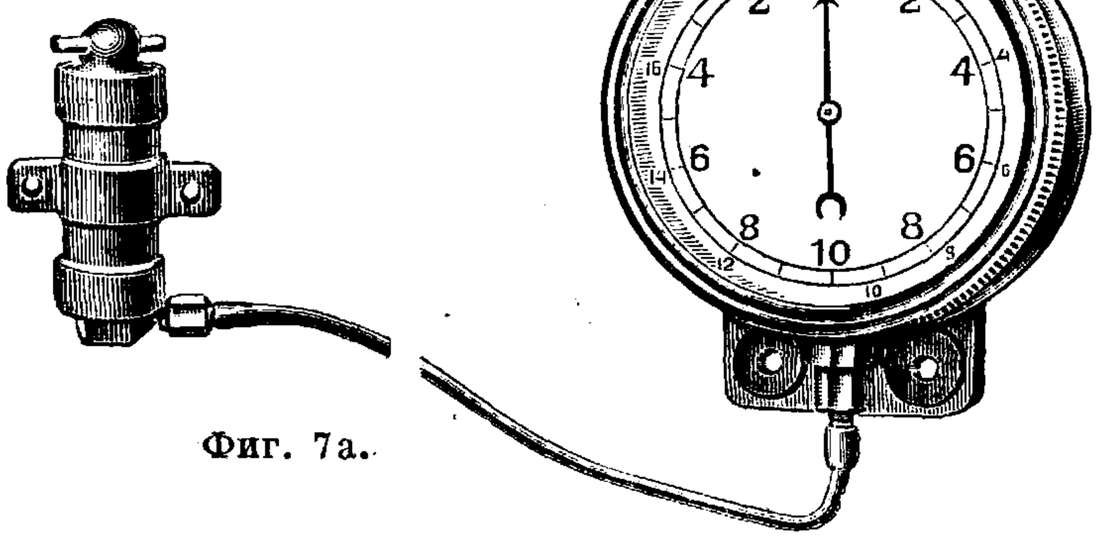


Фиг. 5.



Фиг. 6.

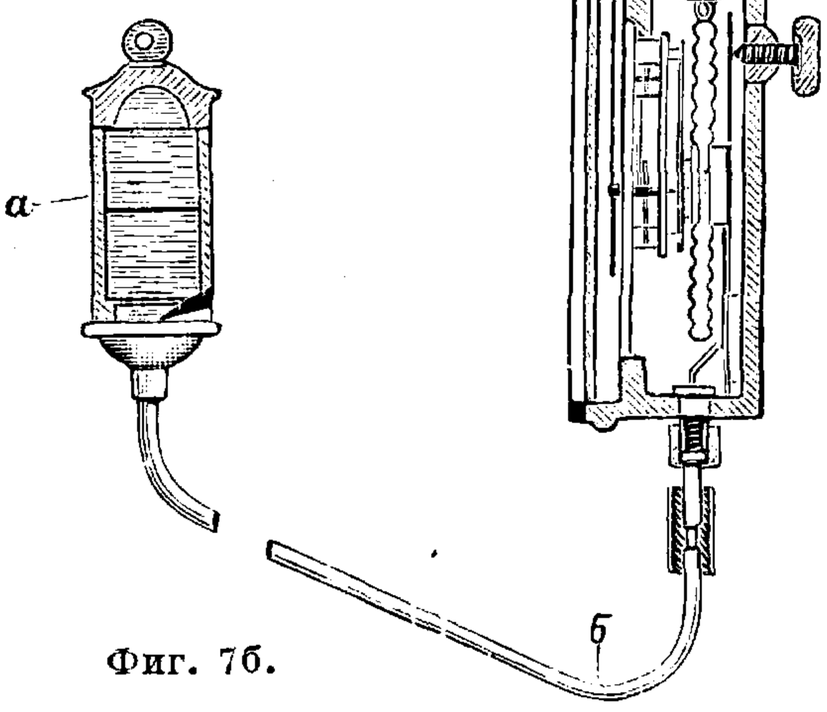
в линию полета. Манометрич. коробку, трубопровод и резервуар заполняют керосином, пока жидкость не достигнет краев отверстия для пробки, и завинчивают пробку. Стрелку манометра при горизонтальном положении самолета ставят на нуль регулировочным винтом. Действие прибора состоит в том, что при продольных наклонах самолета будет



Фиг. 7а.

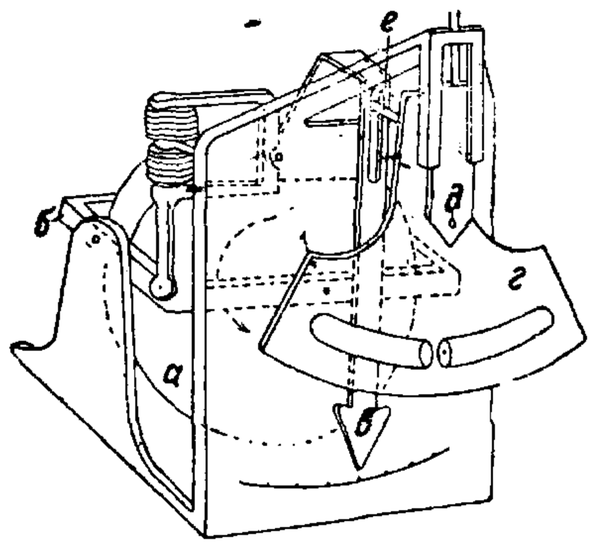
изменяться давление в коробке манометра показателя, стрелка которого будет отмечать эти уклоны.

Особую конструкцию прибора представляет собой прибор инж. Дрекслера (фиг. 8), в к-ром соединены три показателя: устойчивости, по-

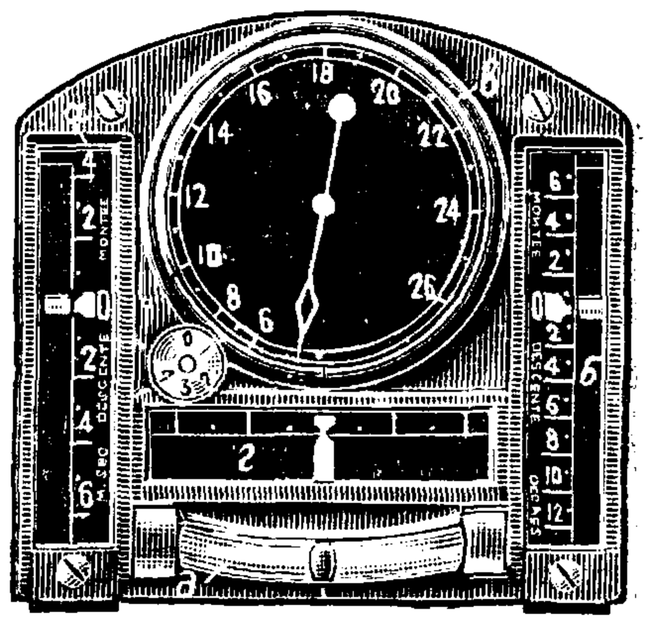


Фиг. 7б.

ворота и скорости полета. Прибор состоит из коробки с механизмом показателей и генератора тока с пропеллером. Устройство жироскопического указателя поворота изображено на фиг. 8, где *а*—жироскоп, помещенный в раме *б*, вращающейся на горизонтальной оси, перпендикулярной к оси жироскопа. Благодаря такой установке всякий поворот прибора в горизонтальной плоскости заставит ось волчка вместе с рамою наклониться в ту или другую сторону в зависимости от направления поворота. Это движение рамы совершается с некоторым сопротивлением, оказываемым пружинящим приспособлением. Движения рамы сообщаются соединенной с рамой стрелке *в*. Отклонение стрелки в приборе происходит только в момент поворота, и через 10—15 секунд после поворота пружинящее приспособление поставит раму с жироскопом в прежнее положение относительно всей установки. Кроме указателя поворота в приборе Дрекслера имеется показатель поперечной устойчивости в виде равномерно изогнутой стеклянной трубки, в которой катается стальной шарик-указатель. Для смягчения движений шарика стеклянная трубка заполнена глицерином. Металлич. доска *г*, на к-рой находится У., подвешена на оси в точке *д* к медной пластинке, могущей передвигаться вверх или вниз. Находящимся на задней стороне верхней части доски *г* штифтом *е* можно регулировать установку как для быстроходных машин, так и для больших грузоподъемных самолетов. Для установки У. на самолете следует установить аппарат в линию полета при соблюдении поперечной горизонтальности его. При таком положении самолета показатели балансиров и У. должны быть в положении нуля. Продольный У. должен быть параллелен плоскости симметрии самолета. На фиг. 9 дан комбинированный прибор для контроля над отдельными элементами режима полета, где *а* — варисметр (прибор для определения вертикальной скорости полета), *б*—продольный У., *в*—указатель скорости полета, *г* — указатель крена, *д*—поперечный У. К конструкции, подобно прибору системы Дрекслера (фиг. 8), относится автоматич. прибор Сперри, служащий одновременно не только для определения, но и для сохранения курса самолета, а также и для продольной и поперечной устойчивости. Данный прибор применяется на самолете для автоматич. управления им.



Фиг. 8.



Фиг. 9.

Лит.: Немчинов В., Авиационные приборы, М., 1926; Молчанов П., Методы и приборы современной аэронавигационной службы, Л., 1924; Пебарт Д. и др., Проверка, регулировка, ремонт и монтаж авиационных приборов, М., 1931; Коренев Г., Краткая теория гироскопа и гироскопич. приборов, М., 1932; Hunt L., Aeronautic Instruments, Wsh., 1923; Stewart C., Aircraft Instruments, 1930; «L'Aéronautique», Paris, 1930, *135*.

А. Знаменский.

УКРЕПЛЕНИЕ ОВРАГОВ, работы, преследующие цель прекращения роста оврагов. Этим работам предшествуют изыскания, долженствующие охарактеризовать самый овраг, причину его роста, его водосборную площадь и бассейн.

Водосборная площадь овpага характеризуется ее величиной, уклоном по оси оврага и по линиям главных стоков воды к оврагу, про-

тяжением, определяемым длиною линии, проводимой от устья оврага до самой дальней точки водосбора, и средней шириной водосбора, определяемой делением площади водосбора на длину. Бассейн оврага характеризуется его глубиною и объемом, породами, слагающими овраг, в отношении их размываемости водою, влагоемкости и водопроницаемости, и растительным покровом. Для выяснения элементов водосборной площади и бассейна оврага производят геодезич. съемку и нивелировку и составляют план оврага с горизонталями прилегающей местности, а также продольный и поперечные профили оврага. Затем делают геологическое исследование, шурфование и бурение дна оврага и, насколько возможно, его бассейна, описание сложения берегов и т. п. После всех этих предварительных работ приступают к составлению плана работ по У. о. Дабы остановить рост оврага, прибегают к трем основным видам технических работ: 1) регулированию стока воды; 2) облесению оврагов; 3) выполнению различных гидротехнич. работ на оврагах. Помимо этих работ необходимо принимать мероприятия, предупреждающие развитие оврагов. К таким мероприятиям относятся запрещение рубки леса и кустарника в районах оврагов, производство распашки приовражья поперек склонов, а не вдоль их, не производя таковой совсем на крутых склонах, запрещение пастьбы скота на крутых склонах со слабыми почвами, проведение по склонам каналов и дорог в связи с гидротехнич. сооружениями для отвода воды (лотками, перепадами и т. д.).

Регулирование стока воды. В большинстве случаев образованию оврагов способствует нарушение условий равномерного стока воды с поверхности склонов. Причиной такого нарушения является в частности распашка склонов по уклону, влекущая за собою превращение борозд в промоины, а затем и в овраги. Неравномерный сток способствует одновременно большому смыву почв, в результате чего получаются бросовые земли, не дающие урожаев или дающие их в малых размерах.

Расчетные нормы стока воды для У. о. могут быть определены по ф-ле:

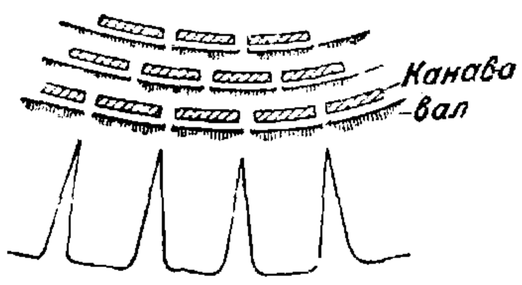
$$q = 10\,000\, m \cdot k,$$

где q—сток с *га* за час в $м^3$, m—слой воды, выпавшей при ливне, в *м*, k—коэф. стока, зависящий гл. обр. от длины водосборной площади оврага и его продольного уклона, причем уклон считается от водораздела до вершины оврага. При длине водосбора L до 3,5 *км* и при уклоне водосборной площади 0,20—0,005 коэф. k варьирует в пределах 0,95—0,25; при $L = 3{,}5$—7 *км*, $k = {}^3/_8 - {}^2/_8$; при $L = 7 - 10{,}5$ *км*, $k = {}^3/_{16}$; при $L = 10{,}5 - 14$ *км*, $k = {}^2/_{16}$; при $L = 14$—17,5 *км*, $k = {}^1/_{16}$. Для регулирования стока рекомендуются следующие мероприятия: а) мероприятия по задержанию поверхностных сточных вод на склонах путем сооружения искусственных преград (валы, канавы, прерывистые борозды и пр.) и путем создания условий просачивания снеговых вод в грунт (создание на склонах непромерзающих полос); б) мероприятия по замедлению стока вод: путем искусственного уменьшения уклона склонов (террасирование склонов); путем распыления больших струй воды на мелкие (уничтожение канализирующего влияния границ землепользования, уничтожение канализирующего микрорельефа) и путем увеличения шероховатости склонов (постоянные и временные луговые и травяные полосы); в) мероприятия по сохранению и регулированию влаги на склоне путем снегорегулирования (борьба с заносами и выдуванием) и путем ветрозащиты (борьба с испарением); г) мероприятия культуртехнические на бросовых площадях.

Облесение оврагов. Лес своими корнями сдерживает почву и не дает ей размываться водой, защищает поля и другие угодия от сухих и холодных ветров, ослабляет силу последних, задерживает снег, замедляет таяние его весною и способствует усиленному просачиванию влаги в почву. Облесение оврага производится разными породами в таком последовательном порядке: лиственница, дуб, ясень, вяз, клен, ель, пихта, ольха. Посадку производят 1—3-летними сеянцами в ямки через 1,5—2 *м* линия от линии и через 0,35—1,5 *м* одна ямка от другой по каждой линии, с чередованием одних пород с другими. По крутым склонам посадку делают на сделанных предварительно уступах, или террасах. Посаженные весною деревца обкладывают камнями в целях сохранения влажности и защиты от вымывания. Для скорейшего получения древесной растительности заделывают в землю корневые черенки осины. Против порчи молодых древесных насаждений скотом делают жердевые изгороди или обводные канавы, засаженные ивняком.

Гидротехнические работы на оврагах. В тех случаях, когда регулированием стока и облесением оврагов не достигается желаемых результатов, прибегают к гидротехническим работам. К таковым относятся: а) устройство валов с канавами для задержания воды на водосборной площади или отвода в сторону; б) устройство водохранилищ для задержания в оврагах всей или части стекающих вод; в) устройство перепадов, водосливов, лотков, водобойных колодцев для закрепления частей оврага; г) устройство ряда заграждений в воде, запруд и перемычек с целью заиления оврага; д) террасирование склонов с целью предупреждения смывания почв со склонов при сильном стоке воды.

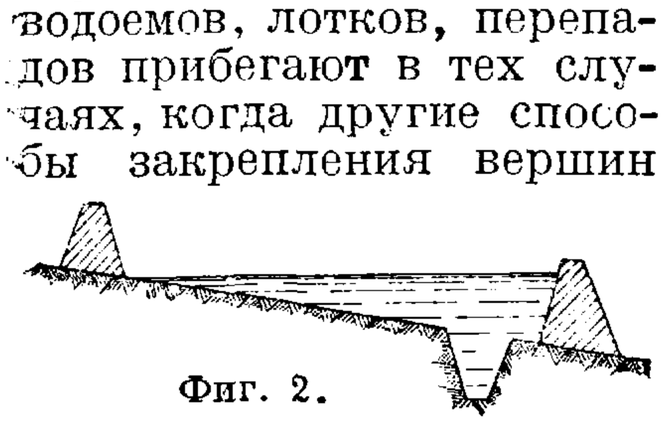
Валы с канавами (рвами) для задержания воды на водосборной площади устраивают по горизонталям на склонах к оврагу (в приовражьи), примыкая валы к несколько повышенным местам. Число водосборных канав д. б. таково, чтобы вся вода, подходящая к оврагу, задерживалась в канавах и перед валами, просачиваясь в грунт. Канавы делают обыкновенно прерывистыми, оставляя через каждые 10—20 *м* перемычки в 3—5 *м* (фиг. 1), чтобы в случае прорыва в одном месте опорожнилось только небольшое протяжение канав. Для стока невместившейся воды устраивают понижения в валах на 0,13—0,25 *м* от гребня, обложенные дерном шириной в 2—4 *м*. Канавы (фиг. 2) делают глубиною 0,6—1,2 *м* с шириной по дну 0,4 *м*. Валы имеют высоту 0,6—0,9 *м* и одиночные откосы, засеваемые травами. При отводе воды канавами или валами (фиг. 3) от головы оврага и его разветвлений необходимо рядом иметь водосток для устройства канала для отвода воды по уклону



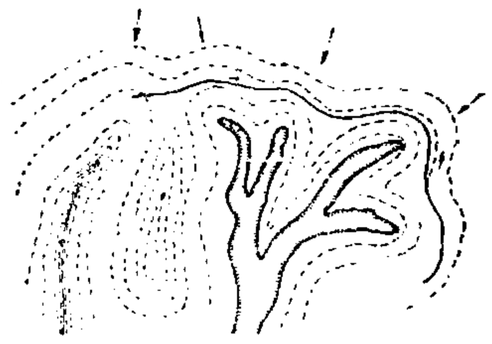
Фиг. 1.

ок. 0,001; устройство трассы канала не должно при этом повлечь больших земляных работ, и трасса канала не должна проходить по ценным угодьям (садам, усадьбам и пр.). Размеры каналов в последнем случае рассчитываются сообразно с количеством подлежащих пропуску через них вод.

При устройстве водохранилищ сооружают *плотины* (см.) из различных материалов сообразно с местными условиями. К устройству водоемов, лотков, перепадов прибегают в тех случаях, когда другие способы закрепления вершин

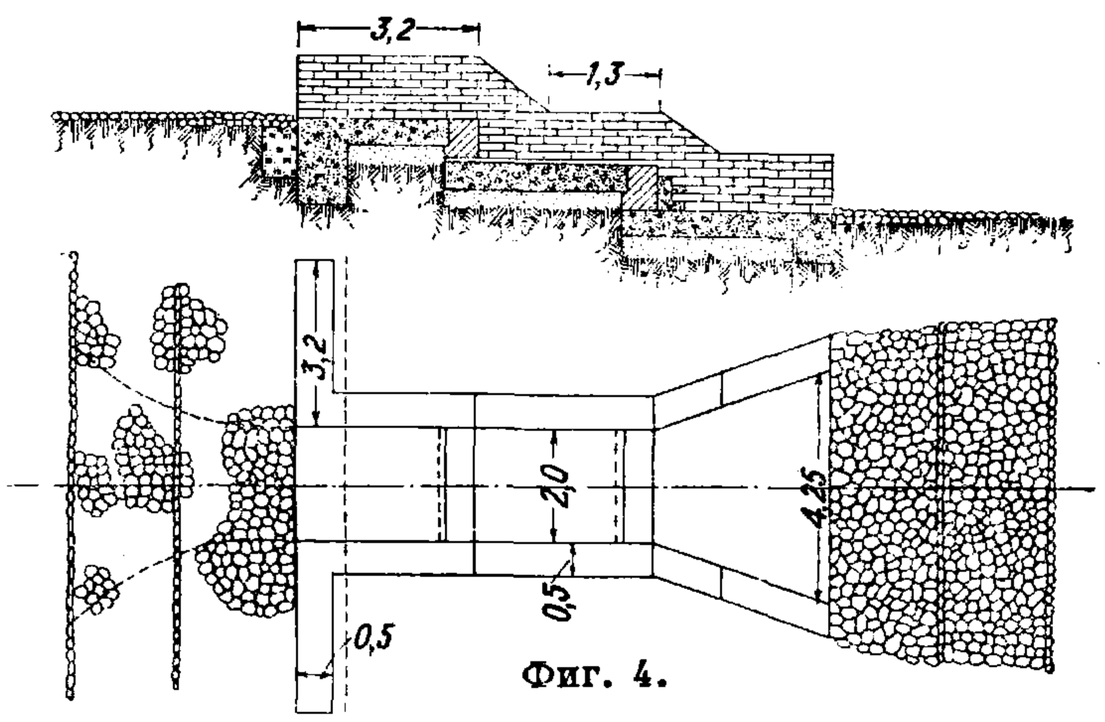


Фиг. 2.

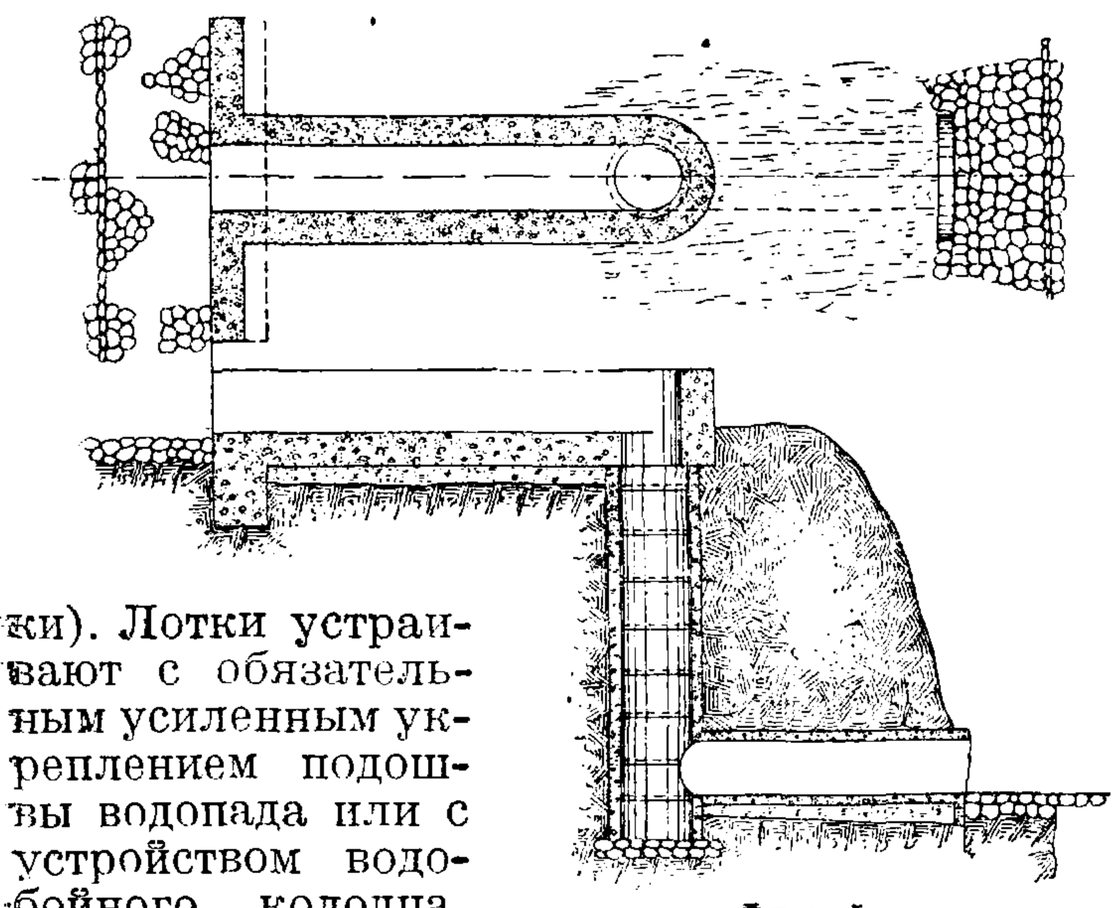


Фиг. 3.

оврага неприменимы, например около построек и дорог, у мостов и плотин и в подобных случаях. Лотки служат для собирания стекающей к оврагу воды к одному месту и спускания ее на дно оврага. Лотки устраиваются в тех случаях, когда вода подходит к оврагу сильными естественными потоками. Лотки могут быть мощеные или сделанные из дерева, бетона или камня. В конструктивном отношении они могут иметь общий наклон (наклонные лотки) или м. б. уступчатыми (уступчатые лотки). Лотки устраивают с обязательным усиленным укреплением подошвы водопада или с устройством водобойного колодца. Лотки м. б. комбинированы с *перепадами* (см.). В определенных случаях лоток м. б. заменен каменной или кирпичной отвесной стенкой, через которую вода переливается и падает вниз на прочный каменный пол. *Водослив* (см.) устраивают обыкновенно с перепадами (фиг. 4), а иногда

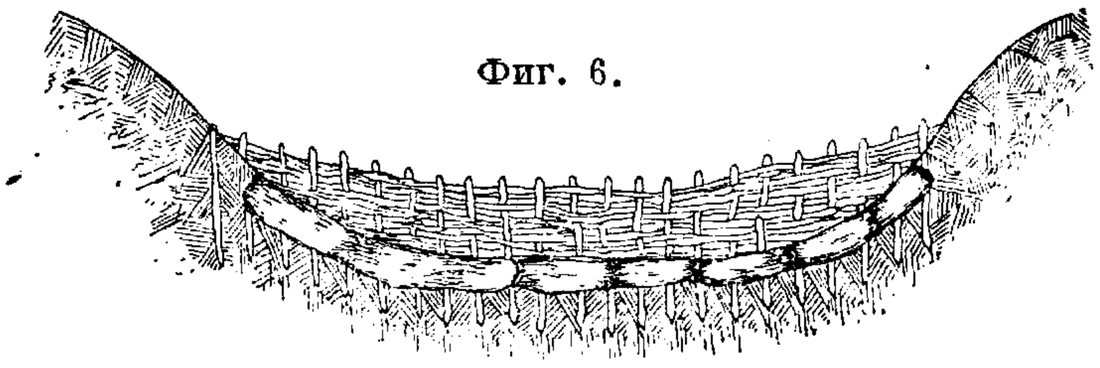


Фиг. 4.



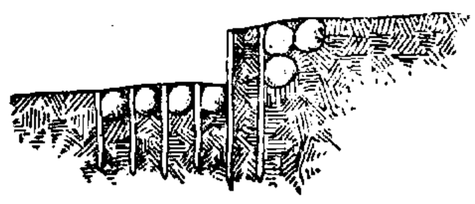
Фиг. 5.

с водобойным колодцем (фиг. 5). Материалом для водосливов могут служить дерево, камень, бетон и пр. Для уменьшения уклона ложа оврага м. б. устроены простейшего вида



Фиг. 6.

перепады, плетневые (фиг. 6) или фашинные (фиг. 7), причем высота ступеней д. б. не свыше 0,6—0,8 *м*. При образовании промоины ее засыпают камнем или заполняют хворостом вершинами против течения воды, прижимая хворост поперечинами, к-рые закрепляют вбитыми в дно оврага кольями. При крупных промоинах на них устанавливают поперечные плетни на ивовых кольях с подкладкою под плетень продольного слоя хвороста во избежание подмыва под плетнем или укладывают на промоине *фашины* (см.). Вместо ивовых запруд могут быть по дну промоины устроены запруды из камня, бревен и досок. Всякий закрепленный гидротехническими приемами овраг должен быть облесен или засеян травой. Террасы могут быть с горизонтальными или наклонными ступенями и образованы горизонтальными или наклонными валами. Террасирование особенно применимо при больших склонах. Террасы закрепляются дерном, камнем и тому подобным материалом.



Фиг. 7.

Использование гидротехнич. сооружений, произведенных с целью закрепления оврагов, зависит от вида произведенных работ. Так например, пруды м. б. использованы для целей обводнения или орошения и рыборазведения, водосборные канавы—для увлажнения почвы, террасирование склонов—для разведения различных древесных и кустарниковых пород и прочих целей. Гидротехнич. сооружения на оврагах требуют постоянного надзора и периодического ремонта.

Лит.: К е р н Э., Овраги, их закрепление, облесение и запруживание, 8 изд., М.—Л., 1928; е г о ж е, Пески, их природа и борьба с ними, 3 изд., М., 1925; М а с а л ь с к и й В., Овраги черноземной полосы России, их распространение, развитие и деятельность, СПБ, 1897; Г е л ь ф е р А., Овраги и борьба с ними, СПБ, 1902; Б е р н а ц к и й Н., Об укреплении овражных вершин, «Лесной журнал», 1906; Д у б а х А., Сельскохозяйственная мелиорация, 2 изд., М.—Л., 1931; П е р м я к о в Н., Водно-земельные мелиорации, М., 1932; К о з м е н к о А., Пути разрешения овражной программы, «Мелиоративное дело», 1930, *4—5*; Инструкция Наркомзема РСФСР для производства гидротехнич. работ по укреплению оврагов, М., 1930.

С. Брилинг.

УКСУС, разбавленный водный раствор *уксусной кислоты* (см.), употребляемый в пищевых целях; приготовляется уксуснокислым *брожением* (см.) этилового спирта. Способ получения У. обусловливает присутствие в нем кроме уксусной к-ты особых ароматич. веществ (в зависимости от исходного сырья), придающих ему специфич. запах и вкус.

У. получают из *солода* (см.) и отходов виноделия и фруктов. Технологич. процесс получения чистого солодового У. состоит из трех операций: з а т и р а н и я—экстрагирования солода водой, в результате чего крахмал превращается в сахар; ф е р м е н т а ц и и, т. е. превращения сахаров в спирт и углекислоту; о к и с л е н и я спирта в уксусную к-ту. Измельченный солод

в месильной машине перемешивается с горячей водой и затем поступает в деревянный заторный чан, снабженный специальным приспособлением для размешивания жидкости. Этот чан оборудован особым змеевиком, посредством к-рого идет дальнейший подогрев затора. После размешивания этой жидкости и пребывания ее в спокойном состоянии в течение нескольких часов весь затор спускается в нижний бак, из к-рого через холодильник поступает в чан для брожения уже с $t°$ 30—35°. В бродильные чаны задаются дрожжи, и сахар сусла превращается в спирт. Процесс брожения продолжается ок. 7 дней. По окончании процесса брожения бражка (содержащая ~ $6^1/_2$% спирта) хранится в особых чанах в течение нескольких недель. Во время хранения в бражке идет процесс *этерификации* (см.). Образование эфиров улучшает качество У. Окисление спирта бражки проходит в особых чанах с двойным дном—ферментаторах, заполненных стружкой или березовыми ветками между вторым дном и крышкой чана. Бражка поступает в чан сверху вниз через стружку, залитую дрожжами. Навстречу стекающей бражке снизу подается воздух. Подача бражки и воздуха в ферментатор строго регулируется и определяется из расчета превращения в У. спирта бражки. У. стекает на первое дно чана и оттуда перекачивается в особую посуду. Далее У. подвергается фильтрации на фильтрпрессе в виде фильтровальных пластинок, состоящих из центрального решета с укрепленной на нем бумажной массой, устанавливаемых на рамах. Фильтр дает стерильный и прозрачный У. Профильтрованный У. имеет слабый соломенно-желтый цвет. Обычно У. подкрашивают жженкой (жженым сахаром). Уд. в. У. 1,0155; состав солодового У. следующий: уксусной к-ты 5,1—6,1%, всех твердых веществ 1,7—2%, белков 0,4—0,9%, золы 0,2—0,3%, фосфорного ангидрида 0,04—0,10%, спирта 0,2—0,5%, связанных к-т 0,4% (органические к-ты, гл. обр. виннокаменная и янтарная).

Виноградные выжимки, прокисшее вино, поврежденные фрукты также являются сырьем для получения У. Виноградные выжимки, разбавленные водой, подвергают брожению, и образовавшийся спирт в результате уксуснокислого брожения превращается в У. Перебродившую жидкость фруктовых и ягодных отходов пропускают также через ферментаторы. Навстречу стекающей жидкости идет струя воздуха, попадающая в чан через косые отверстия в стенках чана, к-рые просверлены несколько выше ложного дна. Кислород воздуха при содействии энзимов уксуснокислого брожения превращает эту жидкость, содержащую этиловый спирт, в У., который собирают в нижней части чана между дном и дырчатым дном. Темп-ра процесса проверяется; в случае падения $t°$ процесс образования У. приостанавливается; в таком случае стружка промывается несколько раз горячей водой, и затем производство возобновляется вновь. Полученный У. подвергают фильтрации. Т. о. технологич. процесс производства У. в данном случае состоит из: сбраживания сахара, окисления спирта, фильтрации и выдержки У. 100 *кг* спирта дают 130 *кг* У., вследствие чего У. может приобрести ядовитые свойства.

У. следует сохранять в стеклянной или фарфоровой посуде, т. к. медная, латунная, эмалированная или глазурованная посуда подвергается разъедающему действию уксусной к-ты.

Лит.: Ковалев М., Перспективы производства синтетической уксусной к-ты, «Химия и хоз-во», М., 1932, *11/12*; Freise F., Herstellung von Essig aus den Fruchtschalen des Kaffels, «Die deutsche Essigindustrie», B., 1931, B. 35, p. 169—171; Improving the Aromatic Qualities of Vinegar, «The Fruit Product Journal», N. Y., 1931, v. 10, *9*, p. 278; Kreipe H., Wie entsteht der Gärungsessig, «Fische u. Fischwaren», 1932, *16*, p. 229—331, *17*, p. 244—45, *18*, p. 264—65; Wüstenfeld H. u. Luckow C., Versuche über die Wiederstandsfähigkeit verschiedener Materialen in Essig u. Essigdünsten, «Die deutsche Essigindustrie», B., 1927, B. 31, p. 51—58, 65; «Ztschr. für Untersuchung der Lebensmittel», B., 1931, B. 72, *6*, p. 676; Warren B. a. Lochlan F., «Food Manufactur», 1932, v. 6.

В. Мунтян.

УКСУСНАЯ КИСЛОТА, $CH_3 \cdot COOH$, бесцветная жидкость с острым запахом. Безводная, так называемая ледяная, У. к. замерзает при 16,55—16,6°; водные растворы замерзают при более низких темп-рах (табл. 1). При плавлении ледяной У. к. объем возрастает в 1,16 раза; теплота плавления 46,4 cal/*г*; $t°_{кип.}$ 118,1°; теплота испарения 84 cal/*г* при 20° и 97,05 cal/*г* при $t°_{кип.}$. Состав пара при кипении водных растворов У. к. различных концентраций см. табл. 2. Уд. в. чистой безводной У. к.

Табл. 1.—Температуры замерзания водных растворов У. к.

%	$t°$	%	$t°$
96	10,17	99,2	15,12
96,5	10,99	99,4	15,47
97	11,81	99,6	15,84
97,5	12,52	99,8	16,28
98	13,25	99,9	16,51
98,5	14,01	100	16,75
99,0	14,80		

Табл. 2.—Кипение смеси У. к.—вода при 760 *мм*.*

$t°$	Мол. %		$t°$	Мол. %	
	в жидкости	в парах		в жидкости	в парах
100	0	0	104,33	50	31,0
100,5	10	6,3	105,78	60	43,0
101,18	20	12,2	108,95	75	60,0
102,05	30	18,5	111,85	85	73,8
103,15	40	26,0	118,10	100	100

* Поварнин — Марков.

1,0553; уд. в. водных растворов У. к. возрастают по мере повышения концентрации, достигают максимума при содержании 77—80% У. к. (уд. в. 1,0748) и затем вновь падают. Средняя теплоемкость для жидкой У. к. 0,5265, для паров 0,4008; $t°_{крит.}$ 321,5°. У. к. принадлежит к числу слабых электролитов. Константа диссоциации $^1/_1N$ водного раствора У. к. при 18° $k = 1{,}82 \cdot 10^{-5}$. Молекулы У. к. в водных растворах в значительной степени ассоциированы, в парах—менее ассоциированы.

Получение У. к. Важнейшие способы производства У. к.: 1) лесохимич., 2) синтетич. и 3) окисление этилового спирта в присутствии бактерий. 1. Лесохимический способ. По этому способу У. к. получается при сухой перегонке дерева (см. *Дерево*, сухая перегонка) и сгущается вместе с летучими смолами, образуя «подсмольную воду». Из последней после отстаивания от смолы получают метиловый спирт и У. к.

Добывание У. к. и метилового спирта из хвойных пород невыгодно. Поэтому на Урале, где леса состоят на 95% из хвойных пород, несмотря на большие размеры углежжения с целью выплавки чугуна подсмольные воды не использовались. Такое же явление наблюдает-

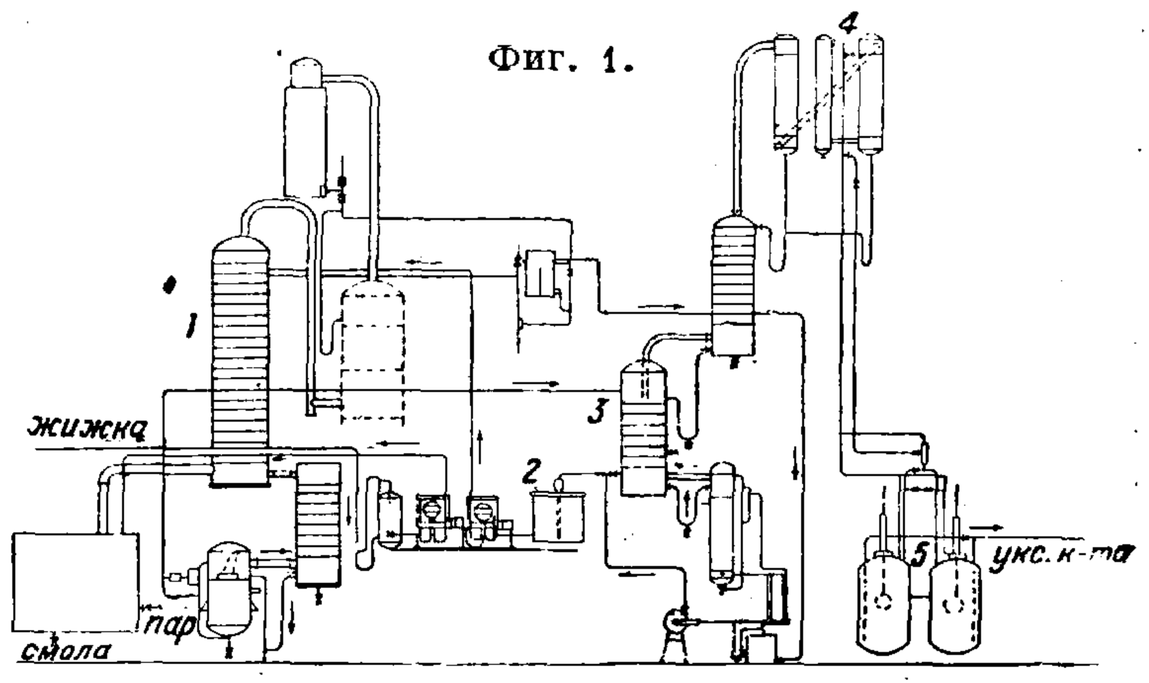
ся в Швеции. Добывание У. к. из «древесной жижки», получаемой при сухой перегонке, сводилось до недавнего времени к получению из жижки древесного порошка с тем или иным содержанием уксуснокислого кальция. За границей этот метод почти изжит, вместо него применяются новые, более рентабельные методы—экстракционные. В СССР до последнего времени У. к. получалась через древесный порошок, и только в 1932 г. построены з-ды Ашинский и Сявский по получению У. к. из жижки экстракционным методом.

Древесный порошок получается из жижки сл. обр. (см. *Дерево*, сухая перегонка): в медном кубе жижка обогревается паром, и пары ее поступают последовательно в другие кубы с известковым молоком. В этих кубах У. к. связывается, образуя раствор ацетата кальция, к-рый выпаривается затем досуха в чренах, а проскакивающие пары ацетона и метилового спирта поступают в холодильник и конденсируются. Обычный серый порошок содержит 80—82% уксуснокислого кальция, 4% влаги, 10% кристаллизационной воды и 4% неорганич. и органич. примесей. Вырабатываемый на нек-рых наших з-дах черный порошок содержит 59—61% ацетата кальция. Уксусный порошок разлагается потом в чугунных котлах конц. к-тами—серной или соляной. Отсюда отгоняется примерно 70%-ная У. к., которая подвергается затем ректификации в колоннах для получения ледяной У. к. Указанный способ получения У. к. дорог и страдает серьезными недостатками, т. к. его применение связано с большими затратами тепла на выпаривание уксуснокислого кальция, на разложение порошка, на концентрирование слабых погонов У. к., получающихся при ректификации, и с расходованием минеральных к-т. Только новые методы экстракции У. к. непосредственно из подсмольной воды спасли лесохимич. метод от полного вырождения перед лицом сильного конкурента—синтетического метода.

Экстракционные методы заключаются в том, что жижка подвергается обработке растворителями, извлекающими У. к., причем растворитель регенерируется. По методу Брюстера жижка обрабатывается на холоду легкими растворителями: этиловым эфиром ($t°_{кип.}$ 34,5°) или уксусноэтиловым эфиром ($t°_{кип.}$ 77°) [1]. После экстракции растворитель отгоняется, и получается 70—75%-ная У. к. Смешение жижки и растворителя производится в высоких колоннах (20—25 *м*), наполненных кольцами Рашига или другой насадкой. Целесообразно вести процесс экстракции по принципу противотока; установка для этой цели состоит из батареи смесителей: в первый смеситель поступает растворитель, а в последний—жижка, к-рая последовательно проводится через ряд смесителей. Обедневшая жижка встречается в первом смесителе со свежим растворителем, где экстрагируются последние остатки кислоты. Для уменьшения растворимости воды в растворителе к последнему прибавляют углеводороды. Недостатком метода является потеря части растворителя вследствие его растворения в воде. Метод Брюстера применяется в Европе и США; этот же метод применяется на наших з-дах Сявском и Ашинском.

По методу Сюида в отличие от метода Брюстера применяются высококипящие растворители—крезол, смоляные масла, не растворяющиеся в воде [2]. В последнем усовершенствованном варианте [3] экстракция У. к. производится не на холоду, а из паров жижки по принципу противотока. Растворяются только пары У. к. и не растворяются пары воды и метанола. У. к. отгоняется в вакууме в виде ледяной У. к., и растворитель возвращается в процесс. По методу Сюида работают установки в Германии, Франции, Югославии и в Америке. Из экстракционных методов способ Сюида наиболее рентабелен и технически разработан

Фиг. 1.



(см. фиг. 1, где *1*—колонка, куда подаются пары жижки, из *2* подается растворитель, *3*—колонка для отгонки У. к. в вакууме, *4*—вакуум-насосы, *5*—приемник).

2. Синтетический способ заключается в окислении ацетальдегида воздухом или кислородом:

$$CH_3 \cdot CHO + \frac{1}{2} O_2 = CH_3 \cdot COOH.$$

Ацетальдегид (см.) производится в больших масштабах синтетически из ацетилена по методу Кучерова:

$$CH : CH + H_2O = CH_3 \cdot CHO,$$

а также из этилового спирта по одному из двух контактных способов:

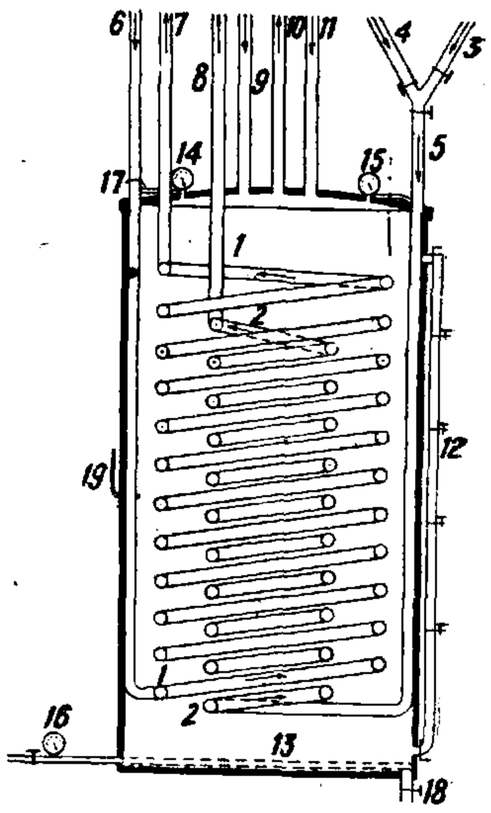
$$CH_3 \cdot CH_2OH = CH_3 \cdot CHO + H_2,$$

$$CH_3 \cdot CH_2OH + \frac{1}{2} O_2 = CH_3 \cdot CHO + H_2O.$$

Механизм окисления ацетальдегида в присутствии катализаторов не изучен: установлен факт, что при окислении в отсутствии катализаторов образуется перуксусная к-та:

$$CH_3 \cdot CHO + O_2 = CH_3 \cdot COOOH.$$

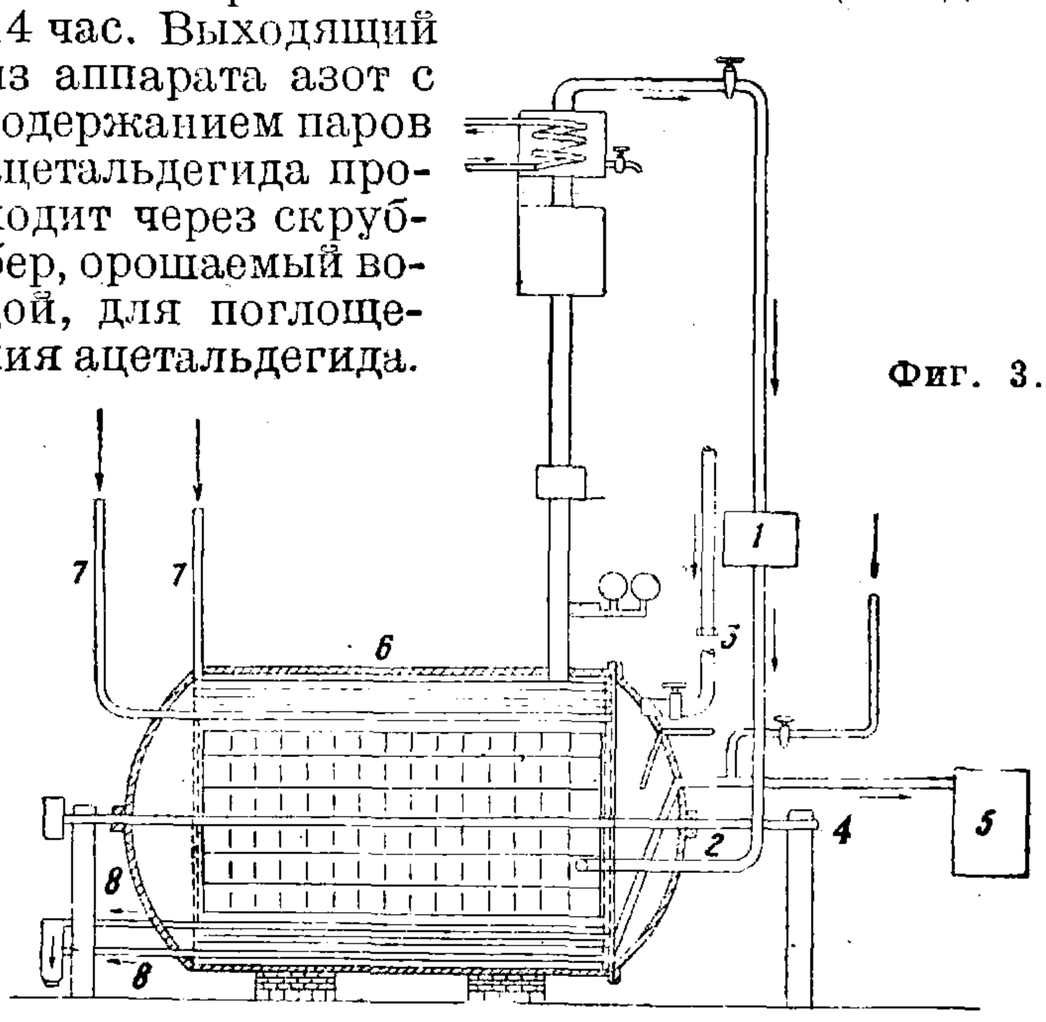
Среди различных катализаторов (солей Fe, Mn, Ni, Co, Cr), ускоряющих реакцию окисления ацетальдегида, особенно следует отметить соли Mn, в присутствии которых не происходит образования заметных количеств перуксусной к-ты и окисление протекает исключительно быстро. Большинство современных заводов применяет в качестве катализатора для получения У. к. ацетат Mn [4]. Наиболее активным катализатором является азотнокислый Mn [5]. Окисление ацетальдегида в У. к. в заводском масштабе производится по двум способам: 1) периодическому и 2) непрерывному. До последнего времени наибольшее количество синтетич. У. к. производится по первому способу. Крупнейшие установки имеются в Канаде и в Германии.



Фиг. 2.

Описание важнейших типов окислительных аппаратов периодич. действия см. [6].

Схема окислительного аппарата Канадской компании показана на фигуре 2: *1* — змеевик для охлаждения; *2*—малый змеевик для нагревания; *3*—впуск пара; *4*—впуск воды через *5* в змеевик *2*; *6*—впуск воды в змеевик *1*; *7*—выход воды из змеевика *1*; *8*—выход ее из *2*; *9*—впуск ацетальдегида; *10*—выход азота; *11*—подача катализатора; *12*—кран для взятия пробы; *13*—труба для впуска воздуха; *14*, *15*, *16*—манометры; *17*—холодильник для крышки; *18*—спускной кран; *19*—термометр. Реакционный котел сделан из железа с алюминиевой футеровкой толщ. 5 *мм*; диам. 1,65 *м*; высота 3,3 *м*; 2 алюминиевых холодильника служат для охлаждения реагирующей массы. Воздух подается через барботер, находящийся на дне сосуда. Чистый 99,8%-ный альдегид, хранящийся при 0—5°, подается в котел в количестве 4 500 *кг*. Катализатор (ацетат марганца), растворенный в У. к., подается в количестве 18—22 *кг*; затем подают немного воздуха и впускают в один из змеевиков пар для разогрева. Когда реакция начинается, впуск пара прекращают и затем регулируют $t°$ охлаждающими змеевиками, доводя ее в течение 4 час. до 60°. Давление не превышает 5 *atm*. Реакция длится 14 час. Выходящий из аппарата азот с содержанием паров ацетальдегида проходит через скруббер, орошаемый водой, для поглощения ацетальдегида.



Фиг. 3.

У. к. получается 90—92%-ная и после дистилляции доводится до 99%-ной. До 75% загруженного альдегида превращается в У. к.; 15% уносится с током азота; ок. 10% тратится на побочные реакции.

На германских заводах употребляют мешалочные аппараты. На фиг. 3 дан окислительный аппарат фирмы Meister Lucius Farbwerke (*1*—компрессор для подачи кислорода по трубе *2*; *3*—впуск ацетальдегида; *4*—труба для вывода конечных продуктов в сборник *5*; *6*—алюминиевые холодильники; *7*—впуск охлаждающей воды; *8*—выход воды). Особенностью аппарата является алюминиевая мешалка, похожая на водяное колесо. Окисление производится кислородом при 2 *atm*. Одновременно в таком аппарате окисляется 1,5 *m* ацетальдегида. В описанных выше аппаратах одновременно загружается в окислительные аппараты большое количество альдегида, вследствие чего нужны особые предосторожности для избежания взрыва, могущего произойти от образования перуксусной к-ты. Окислительный аппарат Griesheim Elektron построен в связи с этим иначе. В нем окисляется одновременно только 20 *л* ацетальдегида, после окисления которых впускают новую порцию, и так повторяют эту операцию до 20 раз, после чего охлаждают аппарат и сливают У. к. Аппарат для непрерывного окисления ацетальдегида [7] представляет собой алюминиевую колонну с насадкой. Альдегид, растворенный в У. к., циркулирует по колонне, и навстречу ему подается кислород или воздух. Теплота реакции отводится путем охлаждения водой (наружная рубашка). В нижней части колонны производится подогрев стекающей уксусной кислоты для разрушения перуксусной кислоты. Колонные аппараты спроектированы в СССР Укрхимпроектом (М. Ковалев) и Институтом им. Карпова (Каган и Морозов) на основании собственных исследований.

3. Способ окисления спирта путем брожения см. *Уксус*.

Применение У. к. У. к. находит широкое применение в быту и технике. В виде разбавленных водных растворов она употребляется в пищевых целях под названием *уксуса* (см.). В технике она употребляется в качестве сырья; в химич. пром-сти—для получения сложных эфиров (см. *Эфиры* сложные), для получения *уксусного ангидрида* (см.), применяющегося вместе с У. к. для производства ацетилцеллюлозы (см. *Волокно искусственное*), и для получения по контактному способу ацетона; в текстильной пром-сти—для получения протрав и аппретурных средств; в фармацевтич. пром-сти—для получения различных продуктов и полупродуктов (хлоруксусной к-ты, ацетина, аспирина, антипирина, фенацетина, ванилина и т. д.); в красочной пром-сти (синтез индиго и др.); в лакокрасочной (свинцовые белила и др.) и в других областях пром-сти.

Мировое производство У. к. приблизительно оценивается в 80 000 *т*. Производство синтетической уксусной кислоты в СССР—вопрос ближайшего будущего.

Лит.: [1]) Ан. П. 187603/1922; Канад. П. 247385/1925; [2]) Ан. П. 255047; Ф. П. 618954; [3]) Ф. П. 639112; Ам. П. 1624812/1920 и др. [4]) Г. П. 305550/1914 Consortium für elektrochem. Ind.; [5]) Сов. П. 84374 (1931); Каган М. и Морозов Н., Каталитич. получение ледяной уксусной кислоты из ацетальдегида, «Ж. прикл. хим.», 1932, т. 5, стр. 400; [6]) Dechiens, «Chimie et industrie», P., 1921, t. 5, p. 239, 398, 528 (обзор промышлен. методов получения ацетальдегида из ацетилена и синтетич. уксусной к-ты); [7]) Швед. П. 106776, см. «Chem. Ztrbl.», 1925, *II*, p. 763; Ковалев М., Синтетическая уксусная кислота, Харьков, 1933; Bunbury H., Die trokkene Destillation des Holzes, B., 1925; Bugge O., Die Industrie der Holzdestillationsprodukte, Dresden—Lpz., 1927; Mignonac, «Bull. Soc. chimique de France», Paris, 1921, 4 série, t. 29, p. 465; Ullm. Enz., 2 Auflage, B. 4, p. 641—665 (там же сводка патентной литературы). См. также лит. к ст. *Дерево*, сухая перегонка..

М. Каган.

Ацетаты, уксуснокислые соли и эфиры уксусной кислоты. Соли У. к. существуют средние и основные; средние соли отвечают формуле CH_3COOMe, где Me—одновалентный металл. Щелочные и щелочноземельные металлы дают средние соли; металлы большей валентности дают б. ч. основные соли. Соли У. к. легко кристаллизуются; средние соли б. ч. легко растворяются в воде; в разбавленных растворах щелочные соли нацело диссоциированы. Растворы солей слабых оснований (Fe и Al) при выпаривании и кипячении распадаются полностью на окись металла и свободную кислоту. Сильные минеральные к-ты, а также нелетучие органич. к-ты вытесняют У. к. из ее солей. Получают соли растворением окисей металлов или гидратов окисей, или карбонатов в раз-

бавленной У. к. или при помощи двойного разложения уксуснокислых солей с соответственными сульфатами. Безводные соли можно также получать из эфиров У. к. Ацетат натрия $NaC_2H_3O_2 \cdot 3H_2O$, бесцветные и без запаха моноклинные кристаллы горько-соленого вкуса; растворяется в воде со слабо щелочной реакцией при 6° в 3,9 ч., при 100° в 0,5 ч. воды, в спирте—при обыкновенной $t°$ в 23 ч. и при кипячении в 1 ч.; при нагревании (до 75°) плавится в своей кристаллизационной воде; при 120° вся кристаллизационная вода удаляется, и остается безводная соль—белый чешуйчатый порошок с уд. в. 1,421, $t°_{пл.}$ 319°; при сильном нагревании (410—450°) перегоняется смесь из 53% ацетона и 37% нерастворимого в воде маслянистого вещества; в осадке остаются сода и следы углерода. Приготовляют ацетат натрия из чистой У. к., нейтрализуя ее содой. Ацетат натрия находит применение в лабораторной практике для получения уксусного ангидрида и хлористого ацетила, в терапии—как лекарственное средство при катаре кишок и желудка, в пищевой пром-сти—для консервирования мяса, овощей и грибов. Безводная соль служит водуотнимающим средством при органич.синтезах.Двойная соль (с 1 мол. $CaCl_2$) находит применение в терапии. О свойствах и применении солей других металлов см. соответственные металлы.

Эфиры У. к. являются хорошими растворителями; о свойствах их и применении см. *Растворители.*

Хлорпроизводные У. к. Хлоруксусная к-та, монохлоруксусная к-та, $ClCH_2 \cdot COOH$, бесцветные, легко расплывающиеся кристаллы с $t°_{пл.}$ 61°, $t°_{кип.}$ 189,5°, D_4^{20} 1,370; легко растворяется в воде, при кипячении распадается на гликолевую и соляную к-ты:

$$ClCH_2 \cdot COOH + H_2O = HOCH_2 \cdot COOH + HCl.$$

Ее пары разрушают кожу, пробку и каучук; получают ее хлорированием У. к. в присутствии катализатора:

$$CH_3 \cdot COOH + Cl_2 = ClCH_2 \cdot COOH + HCl.$$

Применяется она в производстве красителей (синтетическое индиго) и служит исходным материалом для получения веронала, гликоколя и гликолевой к-ты. Дихлоруксусная кислота $Cl_2CH \cdot COOH$, едкая жидкость, застывающая при 10,8°, $t°_{кип.}$ 194°. Получается в небольшом количестве при хлорировании У. к., а также из хлоральгидрата кипячением с раствором цианистого калия; служит для приготовления нек-рых химич. препаратов и в медицине. Трихлоруксусная к-та $CCl_3 \cdot COOH$, легко растворяющиеся в воде кристаллы с острым запахом, $t°_{пл.}$ 57°, $t°_{кип.}$ 196—197°, служит для приготовления хлороформа, является реактивом на белок. Хлористый ацетил, хлорангидрид У. к. $CH_3 \cdot COCl$, бесцветная остропахнущая жидкость с $t°_{кип.}$ 51,9°; служит для приготовления ацетофенона и для ацетилирования аминов и фенолов. **Н. Ельцина.**

УКСУСНЫЙ АЛЬДЕГИД, см. *Ацетальдегид.*

УКСУСНЫЙ АНГИДРИД $(CH_3 \cdot CO)_2O$, бесцветная жидкость с резким запахом, вызывающая слезотечение. Уд. в. D_4^0 1,099, D_4^{15} 1,085, $t°_{пл.}$ −73°, $t°_{кип.\ (760\ мм)}$ 139,5°, $t°_{кип.\ (15\ мм)}$ 44,6°. Уд. теплоемкость (23÷122°) 0,434 cal/г. Теплота испарения (при 137°) 66,1 cal/г. У. а. растворяется в большинстве органич. растворителей. К воде, спиртам, фенолам и основаниям У. а. относится так же, как и хлорангидрид, но реагирует медленнее, чем последний. Прибавление серной к-ты чрезвычайно увеличивает скорость реакции. 100 г У. а. при 15° растворяют 2,7 г воды; 100 ч. воды растворяют при 20° 12 ч. У. а.

Методы получения У. а. I. Существуют методы, исходящие из ацетатов или из уксусной к-ты, или смеси ее с ацетатными солями, или самостоятельно: 1) с ангидридами минеральных к-т, напр.:

a) $CH_3 \cdot COONa + SO_3 = CH_3 \cdot COSO_4Na$
$2CH_3 \cdot COSO_4Na = (CH_3 \cdot CO)_2O + Na_2S_2O_7$
$CH_3 \cdot COSO_4Na + CH_3 \cdot COONa = (CH_3 \cdot CO)_2O + Na_2SO_4$
$2CH_3 \cdot COONa + Na_2S_2O_7 = (CH_3 \cdot CO)_2O + 2Na_2SO_4$
b) $4CH_3 \cdot COOH + 2P_2O_5 = 2(CH_3 \cdot CO)_2O + 4HPO_3$

2) с галоидными соединениями фосфора, углерода, кремния, серы, напр.:

a) $4CH_3 \cdot COONa + POCl_3 = 2(CH_3 \cdot CO)_2O + 3NaCl + NaPO_3$
b) $2CH_3 \cdot COONa + COCl_2 = (CH_3 \cdot CO)_2O + 2NaCl + CO_2$
c) $4CH_3 \cdot COONa + SiCl_4 = 2(CH_3 \cdot CO)_2O + SiO_2 + 4NaCl$
d) $4CH_3 \cdot COONa + SO_2Cl_2 = 2(CH_3 \cdot CO)_2O + 2NaCl + Na_2SO_4$
e) $8CH_3 \cdot COONa + S + 6Cl_2 = 4(CH_3 \cdot CO)_2O + 6NaCl + Na_2SO_4$
f) $2CH_3 \cdot COONa + ClSO_3H = (CH_3 \cdot CO)_2O + NaCl + NaHSO_4$

Перечисленные примеры получения У. а. не исчерпывают всего многообразия патентных указаний (замена ацетата натрия солями кальция, замена SO_2Cl_2 на SO_2 и Cl_2, употребление вместо S и Cl_2 хлористой серы и т. д.). Выгодность того или иного метода определяется рыночной ценою и доступностью сырья. Особый интерес может представить метод получения У. а. через $SiCl_4$, поскольку последний может явиться отходом при хлорировании каолинов при получении хлористого алюминия.

Для технического получения У. а. кристаллич. ацетат натрия $CH_3 \cdot COONa \cdot 3H_2O$ предварительно обезвоживается в чугунных чашах с мешалками. Соль плавится в кристаллизационной воде при 59°, при 120° удаляется бо́льшая часть воды, окончательное обезвоживание наступает при 280—300°. Вместо чугунных чаш применяют вальцовые сушилки или вакуум-аппараты. Дешевая уксуснокальциевая соль в технике не применяется, т. к. она недостаточно чиста и не м. б. обезвожена без значительных потерь уксусной к-ты. Обезвоженная соль поступает в чугунные реакторы; туда же задается некоторое количество У. а. и при охлаждении приливается соответствующее галоидное соединение (хлористый сульфурил, фосген, четыреххлористый кремний, хлористая сера и т. д.). По окончании реакции отгоняется сырой уксусный ангидрид. Последний обрабатывается небольшим количеством ацетата натрия до исчезновения следов хлористого ацетила (проба азотнокислым серебром, допускается легкая опалесценция) и подвергается ректификации. Выход 92—95%-ного уксусного ангидрида составляет 90—95%.

II. Новейшие методы, основанные на каталитич. процессах, следующие. 1) Получение У. а. через кетен (соединение, содержащее группу $=C:CO$). Последний получается пропусканием паров ацетона над катализаторами при $t°$ 580° или из окиси углерода и водорода при $t°$ 200÷300° и 50÷150 *atm* давления: $(CH_3)_2CO = CH_2:CO + CH_4$. Кетен взаимодействует с уксусной кислотой количественно:

$$CH_2:CO + CH_3 \cdot COOH = \begin{matrix} CH_3 \cdot CO \\ CH_3 \cdot CO \end{matrix} \!\!> O$$

2) Расщепление этилидендиацетата при нагреве в присутствии катализаторов (цинк, хлористый цинк, к-ты и т. д.). Ряд патентов указывает на количественные выходы при проведении реакции под вакуумом:

$$(CH_3 \cdot COO)_2CH \cdot CH_3 = \begin{matrix} CH_3 \cdot CO \\ CH_3 \cdot CO \end{matrix} \!\!> O + CH_3 \cdot CHO.$$

Этилидендиацетат м. б. получен взаимодей-

ствием ацетилена и уксусной к-ты в присутствии ртутных солей:

$$C_2H_2+2CH_3\cdot COOH=(CH_3\cdot COO)_2CH\cdot CH_3.$$

Имеются патенты на получение У. а. непосредственным действием ацетилена на уксусную кислоту в присутствии катализаторов. 3) Контактный метод получения У. а. дегидратацией уксусной к-ты. Имеется значительное количество патентов. Сущность контактного способа заключается в том, что пары уксусной кислоты пропускают через контактную печь при высокой $t°$. Вода отщепляется по ур-ию:

$$2CH_3\cdot COOH \rightleftarrows H_2O+\begin{matrix}CH_3\cdot CO\\ \\ CH_3\cdot CO\end{matrix}\!\!>O.$$

Реакция эндотермическая; вычисленный тепловой эффект в парах $=-40{,}7$ cal. Вода, образующаяся при контактном разложении уксусной кислоты, обратно взаимодействует с У. а. Пары У. а. не вступают в реакцию с перегретыми парами воды, а потому У. а. должен быть сконденсирован и отделен из смеси раньше, чем сконденсируются пары воды, что м. б. осуществлено фракционной конденсацией. Контактный процесс получения У. а. значительно улучшается, если конденсация производится в присутствии растворителей У. а., имеющих более высокую $t°_{кип.}$ (тетрахлорэтан, анизол, крезол и т. д.), или же при примешивании к парам веществ, с к-рыми вода образует азеотропич. смесь: напр. смесь бензола с водой отгоняется при 70°, т. е. ниже $t°_{кип.}$ воды, уксусной к-ты и У. а. Следует указать, что контактному разложению может подвергаться уксусная к-та низких концентраций, что дает возможность использовать слабую к-ту (не укрепляя ее) при производстве ацетилцеллюлозы.

Качество У. а. (продажного) определяется по %-ному содержанию, к-рое д. б. не ниже 92. По Тредвэллу нагревают отвешенное количество вещества с отмеренным количеством титровальной баритовой воды, и избыток оттитровывают к-той. По ур-ию вычисляют содержание У. а. и уксусной к-ты. Для технич. целей довольно хорошие результаты дает криоскопич. метод. Проба на содержание хлористого ацетила определяется азотнокислым серебром. Присутствие связанного галоида в метильной группе, серы и ее окислов определяют по Кариусу.

У. а. имеет широкое применение в парфюмерной, фармацевтической, красочной, целлюлоидной пром-сти и т. д. Особенно большой спрос на него предъявляет пром-сть ацетилцеллюлозы (ацетатный шелк, лаки, пленки, изоляция и т. д.). У. а. в мировую войну имел широкое применение как промежуточный продукт для получения хлорацетофенона (лакриматора—О. В., вызывающего слезотечение).

Лит.: Фридман Э., Легкий и удобный метод получения У. а., «Журнал прикладной химии», 1928, т. 1, вып. 1; Артемьев Н., О каталитическом способе получения У. а., «ЖХП», 1930, *25—27*; Ullm. Enz., 2 Aufl., B. 4.

Я. Коварский.

УЛИЧНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ, совокупность методов использования излучаемой искусственными генераторами за счет сжигания осветительных материалов или действием электрической энергии световой энергии для создания в целях производственных, безопасности и гигиены зрения наиболее благоприятных условий видимости на улицах, проездах, площадях и т. п. в темные часы.

Общие сведения. Классификация. I. По системе питания и роду источников света см. табл. 1.

Табл. 1.—Классификация У. о. по системе питания и роду источников света.

Род тока	Источники света	
	основной	подразделения
А. Последовательное включение		
Постоянный ток (4—8 А)	1) Дуговые лампы	а) Сплошные угли, открытая дуга б) Фитильные угли, закрытая дуга в) Поляризованная магнетитовая дуга
	2) Лампы накаливания *1	
Переменный ток (6—20 А)	1) Дуговые лампы	а) С пламенной дугой б) Сплошн. угли
	2) Лампы накаливания *1 *2	—
Б. Параллельное включение		
Постоянный ток (напряжение 110 и 220 V)	Как в случае А	—
Переменный ток (напряжение 120 и 220 V)	Лампы накаливания	—

*1 Работающие при той же силе тока и том же напряжении, что и в питающей цепи. *2 Работающие при большей силе тока и меньшем напряжении, чем в питающей цепи (с регулировочными трансформаторами).

II. По способу управления включением и выключением. А) Ручное управление, Б) дистанционное управление: 1) каскадное включение, 2) контрольный провод, 3) автоматич. включатели с часовым механизмом, 4) фотоэлектрич. элементы, 5) замыканием и размыканием цепи, 6) изменением частоты питающего тока, 7) электромагнитными волнами без проводов, 8) токами высокой частоты по проводам.

Задачи У. о.: 1) создать условия для безопасного и удобного движения пешеходов, трамваев, автомобилей, гужевого транспорта; 2) обеспечить возможность читать надписи (названия улиц, номера домов, вывески и т. п.); 3) облегчить личную и имущественную охрану (службу милиции и пожарной охраны); 4) придать надлежащий вид улицам и площадям (художественным зданиям, памятникам). В условиях строительства СССР перед У. о. стоят особо ответственные задачи в связи с бурным ростом механического быстрого транспорта, увеличением его в ночное время, введением многосменной и непрерывной работы на ф-ках и з-дах, необходимостью производства ремонтных и новых работ по нек-рым коммунальным сооружениям в ночное время. Задержки в развитии У. о. явились бы тормозом для развития не только городского хозяйства, но и пром-сти города. Во многих наших городах назрела потребность в полном переоборудовании У. о., недостатки к-рого следующие: 1) недостаточная освещенность при блескости и неравномерности, превышающих допустимые, 2) совершенно неосвещенные улицы на окраинах, 3) отсутствие централизованного управления освещением в виду нерационального устройства сети У. о., 4) сложная и дорогая эксплоатация вследствие наличия двух родов освещения—газового и электрического, 5) разнородное и устарелое оборудование (светильники и пр.). Теперь наши крупнейшие города реконструируют свое У. о. [1, 7, 10, 11]. По сравнению с заграничными города СССР представляют еще

ту особенность, что У. о. имеет деловой технич. характер, поэтому торговое и жилищное освещение нельзя рассматривать как замену У. о. (за границей же торговые и деловые улицы, по которым имеется усиленное движение, обладают освещением от витрин, светящихся вывесок и других рекламных огней, значительно *более сильным*, чем У. о.).

Светотехническая часть. Основные требования, предъявляемые к У. о. При выполнении У. о. приходится исходить преимущественно из практич. данных, т. е. задаваться значениями требуемых освещенностей, допустимых неравномерностей и пр. в соответствии с задачами У. о. в каждом отдельном случае и с данными практики об аналогичных выполненных установках. Более же строгие теоретич. требования психофизиологии зрения к У. о. удается по экономическим соображениям выполнить далеко не в полной мере. Вообще желательны для У. о. возможно бо́льшая и одинаковая по всему полотну улиц освещенность, достаточное освещение выходящих на улицу частей домов по всей их высоте, невидимые источники света. Минимальное требование к У. о. для безопасности движения—возможность различать крупные неровности пути и силуэты (движущихся людей и экипажей на фоне поверхности улиц). Для выполнения этого требования достаточно очень низких освещенностей и равномерностей, но необходимо полное отсутствие блескости светильников (на фоне темного неба даже небольшие яркости создают сильное ослепляющее действие, мешающее различать силуэты). Создание одинакового по всей улице силуэтного освещения крайне затруднительно (разнообразие фона, силуэтов, окраски). Для оживления улиц крупных городов минимальные требования повышают, увеличивая значение освещенностей. При оценке уличного освещения в настоящее время обычно главное значение придают средней освещенности в горизонтальной плоскости, расположенной на высоте 1 *м* от поверхности улицы, а также равномерности освещения, между тем как ранее долго существовало разногласие, следует ли класть в основу оценки У. о. горизонтальную или вертикальную освещенность. Так как У. о. можно рассматривать как своего рода пространственное освещение, то и здесь ищут новых путей для оценки. В Англии за последнее время измеряют горизонтальную освещенность на высоте ок. 20 *см* над поверхностью улицы, во Франции—горизонтальную освещенность на поверхности улицы, в США же совершенно отказываются от измерения освещенности, оценивая У. о. по величине расходуемой мощности, отнесенной к площади поверхности улицы. Этот последний способ несомненно наименее целесообразный. На основании физиологических соображений было предложено класть в основу оценки У. о. горизонтальную освещенность в плоскостях, расположенных на определенной высоте от поверхности улицы, вместе с некоторыми другими физиологич. соображениями [20]. О нормах освещенностей и равномерности для У. о., рекомендуемых «Временными правилами искусственного освещения открытых пространств», одобренными Второй всесоюзной светотехнич. конференцией,—см. *Освещение*. В табл. 2 приведены освещенности, рекомендуемые для освещения улиц и других путей сообщения Германским светотехническим обществом.

Табл. 2.—Необходимые освещенности для путей сообщения.

Наименование освещаемых мест	Средняя освещенность		Освещенность в наимен. выгодном месте	
	наименьшее допустимое значение, lx	рекомендуемое значение, lx	наименьшее допустимое значение, lx	рекомендуемое значение, lx
Улицы и площади				
С редким движением	1	3	0,2	0,5
Со средним движением	3	8	0,5	2
С большим движением	8	15	2	4
С наибольшим движением в крупных городах	15	30	4	8
Железнодорожные установки				
Полотно рельсовых путей	0,5—2	1—4	0,2—0,8	0,5—1,5
Перроны, лестницы и проходы	5—10	10—30	2,5	5—10
Фабрично-заводские дворы				
С редким движением	0,5	1,5	0,2	0,5
С большим движением	3	10	1	3
Лестницы и проходы	3	10	1	3
Водные пути сообщения				
Набережные с редким движением	1	3	0,3	1
Набережные с большим движением и шлюзы	3	10	1	3

По америк. данным для автомобильного движения требуется при высоком качестве америк. дорог и упорядоченном движении средняя освещенность в 2,7 lx.

Лампы. Дуговые лампы почти совершенно вытеснены лампами накаливания; в новых установках применяются исключительно последние. При этом за последнее время существует тенденция брать обладающие более высоким кпд лампы большой мощности взамен применявшихся ранее 4—5 небольших ламп в одном светильнике. Желательно, чтобы был пересмотрен с учетом потребностей У. о. ассортимент ламп, так как таковой нужды У. о. не удовлетворяет полностью. Целесообразно применение ламп с матированной нижней частью колбы и лампы Бехтерева с отражателем внутри колбы. Следует испытать лампы с белой эмалью на нижней части колбы (для ослабления блескости).

Выбор осветительных колпаков (фонарей). В соответствии с требованиями об оценке У. о. по горизонтальной освещенности и допустимой неравномерности были разработаны типы колпаков, дававшие при возможно меньшей высоте подвеса и соответственно большом расстоянии между светильниками возможно более равномерное освещение в горизонтальной плоскости,—т. н. широкие или плоские излучатели. Эти колпаки имели ярко выраженный максимум силы света в пределах углов 60—80° к вертикали или 30—10°—к горизонтали, т. е. к обычному направлению луча зрения, и обладали поэтому особенно сильным ослепляющим действием. Т. к. последнее при У. о. особенно нежелательно, то перешли к применению почти свободных от ослепляющего действия глубоких излучателей, к-рые за последнее время снабжают отражателями

уже не непрозрачными, а из опалового стекла; этим достигается не только хорошее освещение проезжей части улицы, но также и некоторое освещение стен зданий; получающееся при этом осветление периферии поля зрения создает благоприятные условия для видимости, в то же время придавая улицам надлежащий вид и ночью, что особенно важно для улиц с зданиями архитектурного или исторического значения. Для У. о. в СССР необходимо обойтись без импорта осветительных колпаков, к-рые уже выпускаются советской промышленностью (см. *Освещение*). На основе использования достижений как заграничной, так и нашей светотехники намечается производство арматуры для У. о. после предварительной разработки стандартных типов ее, рациональных не только светотехнически, но и в отношении более легкого и надежного монтажа и упрощения обслуживания в условиях массового применения на улице. В основу некоторых специальных конструкций заграничных арматур положены: 1) применение диоптрич. стекол, 2) затемнение лучей, направленных на тротуары, и усиление их в направлениях улицы с помощью внутренних отражателей, 3) распределение светового потока по направлению улицы и перекрестков с помощью таких же отражателей в 2 или 4 главных направлениях. Весьма распространенные за границей призматич. колпаки «Голофан» и зеркальные английские при дешевизне и благоприятном распределении света все же имеют и недостатки. Заслуживает внимания светильник, предложенный проф. Тиходеевым, в виде открытого внизу колпака из густого молочного стекла, прикрытого сверху вторым отражателем, железным эмалированным [10].

Расположение светильников. Выбор высоты подвеса. Для уменьшения блескости источники света следует по возможности удалять из поля зрения наблюдателя путем увеличения высоты их подвеса. Временные правила искусственного освещения улиц, площадей, проездов и дорог предписывают высоту подвеса не менее 4 *м*. Для дальнейшего ослабления блескости желательна еще бóльшая высота. Чем выше подвес, тем меньше нужно светильников и столбов. Подсчетами можно найти экономич. высоту подвеса, т. е. ту, для которой ежегодные затраты на освещение будут минимальными. Для Ленинграда таковая оказалась равной 12 *м*; однако художественное оформление столь высоких столбов затруднительно; поэтому взята меньшая высота (на столбах 8 и 6,5 *м*, на проволочном подвесе 9 *м*, чтобы соблюсти минимальное допустимое расстояние над трамвайными проводами). Для крупных городов практически целесообразна высота подвеса в 6—10 *м*; бóльшая высота м. б. выгодной для очень больших площадей. Расстояние между светильниками зависит от выбранной высоты подвеса. Сближение светильников выравнивает горизонтальную и вертикальную освещенности, но загромождает улицу столбами. Экономически выгодны расстояния от 3- до 5-кратной высоты подвеса. Число рядов и относительное положение их. Вопрос о размещении светильников над осью проезжей части улицы или по бокам ее разрешается за последнее время для обычных условий в пользу первого способа размещения: распределение света при этом ближе к дневному освещению, чем при боковом расположении, а опасность ослепляющего действия меньше (глаз менее чувствителен к ослепляющему действию светильника, расположенного над направлением луча зрения, чем к действию светильника, расположенного сбоку или снизу). Для широких улиц большая равномерность освещенностей (освещенные тени и равномерно освещенные здания) достигается при двух рядах светильников (по осям проезжих частей, а не над тротуарами), расположенных в шахматном порядке (светильник одного ряда против середины промежутка между светильниками второго ряда). При еще большей ширине улиц необходимы 3 ряда (светильники крайних рядов—друг против друга, в среднем ряду—в промежутках). От зданий, чтобы не давать на них светлых пятен, светильники д. б. не ближе 5—6 *м*. Для площадей расположение выбирается особо, соответственно их особенностям.

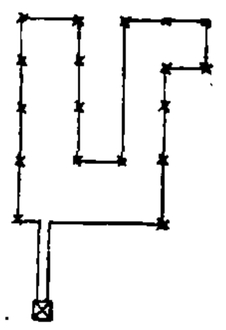
Опоры для светильников (см. *Сети электрические*) должны при технич. целесообразности и экономичности удовлетворять и художественным требованиям, согласованным с видом улиц днем и ночью. Размеры столбов определяются соображениями светотехническими и механической прочности. В центральных частях крупных городов наиболее распространены металлич. опоры: чугунные колонны (красивы, но дороги), решетчатые стальные конструкции (для больших высот) и железные трубчатые столбы (прочны, дешевы, но менее художественного вида). Использование трамвайных мачт в качестве опор для светильников У. о. хотя и уменьшает расходы на оборудование У. о. и загроможденность улиц опорами, но мало удовлетворительно в художественном отношении и допустимо лишь при непременном условии согласования расположения трамвайных мачт с светотехнич. требованиями о расположении опор для светильников. Деревянные столбы применяют на окраинах и в небольших городах; для увеличения срока службы их надлежит пропитывать противогнилостными составами. Опоры из железобетона начинают широко распространяться за границей. Примешивая к бетону слюду и нек-рые окрашивающие вещества и обрабатывая затем поверхность готовых опор пескоструйным аппаратом, можно придать опорам из железобетона надлежащий художественный вид. В СССР в настоящее время применение таких опор из железобетона заметного развития пока не получило. В целях суррогатирования металла весьма желательно внедрение в нашу практику опор из железобетона, а также деревянных решетчатых конструкций типа ферм. Кроме опор светильники подвешивают и на проволоке (тросе), натянутой поперек улицы и прикрепленной к зданиям или к столбам. Подвешивание светильников на кронштейнах, прикрепляемых к зданиям, нерационально: светильник д. б. не ближе 5—6 *м* к стене здания; между тем уже при вылете в 2 *м* кронштейн сложен; чтобы приспособить к архитектуре домов кронштейны, потребовалось бы большое разнообразие их.

Проектирование У. о. Улицы разбивают по разрядам освещенности, требуемой для них Временными правилами, причем д. б. получены от планирующих и других организаций сведения о намечаемом развитии различных районов города. Выбрав тип светильника и учтя кпд его, приступают к светотехнич. расчету. Из осторожности вводят в расчет коэфициент

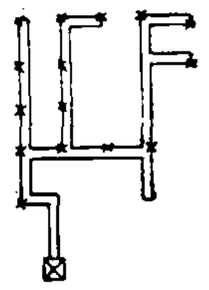
старения, равный 1,5, учитывающий уменьшение освещенностей в состарившейся установке по сравнению с новой. Чтобы обеспечить требуемые наименьшие значения освещенностей, расчет ведут по силе света, учитывая при этом только действие 2—3 ближайших светильников и проверяя вертикальную освещенность на домах и освещенность в тенях. При составлении проекта д. б. предусмотрено упорядочение всего светового хозяйства улицы: с общим У. о. должны быть увязаны все другие виды наружного освещения (рекламное, автомобильное, сигнализационное и пр.). Все расчеты в виду их массового характера уместно рационализировать, пользуясь, как это было сделано например для реконструкции У. о. Москвы [11], заранее заготовленными таблицами и кривыми для быстрого определения освещенности, расстояний между фонарями при разной ширине улиц и мощности ламп. Расчеты должны сопровождаться испытаниями лабораторного характера отдельных светильников, затем макетов, изображающих участки улиц в миниатюре с соответствующей осветительной установкой, и наконец исследованиями опытных установок в реальных условиях будущей эксплоатации [17].

Электротехническая часть (сеть проводов У. о.). Системы включения ламп. Последовательное включение характеризуется постоянством силы тока, а следовательно и потерь мощности в проводах; кпд установки максимальный, когда включены все присоединенные к цепи потребители, понижаясь с уменьшением числа работающих приемников. Т. о. система подходит для установок с постоянной нагрузкой, что обычно как-раз имеет место для У. о. Напряжение в начале линии приходится поддерживать пропорциональным числу включенных приемников: когда оно велико, напряжение высоко. Поэтому система непригодна для общеабонентского освещения, где пришлось бы вводить провода высокого напряжения в жилые помещения, но подходит для У. о. Первые установки У. о. долго выполнялись по этой системе. Историч. причины этого следующие: а) когда вводилось электрич. У. о., оно осуществлялось исключительно с помощью дуговых ламп, которые требуют постоянной силы тока и поэтому лучше всего работают при последовательном включении; б) во многих случаях У. о. предшествовало на значительный срок общему пользованию электрич. энергией в городах; последовательная цепь была наиболее простым и удобным средством снабжения энергией сравнительно мелких приемников, рассеянных довольно редко по значительной территории; в) отдельная последовательная система была удобна для зажигания и гашения У. о. из центральной станции. Последовательное включение раньше широко применялось при постоянном токе как для дуговых ламп, так и для ламп накаливания. Специальные динамо с саморегулированием (Бреша, Розенберга и др.) поддерживали силу тока постоянной, изменяя напряжение в соответствии с числом горящих ламп. Особые приспособления, замыкающие накоротко соответствующие патроны для ламп или лампы, предотвращают разрыв цепи при перегорании нити одной из ламп накаливания или при сгорании или поломке углей дуговой лампы. Теперь У. о. с последовательным включением при постоянном токе встречается сравнительно редко (для освещения высокой интенсивности в деловых частях нек-рых крупных городов США; питание от сетей переменного тока через ртутные выпрямители). В настоящее время последовательное включение при переменном токе широко распространено в Америке. От трехфазной сети через специальный саморегулирующий трансформатор ответвляют однофазные цепи с постоянной силой тока, в которые включают последовательно лампы и трансформаторы (см. *Распределение электрической энергии*, фиг. 5). У саморегулирующего трансформатора первичная обмотка неподвижна, вторичная же от действия электродинамич. сил может несколько подниматься и опускаться с помощью рычага с противовесом. Максимальная нагрузка трансформатора получается при наименьшем расстоянии между обмотками. Регулирование на постоянную силу тока основано на изменении индуктивности рассеяния при изменениях нагрузки. При уменьшении нагрузки (а следовательно и сопротивления внешней цепи, включенной последовательно с вторичной обмоткой) сила тока стремится возрастать, но с ней будет расти и электродинамич. действие; подвижная обмотка поднимается, увеличивая т. о. поток рассеяния и соответственно уменьшая эдс, индуктируемую во вторичной обмотке; сила тока постоянна (в пределах 1—2%), каковы бы ни были изменения нагрузки. Коэфициент мощности и кпд трансформатора с уменьшением нагрузки понижаются.

Прокладка последовательных цепей выполняется по типу разомкнутой петли (фиг. 1 — лампы соединяют по кратчайшему пути, не учитывая удаления прямого провода от обратного; длина проводов минимальная, но обрыв в одном месте петли прерывает работу всей цепи; при повреждениях затруднительны испытания и исправления) или параллельной петли (фиг. 2 — обратный провод прокладывается по возможности около прямого; испытания и исправления легче; индуктивное влияние сведено к минимуму, но расход металла на провода больше). Нередко выгодна комбинация параллельных петель с небольшими разомкнутыми. Во всех этих случаях лампы можно включать в цепь непосредственно с помощью автотрансформатора или трансформатора индивидуального или на группу из нескольких ламп (последняя система более гибкая и безопасная: при прикосновении к лампе нет опасности поражения высоким напряжением). Интерес в Европе к последовательному включению ламп У. о., одно время (с вытеснением дуги лампами накаливания) сильно упавший, за последние годы вновь повышается. Разработаны простые и дешевые приспособления (помещаемые в патроне лампы), уничтожающие разрыв цепи при перегорании лампы. Преимущества последовательного включения ламп У. о.: более высокий кпд и меньшая хрупкость малых ламп для последовательного включения, больший срок службы ламп для последовательного включения (благодаря питанию одной и той же силой тока); бо́льшая близость нити лампы для последовательного включения к точкообразному источ-



Фиг. 1.



Фиг. 2.

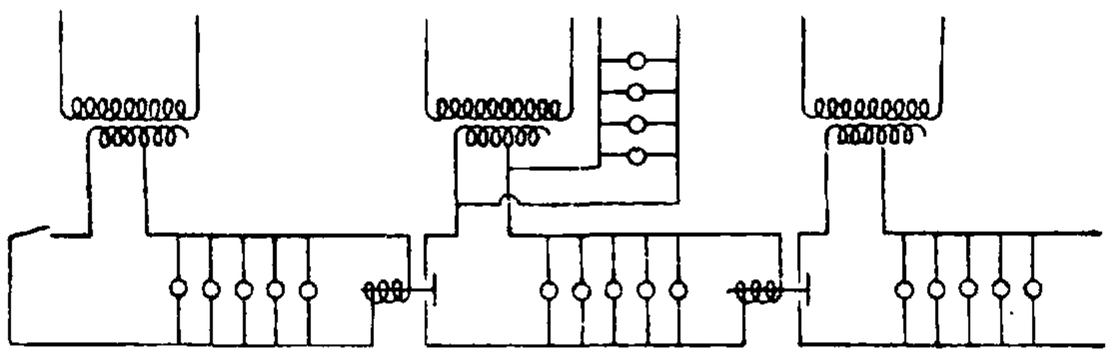
нику света, позволяющая точнее регулировать силу света; экономия металла для проводов (благодаря высокому напряжению); возможность непосредственного питания от высоковольтного источника без дорогостоящего трансформатора; избавление от зависимости от колебаний напряжений и падений напряжения; потеря мощности в проводах меньше; управление освещением — включение и выключение — (см. ниже) проще.

Параллельное включение наиболее распространено для У. о. в Европе; имеется довольно много установок и в Америке, например в Нью Йорке. Схема включения—обычная для параллельного соединения. Преимущества параллельного включения ламп У. о.: больший кпд ламп для параллельного включения больших мощностей; меньшая стоимость ламп и патронов для параллельного включения; невозможность погасания всех ламп сразу; бо́льшая гибкость системы, позволяющая разнообразить число и мощность ламп в цепи, без труда заменяя лампы или добавляя новые; простота и дешевизна трансформаторного оборудования и аппаратуры; безопасность (низкое напряжение); надежность в отношении бесперебойности снабжения; возможность питания от общей распределительной системы с параллельным включением. В настоящее время не представляется возможным окончательно отдать предпочтение последовательному или параллельному включению. В каждом отдельном случае целесообразно производить сравнение обоих вариантов. В СССР препятствием к применению последовательного включения является пока неналаженность производства низковольтных ламп накаливания и всей аппаратуры для последовательного включения.

Выбор схемы питания сети У. о. и напряжения. Для выяснения наивыгоднейшей схемы питания необходимы вариантные подсчеты. Присоединение У. о. к подстанциям общеабонентской сети на стороне низкого напряжения допустимо для небольших городов; в более крупных городах необходимы отдельные подстанции, а иногда и отдельная высоковольтная сеть для У. о., в целях правильного регулирования напряжения, наивыгоднейшего для ламп У. о. (иначе получается нерациональное и убыточное действие У. о. из-за неправильного напряжения и чрезмерных колебаний его). В крупных городах сеть У. о. для удобства обслуживания районируют применительно к административным границам районов. Выбор напряжения (120 или 220 V) разрешается светотехнич. и экономич. подсчетами (см. *Сети электрические*); иногда рекомендуют для У. о. напряжение, отличное от принятого в данном городе. общеабонентского, в целях уменьшения хищения ламп.

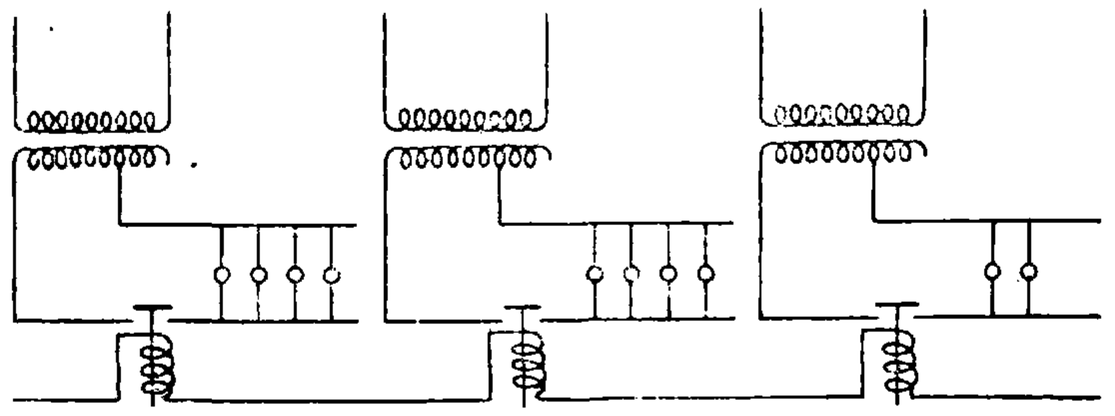
Провода сети У. о. Выбрав для них материал, рассчитывают по общим правилам (см. *Провода электрические*) без затруднений, т. к. конфигурация сети У. о. проста, а нагрузка распределена довольно равномерно. При расчете сечений (выборе расчетных нагрузок) д. б. предусмотрен разумный запас в пропускной способности сети У. о. Тип проводки—воздушная или подземная—выбирают на общих основаниях (см. *Сети электрические*), отдавая однако, в особенности для крупных городов чаще, чем для общеабонентских сетей, предпочтение кабельной проводке, как более надежной и не портящей вид улиц.

Управление У. о. (включение и выключение). Включение и выключение от руки—наиболее простой, но и наименее совершенный способ управления. Требует посещения каждого выключателя не менее 2 раз в сутки; допустимо в небольших городах при дешевизне рабочих рук. Из-за необходимости включения ламп небольшими группами на зажигание установленной для одного рабочего нормы фонарей затрачивается до 45 мин. (по опыту г. Москвы): нерациональное использование энергии, увеличение обслуживающего персонала, удорожание эксплоатации. В нек-рых городах США включение и выключение У. о. по улицам возложены на дежурных полисменов. В крупных городах—крайне нежелательно из-за больших расстояний, дороговизны рабочих рук, возможности несчастных случаев от несвоевременного включения и трудности обеспечения надежным персоналом. Управление на расстоянии (дистанционное) более рационально, дает возможность выполнить требования противовоздушной обороны о погашении У. о. в течение очень короткого времени. Осуществляется одним из следующих способов. 1) Каскадное включение применимо, где имеются отдельные цепи для отдельных групп ламп: ближнюю к подстанции или к посту управления группу ламп (фиг. 3) включают (или выключают) от руки; протекание



Фиг. 3.

тока по этой секции цепи вызывает замыкание реле, приводящего в действие выключатель, который присоединяет к источнику питания вторую секцию, и т. д. Применимо для постоянного и переменного тока. Прекращение подачи тока в одну из секций вызывает выключение всех секций каскада; для предотвращения этого предусматривают на случай аварии включение выключателей от руки. 2) Специальный контрольный провод (англ. pilot wire). Выключатели отдельных секций приводят в действие, пропуская с подстанции ток через контрольный провод (фиг. 4),



Фиг. 4.

к-рый может иметь небольшую проводимость (железная проволока), т. к. через него протекает только слабый ток для реле. В большинстве установок по контрольному проводу ток течет в течение 12 час. в сутки; лучше, чтобы выключатели находились в замкнутом положении, т. е. лампы зажигались бы при отсутствии тока в нулевом проводе, чем обеспечивается горение ламп при обрыве нулевого провода. Обычно землю используют как обратный про-

вод (экономия половины проводящего материала для контрольной цепи); возможно каскадное включение. При контрольном проводе лучше параллельное включение выключателей: система более гибкая, чем при последовательном соединении для последующих расширений. Есть тип выключателей для контрольного провода, приводимый в действие импульсами, а не постоянным протеканием тока (первый импульс включает лампы, второй выключает); для отдельных выключателей предусматривают включение от руки на случай их выпадения из такта (т. е. если лампы будут включены, когда нужно их выключить, и наоборот); опасность этого устраняют, применяя для выключателей реле, управляемые импульсами различной интенсивности (соленоид с двумя сердечниками, отрегулированными так, что определенной силы ток поднимает один из них, замыкая цепь; при пропускании через контрольный провод тока двойной силы будет поднят второй сердечник, который, освободив первый, разомкнет цепь). 3) Автоматические выключатели с реле времени (часовым механизмом): в новейших типах автоматически производятся не только включение и выключение рубильника, но и завод часов, а также перевод их на время следующего включения соответственно календарю данной местности (времени года). Первые автоматы с часовым механизмом были мало надежны. Неблагоприятные условия работы на открытом воздухе требуют от них тщательной конструкции и регулировки. Поэтому они дороги, что препятствует их широкому распространению. Весьма удовлетворительные результаты в эксплоатации в наших условиях (в г. Москве) показал часовой автомат швейцарской фирмы Саутер с герметич. корпусом, подогревающим реостатом и надежными контактами, к-рые в других аналогичных конструкциях являются слабым местом. 4) Приведение в действие реле выключателей с помощью фотоэлектрических элементов (селеновых и др.): действие зависит от количества дневного света, не обеспечивая включения, в соответствии с часами горения, предусмотренными расписанием. 5) Приведение в действие выключателей быстрым размыканием и замыканием питающей цепи допустимо, если прочая нагрузка терпит мгновенные перерывы в питании энергией. 6) Приведение в действие выключателей изменением частоты питающего тока на несколько периодов вверх и вниз от нормальной применимо для небольших городов, где допустимо мгновенное изменение скорости вращения генераторов на станции. 7) Управление выключателями без проводов, электромагнитными волнами, воздействующими на настроенное на соответствующую частоту резонансное реле; при этом способе управления трудно исключить посторонние мешающие влияния. 8) Управление с помощью токов высокой частоты по проводам—система несущих токов: существующую распределительную систему используют для передачи токов высокой частоты (обычно одной для включения и другой для выключения), к-рые, налагаясь на рабочий ток, воздействуют на резонансное реле. Преимущества этого способа, которому за границей уделяют за последнее время много внимания: отсутствие высоких первоначальных затрат на дополнительное оборудование самой сети; но мешает работе прочих линий связи; не вызывает повреждений изоляции аппаратуры распределительной системы. В виду высокой стоимости приемной аппаратуры применимо пока для управления только крупными секциями сети У. о. Кроме управления включением и выключением практика выдвигает требование о развитии сигнализационной системы для извещения поста управления о включении и выключении ламп (обратный сигнал о выполнении «распоряжения») и об авариях (перегорание ламп и пр.) [2,17,19,21].

Постройка и эксплоатация У. о. Постройка У. о. Если недостаточные единовременные ассигнования денежных средств заставляют вести постройку по частям, то необходимо все же предварительно разработать проект У. о. для всего города и вести работы в соответствии с ним по календарному плану. В целях рационализации постройки строительство У. о. должно быть обеспечено механическим оборудованием для строительных работ и эксплоатации: механическими лестницами, машинами для механизации рытья траншей, установки столбов, *укладки кабелей* (см.) и пр. Работы по постройке У. о. должны быть увязаны с прочими работами по благоустройству города и его планировкой. Эксплоатация У. о. Все световое хозяйство улиц города, включая рекламное, автомобильное, сигнализационное и другие виды наружного освещения, должно регламентироваться и контролироваться одной организацией. Удобства эксплоатации, экономика и соображения противовоздушной обороны требуют максимальной централизации контроля и управления У. о. Весь город разбивают на районы (по возможности в согласии с административными границами районов), обслуживаемые соответствующим осветительным участком, к-рый д. б. в известной мере самостоятельным, имея в своем распоряжении нужное число монтеров и рабочих-фонарщиков. Монтеры с помощниками выполняют весь текущий и капитальный ремонт (а в летние месяцы—новое строительство). Один монтер с помощником обслуживает в среднем (по опыту г. Москвы) не менее 1 000 светильников. Рабочий-фонарщик должен во-время (по календарю У. о.) включать и выключать источники света (иногда после полуночи часть ламп У. о. выключают, оставляя лишь часть включенными до рассвета). Однако при этом получается незначительная экономия энергии и расхода на возобновление ламп, управление же усложняется, а эксплоатация удорожается; поэтому новейшая тенденция, по крайней мере в крупных городах,—оставлять все У. о. включенным всю ночь (особенно это уместно для СССР, где бо́льшая часть грузового транспорта перенесена на ночное время); кроме того фонарщик должен заменять перегоревшие лампы, предохранители, чистить и заменять разбитые колпаки, вообще содержать в чистоте всю установку. Целесообразно в целях повышения производительности труда устанавливать (как это сделано в Москве) нормы числа обслуживаемых фонарей на одного рабочего, вводя пофонарную плату за фонари, обслуживаемые сверх нормы [7]. Кадры обслуживающего персонала должны проходить соответствующую специальную подготовку. Рациональная постановка надзора и ухода за У. о. чрезвычайно важна. Необходимо поддерживать нормальную для ламп силу тока (напряжение).

Необходим обход улиц патрулями (возможна замена донесениями дежурных милиционеров). Необходимы очистка и промывка (с мылом или нашатырем) светильников (в США 4—12 раз в год), своевременная замена ламп ненормально почерневших, а также замена перегоревших лампами правильного напряжения.

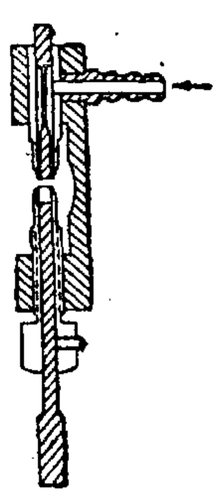
Плановая реконструкция У. о. по всему СССР чрезвычайно необходима. Рационально объединить усилия соответствующих организаций городов и промышленности в этом направлении и создать условия для обмена и систематизации проектировочного, строительного и эксплоатационного опыта в области У. о. С этой целью необходимо создать соответствующий организующий центр (на первых порах хотя бы в виде комиссии при Московском или Ленинградском Центральном электротехнич. совете). Это даст наиболее правильные технич. решения (применительно к нашим условиям и возможностям) принципиальных вопросов, позволит стандартизировать установки У. о., приборы и аппаратуру и дать своевременно задания нашей пром-сти. Об освещении открытых пространств заливающим светом см. *Освещение* и *Прожектор*, П. ближнего действия.

Лит.: [1] Барабашев Н. и Семейкин Б., Состояние уличного освещения г. Харькова, «Труды 3 Всесоюзной светотехнич. конференции», Харьков, 1932; [2] Видеман М. и Леонтьев М., Дистанционные выключатели в практике управления сетями уличного освещения, «Электричество», М.—Л., 1928, *13—14*; [3] Временные правила искусственного освещения улиц, площадей, проездов и дорог, «Труды 2 Всес. светотехн. конф.», Л., 1931, вып. 3; [4] Зеленцов М., Световая техника, Л., 1925; [5] Корольков А., Курс электрич. освещения, 2 изд., М.—Л., 1931; [6] Сиротинский Л., Электрич. освещение, М., 1924; [7] Смирнов С., Современное состояние уличного освещения в г. Москве и перспективы его дальнейшего развития, «Труды 3 Всес. светотехн. конф.», Харьков, 1932; [8] Соколов М., Электрическое освещение, «Рабочий техникум на дому», Сильные токи, ч. 6, Л., 1929; [9] СЭТ, Справочная книга для электротехников, т. 3, Л., 1928; [10] Тиходеев П., Рациональное уличное освещение крупных городов СССР, «Электричество», М.—Л., 1931, *9*; [11] Умов А., К вопросу об уличном освещении городов, «Технико-экономич. вестник», М., 1926, *10*, стр. 653; [12] Умов А., Освещение городов, М., 1926; [13] Bloch L., Lichttechnik, Mch.—B., 1921; [14] Cady F. a. Dates H., Illuminating Engineering, N. Y., 1925; [15] Croft T., American Electrician's Handbook, N. Y., 1921; [16] Darmois E., L'Éclairage, P., 1923; [17] Harrison W., Haas O. a. Reid K., Street Lighting Practice, N. Y., 1930; [18] Pender H., Handbook for Electrical Engineers, 2 ed., N. Y., 1922; [19] Piazzoli E., Tecnica degli impianti elettrici per luce e forza, v. 2, Milano, 1929; [20] Rziha E. u. Seidener J., Starkstromtechnik, Taschenbuch f. Elektrotechniker, B. 1, 7 Aufl., B., 1930; [21] Sanderson Cl., Electric System Handbook, N. Y., 1930; [22] Schlögl H., Der Ausbau d. elektr. Strassenbeleuchtung in Wien, «E. u. M.», 1929, p. 98; [23] Seelye H., Electrical Distribution Engineering, N. Y., 1930; [24] Stahl C., Electric Street Lighting, N. Y., 1929; [25] Strecker K., Hilfsbuch f. die Elektrotechnik, Starkstromausgabe, 10 Aufl., B., 1925; [26] Uppenborn F., Deutscher Kalender f. Elektrotechniker, Mch.—B., 1932.

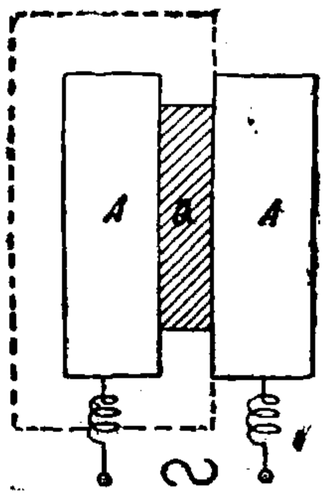
В. Хащинский.

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ, колебания, имеющие столь высокую частоту, что звуки от них не воспринимаются ухом. Частоты У. к. начинаются 15 000÷20 000 Hz. О существовании У. к. было известно уже давно, а после появления в 1883 г. свистка Гальтона, издававшего неслышные звуки, демонстрация их вошла в практику преподавания. Однако до последнего времени У. к. не имели никакого практич. значения, т. к. не существовало достаточно мощных источников У. к. Началом оживления исследований У. к. следует считать 1917—19 гг., когда Ланжевену в Париже удалось применить кварц для получения мощных ультразвуковых волн в воде. В особенности же оживились исследования У. к. после работ Кэди [1], начавшихся в 1922 г.; это оживление продолжается и в данное время.

Способы получения У. к. весьма разнообразны; почти все способы получения колебаний пригодны и для У. к. Не слишком мощные звуки проще всего получаются с свистком Гальтона (фиг. 1), представляющим воздушный резонатор, собственная частота которого может меняться от 10 000 до 30 000 Hz и против отверстия которого направляется струя воздуха. Мощность такого свистка невелика, и во всех нижеописываемых способах источником энергии ультразвуковой частоты является переменный электрич. ток, получаемый обычно от автоколебательных электрич. контуров с электронной лампой; исключение представляет только *поющая дуга* (см.), с к-рой Неклепаевым [2] в 1911 г. были получены У. к. и волны с частотами до 3 500 000 Hz, что соответствует длине волны ок. 0,1 *мм*. Волны были получены в воздухе, и оказалось, что последний весьма сильно их поглощает. Первым мощным источником У. к. был пьезоэлектрич. передатчик Ланжевена [3], предназначенный для работ в воде. Основною частью передатчика Ланжевена является пластинка Q кварца (фиг. 2), вырезанная перпендикулярно к электрической оси и снабженная плотно приклеенными к ней обкладками A, A. Если подводить к ним переменный ток, то вследствие пьезоэлектрич. эффекта (см. *Пьезоэлектричество* и *Пьезокварц*) пластинка кварца расширяется и сжимается с частотою, равной частоте переменного тока. При подходящем выборе частоты, когда собственные колебания передатчика попадают в резонанс с током, они становятся весьма мощными и излучают большую ультразвуковую энергию. В подводном передатчике Ланжевена только одна пластинка A находится в соприкосновении с водою, другая же заключена в корпус, показанный на фиг. 2 схематически пунктиром. Такие передатчики строят обычно на частоты ок. 30 000—40 000 Hz.



Фиг. 1.



Фиг. 2.

Вуд и Люмис [4] употребляли для своих опытов пластинки с весьма тонкими обкладками, практически не влиявшими на собственную частоту пластинки. Т. к. поэтому общая толщина передатчика была у них много меньше, то частота У. к. у них была много больше, именно порядка $5 \cdot 10^5$ Hz. Мясникову [5] удалось дойти до частот 10^6—10^7 Hz; передатчики в обоих случаях помещались в масляной ванне, где и распространялись ультразвуковые волны. Имеются успешные попытки получать У. к. достаточной мощности и путем использования магнетострикционных колебаний (см. *Магнетострикция*). Гейнес [6] получил весьма сильные ультразвуки посредством возбуждения магнетострикционных колебаний в никелевой трубке, на нижнюю часть которой, находящуюся в воздухе, действовало переменное магнитное поле, а верхняя, находящаяся в жидкости, излучала звук. Неудовлетворительные результаты дает и электрич. искра. В настоящее время лучшим практическим способом для получения мощных ультразвуковых передатчиков является способ Ланжевена. Опыты по получению

тем же способом ультразвуковых волн в воздухе показали, что отдача передатчиков этого типа в воздухе весьма незначительна.

Распространение ультразвуковых волн в газах и жидкостях в общем подчиняется тем же закономерностям, как и обычные звуковые волны, однако имеются и нек-рые особенности. Ультразвуковые волны в воздухе и газах весьма значительно поглощаются и тем сильнее, чем выше частота ультразвуковых волн. Кратчайшие из них, исследованные Неклепаевым, ослабляются в 100 раз, уже пройдя 6 *мм*. Волны в 8 раз длиннее ослабляются во столько же раз, пройдя 40 *см*, и т. д. Кроме того замечена некоторая дисперсия ультразвуковых волн. При больших мощностях ультразвуковых передатчиков от них кроме ультразвукового излучения идет «ветер», впервые обнаруженный Мейсснером [7] на кварцевых пластинках, наблюдающийся и у подводных передатчиков. Если, как в опытах Вуда и Люмиса, ультразвуковые волны падают на границу двух сред (в их опытах масло—воздух и масло—вода), то поверхность соприкосновения их сильно искажается вследствие т. н. звукового давления, образуются целые фонтаны мельчайших брызг, а в опытах с маслом и водой образуется эмульсия масла в воде; ультразвуковые волны, распространяющиеся вдоль по стеклянной палочке, вызывают ощущение ожога при прикосновении к ней, хотя термометр показывает только незначительное повышение $t°$. Значительны также и физиологич. действия мощных ультразвуковых волн: животные и растительные клетки и бактерии погибают в поле ультразвуковых волн, так что оказалось возможным этим способом стерилизовать молоко; поблизости передатчиков Ланжевена погибали рыбки. Возможно при дальнейшем развитии ультразвуковые волны получат терапевтич. значение. Вследствие чрезвычайно малой длины волны в поле ультразвуковых волн наблюдается дифракция световых волн, как в дифракционных решетках (Дебай и Сирс [8]). Построены (Пирс [9]) интерферометры для ультразвуковых волн, служащие для определения скоростей звука в газах и жидкостях. Разнообразны приложения У. к. в технике, причем почти все основаны на свойствах именно кварцевых резонаторов. В виду того что затухание в колеблющихся кварцевых стержнях, пластинках и в особенности кольцах много меньше, чем в электрич. контурах, последние заменяются первыми во всех случаях, когда необходим резко выраженный *резонанс* (см.). Так получили большое распространение кварцевые стабилизаторы для радиостанций (см. *Стабилизация частоты*); свойство кварца светиться при колебаниях, так как на нем появляются электрич. заряды, использовано в волноуказателях (Гибе). Частота колебаний, даваемая кварцевыми кольцами, настолько постоянна, что Моррисон [10] использовал их для электрич. часов, превзошедших по своей точности все до того известные, т. ч. кварц в настоящее время является наилучшим стандартом частоты.

Подводные кварцевые передатчики для У. к. получили еще незначительное распространение, однако вследствие их высокой частоты у них имеются два достоинства по сравнению с электромагнитными подводными передатчиками: они обладают, во-первых, большой направленностью, позволяя сосредоточить пучок исходящих от них лучей в узком телесном угле; во-вторых, они имеют (при хорошей конструкции, к-рая еще не достигнута вполне) большой кпд. В первую очередь они получили применение как приборы по определению глубин в т. н. эхо-лотах. Луч исходящего от передатчика звука направляется ко дну; отражаясь от него, возвращается к тому же передатчику, к-рый его принимает; записывающая установка регистрирует время хода звука от передатчика до дна и обратно, откуда вычисляется глубина. Ультразвуковые передатчики употребляются для телеграфирования с судна на судно, между прочим и для подводных лодок, для к-рых звуковая связь—почти единственно возможная; при этом ультразвуковой передатчик является и приемником (см. *Звук* и *Радиоакустическая сигнализация*). Были попытки применения ультразвуковых лучей для открытия подводных лодок и ледяных гор (Бойль и Рейд, 1926), для просвечивания пороков в металлах (С. Соколов [11]), однако здесь еще не получены результаты достаточно надежные, чтобы соответствующие установки могли войти в практику.

Н. Андреев.

Лит.: [1]) Cady W., «Proceed. of the Inst. of Radio Eng.», 1922, v. 10, p. 83; 1924, v. 12, p. 805; «Phys. Rev.», 1919, v. 19, p. 381; [2]) Неклепаев Н., «Ж», 1911, т. 43, стр. 101; [3]) Langevin P., «Rev. gén. d' Électr.», P., 1928, *14*; «Publ. spécial de Bureau hydrogr. de Monaco», 1924, *3*; [4]) Wood R. and Loomis L., «Phil. Mag.», L., 1927, Ser. 7, v. 4, p. 417; [5]) Мясников Л., «Журн. техн. физ.», М., 1932, т. 2, стр. 125; [6]) Gaines N., «Physics», 1932, Nov.; [7]) Meissner A., «Ztschr. f. techn. Phys.», 1926, B. 7, p. 585; 1927, B. 8, p. 75; [8]) Debye P. a. Sears F., «Proc. of the National Academy of Sciences of the U. S. of America», Wsh., 1932, v. 18, p. 410; [9]) Pierce G., «Proc. of the American Academy of Arts and Sciences», Boston, Cambridge, 1925, v. 60, p. 271; см. также статью Hubbard J., «Journal of the Acoust. Soc. of America», 1932, v. 4, p. 99; [10]) Morrison W., «Bell. System Technical Journal», N. Y., 1929, v. 8, p. 493; [11]) Соколов С., «El. Nachr.-Techn.», Berlin, 1929, B. 6, p. 454; его же, Основы электроакустики, Л., 1932 (литогр.).

С. Ржевкин.

УЛЬТРАКОРОТКИЕ ВОЛНЫ (УКВ), электромагнитные волны, длина к-рых короче т. н. короткой (нижней) границы (или «критической волны») диапазона *коротких волн* (см.), т. е. волны короче примерно 7,5 *м*; по международному соглашению (см. *Несущая волна*) к категории У. в. относятся волны с $\lambda > 10$ *м* ($f < 30\,000$ kHz). Диапазон У. в. часто подразделяют далее на диапазон метровых волн, дециметровых и т. д.

Распространение У. в. Как правило, не соблюдающееся только в совершенно исключительных случаях, У. в. не преломляются в слое Хевисайда-Кенелли и поэтому не дают тех дальностей, к-рыми отличаются волны короткие. Наблюдающееся загибание У. в. часто вполне м. б. объяснено диффракцией электромагнитных волн вокруг земного шара или теми же причинами, к-рыми объясняются явления рефракции в метеорологич. оптике (убывание коэф-та преломления с высотой вследствие убывания плотности воздуха, а м. б. и влажности). Теория распространения коротких волн дает для короткой границы λ_0 соотношение

$$\lambda_0^2 = \text{Const} \left(\frac{h}{N}\right)_{max},$$

где N—число ионов (собственно электронов) в 1 *см*^{3}, а h—высота, соответствующая данному N. Т. к. и N и h подвержены различного рода изменениям, то и величина λ_0 не м. б. какой-то вполне неизменной величиной. Поэтому в случае каких-либо возмущений в слое Хевисайда-Кенелли короткая граница принципиально может сдвигаться в сторону еще более коротких волн, подобно тому как ночью она сдвигается

в сторону волн длинных. В этом отношении мы имеем пока лишь крайне скудные опытные данные. Однако нет оснований ожидать сколько-нибудь регулярного прохождения волн короче 7,5 *м*. Эти последние проходят слой Хевисайда-Кенелли, лишь незначительно поглощаясь и весьма мало отклоняясь от своего пути. Основное отличие излучающих устройств У. в. от антенн для длинных волн, присущее, хотя и в меньшей степени, уже и устройствам коротких волн, заключается в подъеме антенных устройств У. в. над землей на высоты, соизмеримые с длиной волны, а иногда и значительно превышающие ее. Кроме того предположение относительно преобладания токов проводимости над токами смещения, справедливое при длинных волнах $\left(\text{где обычно } \varepsilon_2 \ll \frac{2\sigma_2\lambda}{c}\right)$, удовлетворяется в области У. в. лишь для случая морской воды и метровых волн и совсем не удовлетворяется как для более коротких волн, так и для распространения У. в. на твердой почве. Т. о. для У. в. в значительной мере типичным является преобладание токов смещения над токами проводимости, т. е. неравенство $\varepsilon_2 \gg \frac{2\sigma_2\lambda}{c}$ (ε_2—диэлектрич. коэф. почвы, σ_2—проводимость почвы, c—скорость света).

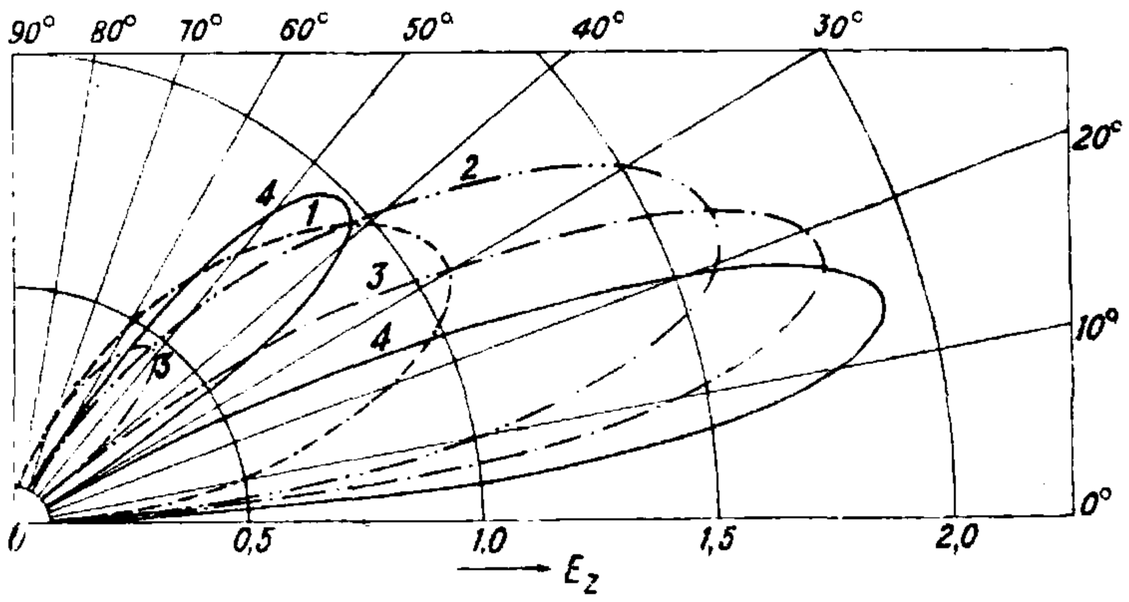
Электрич. поле У. в. в точке приема можно рассматривать как результат сложения полей двух лучей—прямого и отраженного от поверхности земли. Очевидно, что путь отраженного луча (построенного по обычным правилам геометрич. оптики, что справедливо при не слишком малых расстояниях от передатчика и не слишком большой величине $\sigma_2\lambda$) длиннее пути прямого луча. Кроме того в зависимости от угла падения луча (определяемого расположением излучающего вибратора и точки приема) и свойств «почвы», от к-рой происходит отражение, амплитуда и фаза отраженного луча отличаются от амплитуды и фазы для прямого луча и определяются при помощи коэф-тов отражения Френеля, известных из оптики. При наличии проводимости эти коэф-ты комплексны. Теория дает ф-лы, по к-рым можно произвести вычисление поля излучения У. в. в различных случаях; это поле, вообще говоря, имеет лучистую картину, детали к-рой, и в частности углы наклона отдельных лучей, определяются расположением излучающего устройства и электрич. постоянными почвы. Электрич. поле вертикального элементарного диполя определяется выражением

$$E_z = A\sqrt{1 + f^2 + 2f\cos\left(\frac{2\pi h}{\lambda}\cdot\sin\theta\right)}\cdot\cos^2\theta,$$

где $A = \frac{120\pi^2 Il}{\lambda^2}$. Если величина тока дается в А, а длина l в *м*, то E получается в V/*м*. Горизонтальная слагающая электрич. поля горизонтального элементарного диполя равна:

$$E_\varphi = -A\sqrt{1 + F^2 + 2F\cos\left(\frac{4\pi h}{\lambda}\cdot\sin\theta\right)}\cdot\sin\varphi,$$

где f и F — коэф-ты отражения Френеля соответственно для перпендикулярного и параллельного земле расположения электрич. вектора (оси диполя), h—высота диполя над землей, θ—угол падения луча, φ—азимутальный угол, отсчитываемый от оси диполя (при горизонтальном его расположении). Для горизонтального диполя поле горизонтальной слагающей E_φ максимально в направлении, перпендикулярном к оси диполя. Но горизонтальный диполь дает еще и вертикальную слагающую, поле которой имеет максимум на продолжении оси диполя. Увеличение высоты излучающего устройства над землей увеличивает электрич. поле, т. к. оно вызывает «пригибание» лучей к земле; подъем приемного устройства также усиливает прием, т. к. приводит к «углублению его в луч». На фиг. 1 и 2 даны примеры зависимости E_z вертикального и E_φ горизонтального диполей от θ для случая распространения излучения над «чисто диэлектрической почвой» ($\sigma_2 = 0$). На фиг. 1 и 2 кривая *1* рассчитана

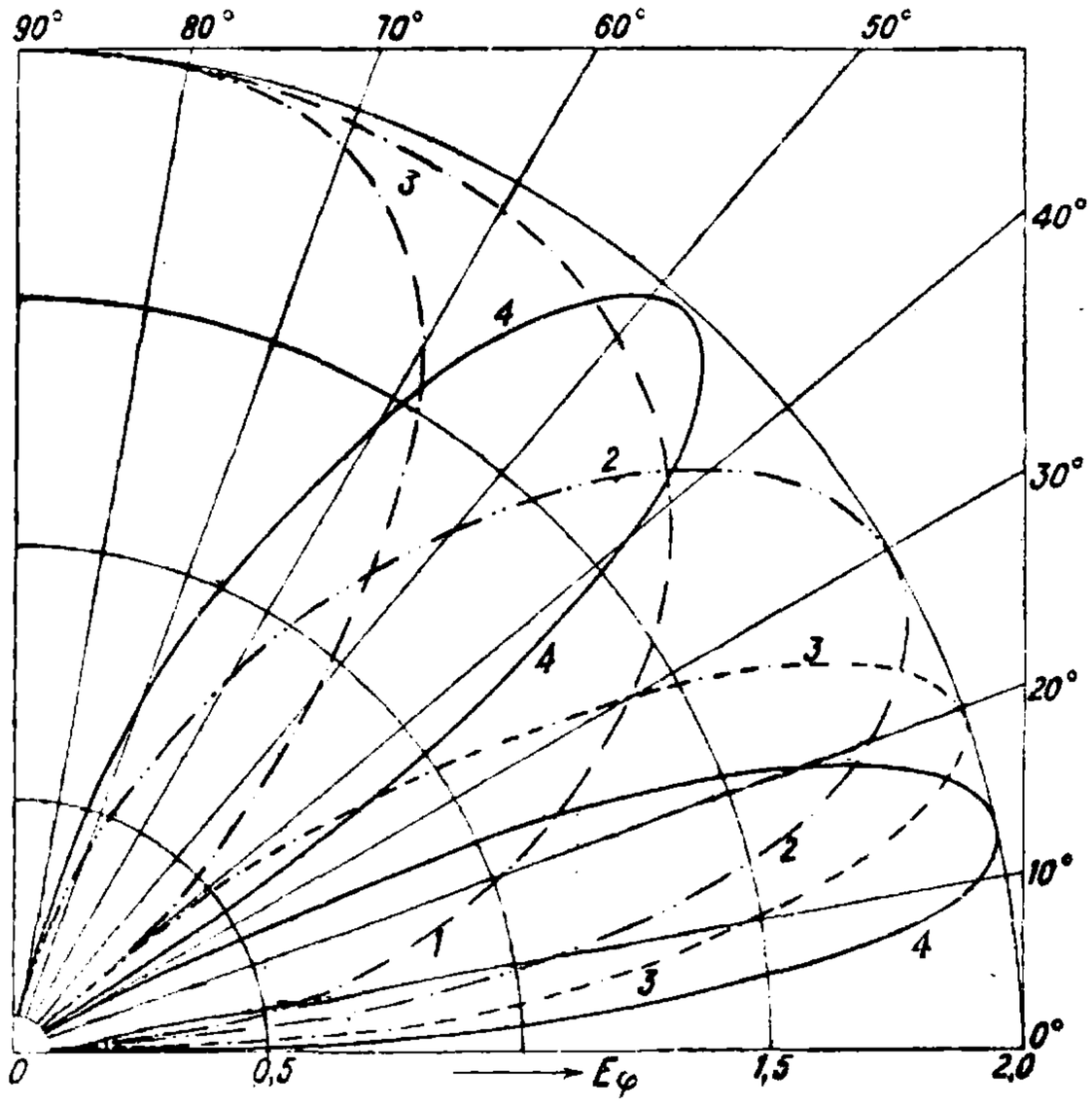


Фиг. 1.

для $h/\lambda = 0{,}25$, кривая *2* для $h/\lambda = 0{,}5$, кривая *3* для $h/\lambda = 0{,}75$ и кривая *4* для $h/\lambda = 1$. Опыт в общем хорошо согласуется с теоретич. выводами. Для наиболее распространенного случая связи на У. в., когда расстояние значительно больше высот обоих пунктов над землей, удобно пользоваться упрощенной ф-лой

$$E = 2A\frac{hz}{d^2}\ \text{V/м},$$

где h и z—высоты обоих пунктов над землей в *м*, d—расстояние между ними в *м*. Это выражение, одинаково пригодное как для вертикальных, так и для горизонтальных диполей, дает удов-



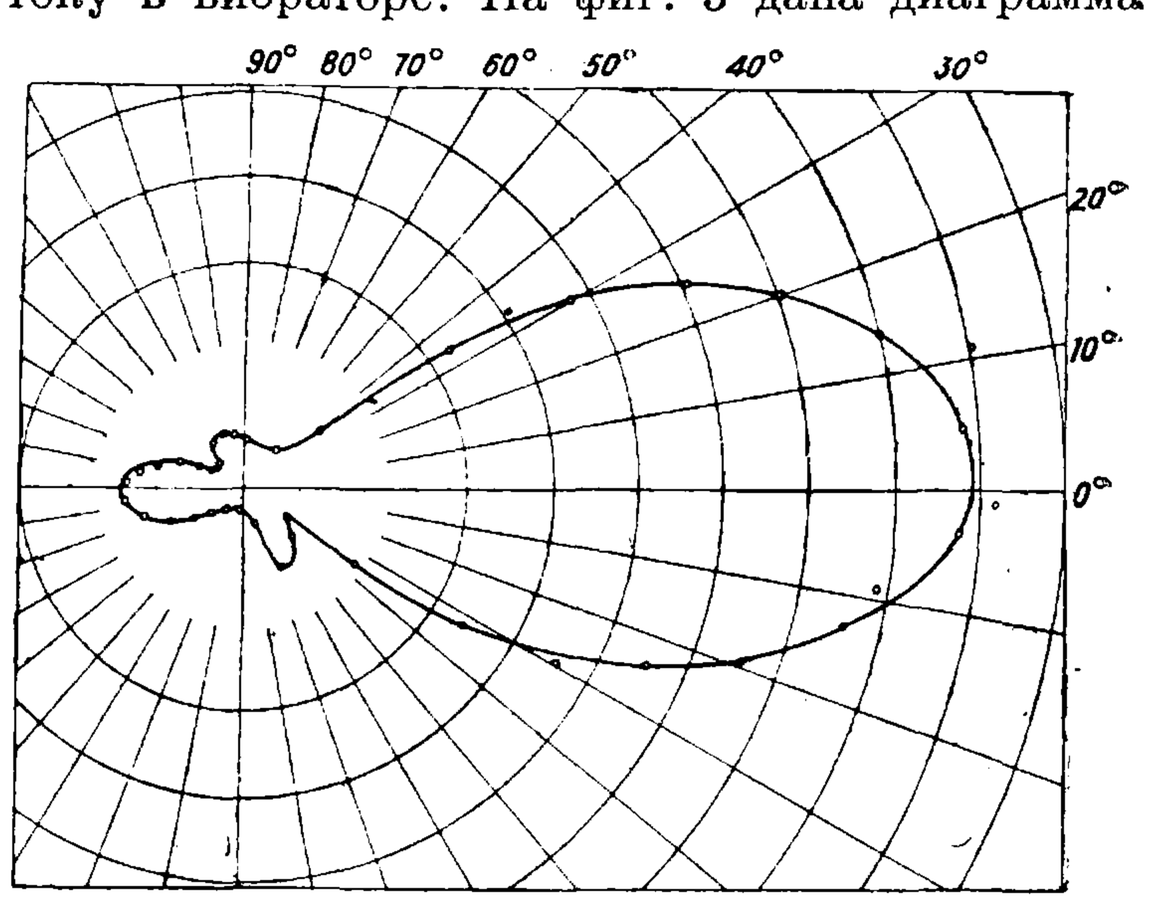
Фиг. 2.

летворительное совпадение с экспериментальными данными и вполне может применяться для ориентировочных расчетов. Для случаев, когда $\xi = \frac{2\sigma_2\lambda}{\varepsilon_2 c} \gg 1$ (напр. морская вода при $\lambda \geqslant 4$ *м*), приведенные ф-лы непригодны, и следует пользоваться более сложными выражениями, к-рые

наряду с диэлектрич. коэф-том учитывают еще проводимость морской воды. Точные ф-лы настолько сложны, что числовой обработки их до сих пор не произведено. Однако, как показывает сравнение с опытом в тех случаях, когда подъем передатчика не очень велик, с вполне достаточным приближением можно пользоваться ф-лами теории Зоммерфельда, выведенными для диполя, расположенного у самой поверхности земли. Что же касается более коротких волн, то для них ξ становятся меньше, вследствие чего законы передачи над морем приближаются к таковым для суши. Волны порядка $\lambda < 1$ *м* распространяются над морем (на близких расстояниях) в основном почти так же, как над идеальным диэлектриком. Приведенные формулы (и иные, относящиеся к тому же циклу основных посылок) относятся к плоской бесконечной «земле». Изучаемый в настоящее время факт загибания У. в. за горизонт (на λ порядка 5 *м*—до расстояний, превышающих расстояние до горизонта в 3—4 раза; на дециметровых волнах—ок. 2 раз) позволяет на основании сличения опытного материала с соответствующими теоретич. кривыми притти к выводу, что в ряде случаев закон распространения вполне достаточно объясняется теорией дифракции электромагнитных волн при их распространении вокруг земного шара. Но часто этого недостаточно, тогда повидимому можно объяснить факты загибания за горизонт рефракцией в сравнительно низких слоях атмосферы (см. выше). Количественно последний вопрос еще не разобран. Качественно за последнюю гипотезу говорит главн. обр. уменьшение слышимости на нек-ром расстоянии от передатчика (примерно линия горизонта) с последующим подъемом ее при увеличении расстояния. Этот факт, аналогия к-рого с явлениями при распространении коротких волн бросается в глаза, не м. б. объяснен иначе, как возвращением луча к земле из атмосферы. В настоящее время будущее теории распространения дециметровых волн представляется до известной степени повторением пути, к-рый прошли волны короткие; только вместо слоя Хевисайда-Кенелли здесь появляется слой, почти непосредственно прилегающий к земле; преломление лучей в нем по всей вероятности можно объяснить одним градиентом плотности воздуха. Нет оснований думать, что в распространении дециметровых волн играет существенную роль ионизация.

И з л у ч е н и е У. в. В качестве излучающих устройств для метровых волн с успехом применяются различные комбинации настроенных вибраторов, отличающиеся от употребляемых для коротких волн своими электрич. данными и геометрич. размерами. В каждой излучающей системе следует различать «активные» (питаемые) вибраторы и «пассивные» (не питаемые) вибраторы, или «отражатели». У метровых волн вибраторы чаще всего имеют длину, близкую к $\frac{\lambda}{2}$. При передаче дециметровых волн замечается тенденция приближать излучающий вибратор по размерам к «идеальному диполю», тогда как отражающие вибраторы часто, наоборот, имеют длину, которая значительно превосходит $\frac{\lambda}{2}$ или даже λ.

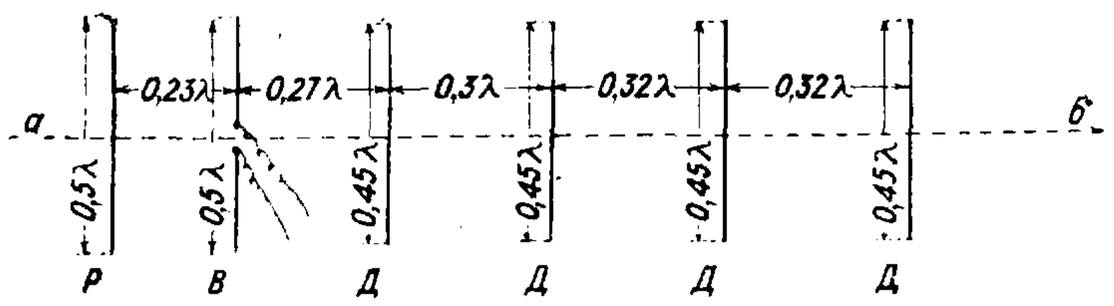
Незначительная длина У. в. позволяет с гораздо большим удобством, чем при более длинных волнах, применять различные направляющие («сгущающие поле») устройства, так как основное требование, чтобы хорошая направляющая система была по своим размерам значительно больше длины волны, очевидно тем легче выполнить, чем короче волна. На наиболее коротких волнах (порядка 10—20 *см*) с успехом применяются направляющие параболические зеркала, конструируемые наподобие оптических зеркал или же в виде параболических цилиндров. На более длинных волнах соответствующие зеркала оказываются слишком громоздкими, и там применяются системы дискретных—активных и пассивных—вибраторов [«бимы»—*лучевые антенны* (см.) наподобие коротковолновых]. Простейшим из таких устройств является пара из активного и пассивного вибраторов. Последний м. б. расположен или сзади активного вибратора, со стороны, противоположной главному направлению излучения («рефлектор»), или спереди вибратора («директор»). Рефлектор несколько длиннее основного вибратора, директор — несколько короче. Наивыгоднейшее фокусное расстояние параболич. зеркал $F \cong \frac{\lambda}{4}$. Практически достаточно удобные зеркала, при растворе 1,5—2 *м*, увеличивают напряженность электрич. поля на фокальной оси примерно в 3 раза при $\lambda \cong 50$—60 *см*. Связь вибраторов с приемнопередающей аппаратурой обычно осуществляется при помощи фидерных устройств. Настройка их достигается или путем подбора длины *фидера* (см.) и расстояния между проводниками (или же отношения $\varnothing$ трубок, составляющих фидер), или при помощи специальных переходных высокочастотных трансформаторов, или же обоими способами сразу. Сопротивление излучения вибратора, определенное экспериментальным путем, оказалось порядка 70 Ω, что дает возможность производить грубую оценку излучаемой мощности по току в вибраторе. На фиг. 3 дана диаграмма



Фиг. 3.

излучения (в горизонтальной плоскости) излучающего устройства, разработанного во Всесоюзном электротехнич. ин-те (ВЭИ), состоящего из одного питаемого вибратора, одного рефлектора и четырех директоров, отличающихся друг от друга своей настройкой. Основные соотношения размеров этой системы, выраженные в долях λ, показаны на фиг. 4, где *Р*—рефлектор, *В*—вибратор, *Д*—директоры, *аб*—направление излучения. Получение больших направленностей вдоль земли связано с применением сложных систем с несколькими питаемыми вибраторами, поднятыми для увеличения дальности действия на возможно большую высоту, что в случае метровых волн приводит к довольно громозд-

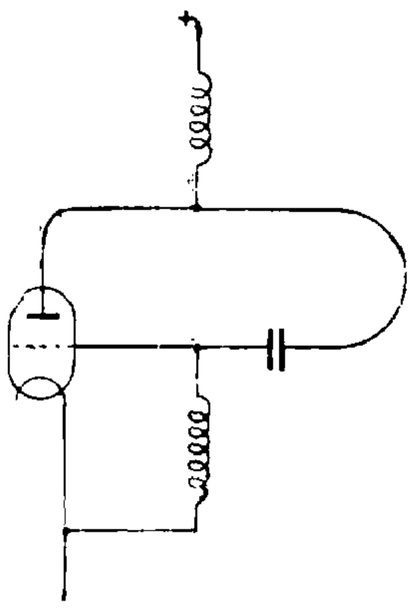
ким сооружениям. Опыты показали, что зеркала для дециметровых волн не обязательно выполнять в виде сплошных металлич. листов и что хорошие результаты дают зеркала, к-рые делают собранными из отдельных вибраторов. Применявшийся ранее при работах с дециметровыми волнами способ помещения внутри зеркала вместе с вибратором также генерирующей и приемной ламп сейчас заменяется более удобным способом, при к-ром высокочастотная энергия к вибраторам или от них (к приемникам) канализируется при помощи фидеров. Последние позволяют канализировать без ощутимых потерь энергию на расстоянии до нескольких *м*. Достаточно строгий теоретич. разбор сложных «сгущающих» устройств по сравнению с аналогичной оптич. задачей осложняется тем фактом, что все элементы этих устройств имеют размеры,



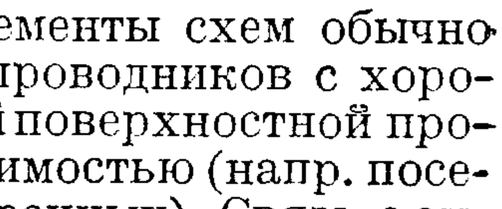
Фиг. 4.

соизмеримые с длиной волны, и находятся друг от друга на расстояниях, незначительных по сравнению с длиной волны.

Генерация У. в. К лампам, предназначенным для генерирования метровых волн, приходится предъявлять довольно жесткие требования, к-рые гл. обр. сводятся к получению большой крутизны характеристики S, необходимой для облегчения условий самовозбуждения, малых внутренних емкостей, коротких вводов достаточного сечения, строгой идентичности (т. к. емкости ламп входят в схему как «емкости контура») и хорошего вакуума. Теория и опыт показывают, что для $\lambda \geqslant 2$ *м* времени пролета электронов можно не учитывать; но при более коротких волнах оно уже должно приниматься во внимание. Из длинноволновых ламп достаточно хорошо работают лампы типов: УБ-107, УО-104, УК-30 и некоторые другие. Для генерирования мощностей порядка 10 W пригодны лампы ВЭИ-1 и ГКВ-4 («Электрозавода»), для мощностей порядка 20 W—лампы ГК-5, для 200—300 W—ВК-500 и для 2—3 kW—Г-120 с водяным охлаждением (з-да «Светлана»). Для дециметровых волн применяются или обычные лампы (Ж-9, Р-5, Ж-3) или же специальные, а также «разрезные» *магнетроны* (см.). Генерирование метровых волн легко достигается теми же методами, что и для длинных волн,—путем соответствующих изменений параметров контуров. При таких больших частотах обратная связь осуществляется обычно при помощи внутриэлектродной емкости анод-сетка. Предельная частота, к-рую можно получить с таким способом генерации, определяется тем обстоятельством, что емкость C колебательного контура не м. б. меньше соответствующей емкости лампы, и следовательно увеличение частоты может итти только за счет уменьшения самоиндукции L; увеличению частоты кладется также предел либо конструкцией лампы (самоиндукция вводов) либо—обычно еще до достижения определяемого из этих соображений предела—невозможностью удовлетворить условиям самовозбуждения при малых L и больших C. Увеличение крутизны способно до известной степени компенсировать это обстоятельство, благодаря чему форсирование накала обычно позволяет укорачивать волну. На фиг. 5 показана одна из наиболее распространенных схем, представляющая собой модификацию обычной *трехточечной схемы* (см.). Вследствие трудностей точного определения различных величин, фактически входящих в подобные схемы, точность совпадения расчетных и опытных данных обычно не превышает 70—80%. Наибольшая полезная мощность, получаемая при применении ламп типа Г-120 на волне ~5 *м*, не превышает 3 kW при кпд $\cong 60\%$. При укорочении длины волны мощность падает, и при волнах порядка $\lambda \cong 3{,}5$ *м* колебания срываются. Лампы Г-145 с крутизной ок. 2 mA/V позволяют доходить до $\lambda \cong 1{,}5$ *м*, но с довольно незначительной мощностью.

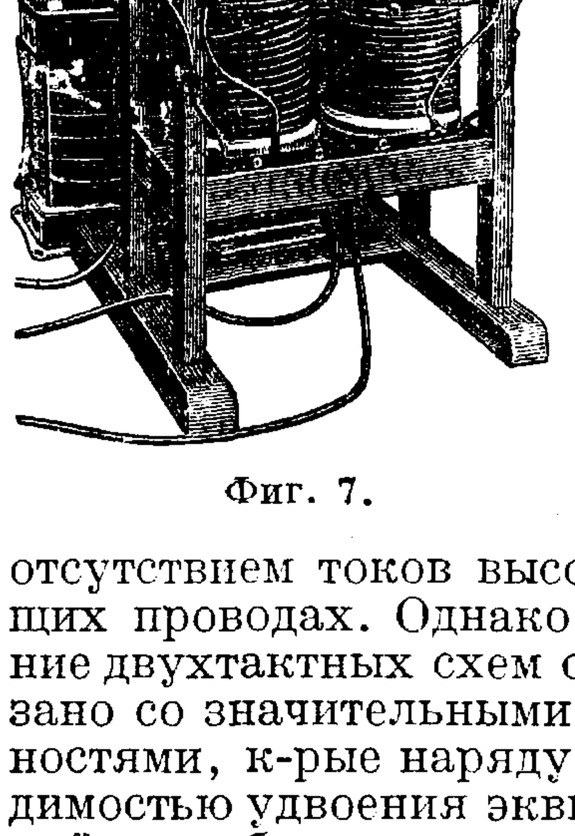


Фиг. 5.



Фиг. 6.

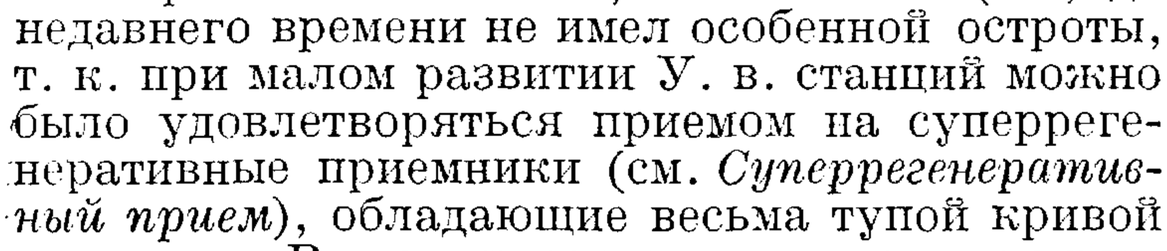
Все высокочастотные элементы схем обычно выполняются из жестких проводников с хорошей поверхностной проводимостью (напр. посеребренных). Связь с антенной осуществляется помощью витков связи, индуктивно - емкостно связанных с генератором и присоединенных к фидеру. Для увеличения полезной мощности служат сложные комбинированные схемы, состоящие из нескольких одноламповых схем. Все эти схемы в зависимости от их характера делятся на два класса—синфазные и многофазные. Общеизвестные двухтактные схемы (см. *Пушпулл*) представляют собой частный случай многофазных схем и отличаются хорошей устойчивостью в работе, которая обусловливается отсутствием токов высокой частоты в подводящих проводах. Однако рациональное построение двухтактных схем с мощными лампами связано со значительными конструктивными трудностями, к-рые наряду с возникающей необходимостью удвоения эквивалентных сопротивлений колебательных контуров понижают кпд схемы, доводя его примерно до 35%. Поэтому в этих случаях иногда целесообразно применение синфазных генераторных схем. Основной особенностью синфазной схемы (фиг. 6), предетавляющей собой параллельное соединение двух одноламповых схем (фиг. 5), является анодный контур, выполняемый в виде соленоида из двух половин, к-рые для получения суммарного эффекта в катушке связи навиты в противоположном направлении. Опыты с та-



Фиг. 7.

кими схемами показали их хорошее эксплоатационное качество и сравнительно высокий кпд (порядка 60%). На фиг. 7 изображен общий вид синфазного генератора на лампах Г-120, разработанного ВЭИ. Полезная мощность этой установки равна 4—6 kW при волнах длиной $\lambda = 4 \div 6$ *м*. Что касается модуляции генераторных схем, то она может осуществляться всеми обычными методами.

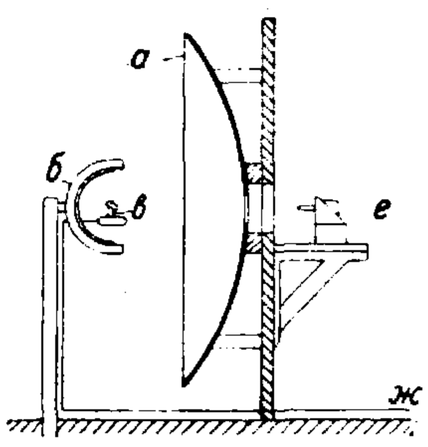
Вопрос о *стабилизации частоты* (см.) до недавнего времени не имел особенной остроты, т. к. при малом развитии У. в. станций можно было удовлетворяться приемом на суперрегенеративные приемники (см. *Суперрегенеративный прием*), обладающие весьма тупой кривой резонанса. В настоящее же время в связи с развитием У. в. сети оказался необходимым переход на *супергетеродинный прием* (см.), вследствие чего вопрос о стабильности частоты приобретает особую остроту. Он находит свое наиболее удачное решение в применении в качестве стабилизатора турмалина, а также систем с распределенными постоянными (сплошных и дискретных). Применяемая иногда стабилизация при помощи кварца с последующим *умножением частоты* (см.) требует сложной регулировки многих цепей и не всегда себя оправдывает.



Фиг. 8.

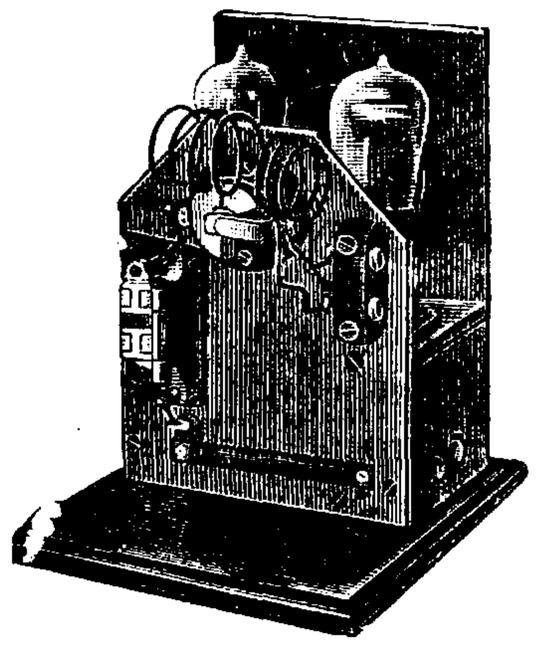
Вообще применение пьезокристаллов (см. *Пьезокварц*) для стабилизации при больших мощностях на метровых волнах необходимо связано с многокаскадным усилением на высокой частоте, что значительно усложняет установку. Внешнее оформление передающих станций принципиально ничем не отличается от оформления обычных радиоприборов. На фиг. 8 показана схема 15-W радиостанции, дававшей на лампах ГК-5 при опытной эксплоатации в г. Крапивне в 1932 г. с вертикальным вибратором, поднятым на 20 *м*, хороший прием на суперрегенератор на расстояниях до 25 *км* (при $\lambda = 6$ *м*). Переносные радиостанции ($\lambda = 4{,}5 \div 5{,}5$ *м*, лампы УБ-107) с вибратором, поднятым на 3 *м*, дают надежную связь на расстояниях порядка 4—5 *км*. Станция на лампах БК-500, установленная в центре Москвы, с направляющей системой (фиг. 4), поднятой на высоту 22 *м*, давала коммерч. прием на расстоянии 45 *км* ($\lambda = 6$ *м*). Приемник был снабжен аналогичной направляющей системой, поднятой на высоту 20 *м*, система связывалась с приемником при помощи фидера из двух параллельных проводов. Передатчик, собранный с лампой ГКВ-4 с горизонтальным вибратором, расположенным на высоте 6 *м* над поверхностью моря при приеме на горизонтальный вибратор, поднятый на 2 *м* над морем, давал уверенный прием на расстояниях до 45 *км* при расстоянии до горизонта, равном 18 *км*.

Генерация дециметровых волн производится способом наложения на сетку сравнительно большого положительного потенциала, причем анод находится при малом (±) или нулевом потенциале (Баркгаузен-Курц, 1919 г.); волна определяется гл. обр. напряжением *сетки* (см. также *Объемный заряд*), причем для оптимальных настроек $\lambda^2 E_g = \text{Const}$. Этот способ, к к-рому следует отнести и способ обычного (т. е. не «разрезного») магнетрона, дает наиболее короткие волны (до немногих *см*), но лишь малую мощность—порядка max. 1,5 W. По другому способу генерация дециметровых волн осуществляется т. н. «разрезным магнетроном» (магнетрон, анодный цилиндр к-рого разрезан на две равные части с включенным между ними колебательным контуром). Он характерен тем, что волна определяется преимущественно колебательным контуром. Этим последним способом без труда получаются мощности порядка нескольких десятков W на волнах порядка 50 *см*, с кпд порядка 20÷30%. В настоящее время уже разработаны типы радиопередатчиков с разрезными магнетронами (работы «Société Française Radio Électrique» за 1933 г.). Для получения необходимого магнитного поля в схемах таких радиопередатчиков применяются как устройства с электромагнитами, так и с соленоидами. Излучающие устройства не представляют собой каких-либо особенностей. Однако в этих схемах даже в первом приближении фидер нельзя рассматривать отдельно от колебательного контура. С зеркалом в виде параболоида вращения (раствором в 3 *м*) ВЭИ в 1932 г. удалось при $\lambda = 33$ *см* осуществить связь на расстоянии 17 *км*. Во Франции в 1931 году осуществили связь через Ламанш на 30 *км* на $\lambda = 18$ *см* при мощности ~ 0,5 W (в обоих случаях генерация колебаний по методу Баркгаузена-Курца). На фиг. 9 дана схема передающей станции с двойным рефлектором, где *а*—параболич. рефлектор, *б*—полушаровой рефлектор, *в*—диполь, *е*—волномер, *жс*—питание передатчика. Маркони отмечает связь на расстоянии в 200 *км* при поднятии передатчика на высоту в 750 *м* и приемника на 340 *м*.



Фиг. 9.

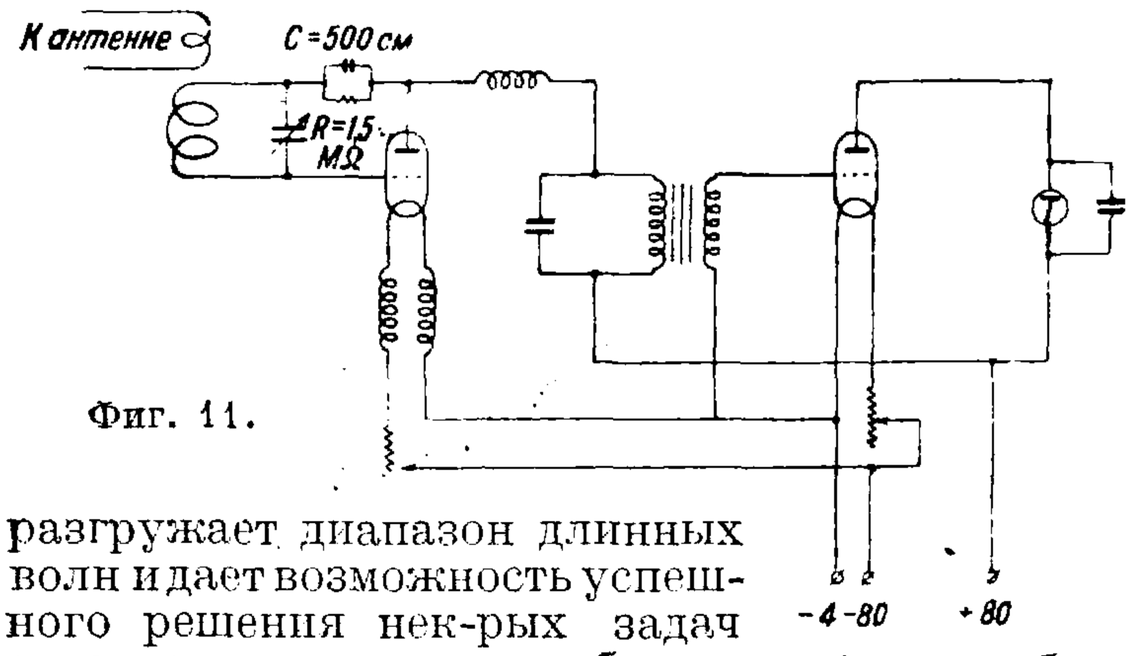
Прием У. в. Для приема метровых волн применяются суперрегенеративные приемники; на фиг. 10 и 11 показаны общий вид и схема одного из таких приемников. Наличие у этих приемников характерного шума и их сравнительно малая избирательность заставляют усиленно вести разработки других приемных устройств, гл. обр. супергетеродинных, применение к-рых даст возможность увеличения числа одновременно работающих У. в. станций до предела, определяемого из тех же соображений, что и в остальной радиотехнике. Приемники дециметрового диапазона пока мало разработаны и все работают по существу на принципе суперрегенерации и гл. обр. с генерацией по схеме Баркгаузена. Особенность этого метода приводит к тому, что рабочая настройка



Фиг. 10.

осуществляется несколько необычным способом, а именно регулировкой питания генераторной лампы. Однако высказываются взгляды о возможности построения супергетеродинов и для таких волн. Возможны также (и естественны) приемники с использованием генераторных схем, в к-рых частота определяется контуром.

Применение У. в. Большой интерес, предъявляемый к У. в., основывается гл. обр. на возможностях получения сравнительно больших направленностей при относительно малых геометрич. размерах установок и применением быстродействующей передачи, интерес к к-рой особенно обострился в связи с развитием *телевидения* (см.). Применение У. в. дает удачное решение вопроса о местном радиотелевещании,



Фиг. 11.

разгружает диапазон длинных волн и дает возможность успешного решения нек-рых задач связи с движущимися объектами (дирижабли, самолеты, речные и морские суда, поезда, проходящие мимо станций, и др.); конструкции таких радиостанций имеют много общего с неподвижными установками У. в. Применение направленного излучения помимо связи дает возможность решать такие сложные задачи, как напр. «слепая» посадка самолета в тумане (см. *Радиомаяк*), к-рая в конечном счете производится по показаниям прибора, помещенного в кабине летчика и включенного в цепь приемника. Следует также отметить физиологич. действие У. в. В настоящее время имеется ряд указаний на возможность успешного излечения злокачественных опухолей, обезболивания при операциях, усиления роста клеток, уничтожения вредителей с. х-ва и др.

Лит.: Анцелиович Е., Ультракороткие волны, 2 изд., М., 1933; Петров Н., Ультракороткие волны, Л., 1932; Введенский Б. и Аренберг А., Распространение ультракоротких волн, Москва, 1934; Введенский Б. и Аренберг А., Обзор работ по генерированию метровых волн, М.—Л., 1933; Связь на ультракоротких и дециметровых волнах, «Труды научно-исследовательских ин-тов связи», М., 1932, вып. 7 (обширная библиография). **А. Аренберг и Б. Введенский.**

УЛЬТРАМАРИН, минеральная краска, обычно синего цвета, получаемая путем прокаливания тонко измельченной смеси (шихты), состоящей из каолина, кальцинированной соды, серы, кремнезема и восстановителя (гл. обр. древесного угля, пека, канифоли и т. п. веществ). Вместо соды применяется также безводный сульфат натрия или смесь их друг с другом. Кремнезем добавляется к каолину в виде инфузорной земли или кварцевого песка с таким расчетом, чтобы отношение $Al_2O_3 : SiO_2$ равнялось 1 : 2 или 1 : 3. Все сырые материалы д. б. по возможности чистыми, не должны содержать воды и минеральных примесей. В особенности вредно действуют на цвет У. примеси железа и других металлов, образующих с серой темноокрашенные сернистые соединения. Каолин, содержащий ~14% конституционной воды, предварительно прокаливается в особых печах при $t°$ 700—750° до содержания влаги ~5%. Состав шихты изменяется в зависимости от вида и качества сырых материалов и сорта получаемого У. Церр и Рюбенкамп приводят следующие типичные составы смесей для синего У. разных оттенков:

	Светлый	Средний	Темный
Каолина	100	100	100
Соды	9	100	103
Глауберовой соли	120	—	—
Угля	25	12	4
Кизельгура	—	—	16
Серы	16	60	117

Прокаливание шихты производится в шамотовых тиглях или ретортах. Тигли после загрузки в них шихты закрывают крышками, обмазывают глиной и устанавливают на поду печи в несколько рядов колоннами по 5—6 штук. После этого входные отверстия печи закладывают кирпичом и замазывают глиной, оставляя для наблюдения за ходом процесса только несколько свободно вынимаемых кирпичей. Печи нагреваются при помощи топок, расположенных под подом. Темп-ру сначала медленно поднимают до 500°; при этом в тиглях происходит восстановление сульфата или соды в многосернистый и сернистый натрий:

$$Na_2CO_3 + 2C + S_n = Na_2S_n + 3CO,$$

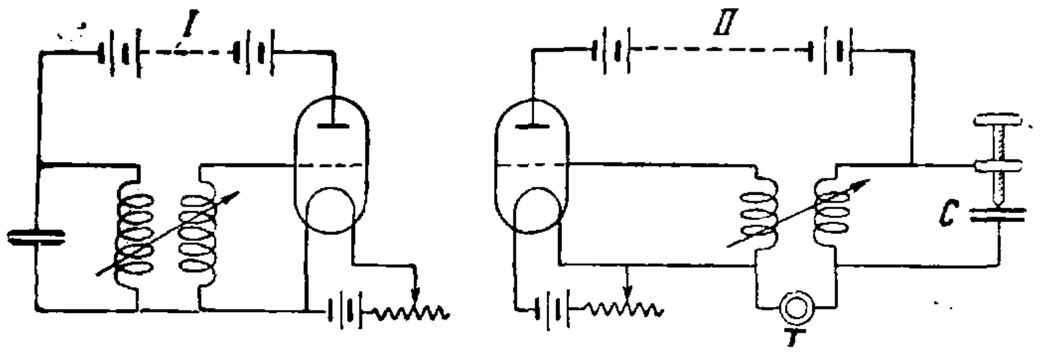
к-рый при дальнейшем нагревании печи до 800° вступает в соединение с глиноземом и кремнеземом, образуя зеленый У. состава $Na_8Al_6 \cdot Si_6S_4O_{24}$. Затем печь охлаждают, благодаря чему наружный воздух засасывается в печь и, проникая через пористые стенки тиглей, окисляет зеленый У. в синий У. По окончании процесса У. выгружают, сортируют, промывают, измельчают на мокрых жерновах, отмучивают, фильтруют, сушат, раздробляют, просеивают и смешивают различные партии У. для получения стандартного по цвету и качеству товара. Кроме описанных печей применяются цилиндрические и муфельные печи, в которых процесс получения синего У. ведется в две отдельные операции: сначала получают зеленый У., к-рый затем после раздробления нагревают снова до определенной $t°$ и обрабатывают серой. Последняя, превращаясь в SO_2, связывает нек-рое количество натрия в сернокислый натрий; при этом зеленый У. переходит постепенно в синий состава: $Na_6Al_6Si_6S_4O_{24}$. Кроме зеленого и синего У. вырабатывается некоторое количество красного и фиолетового У. Красный У. получается путем обработки синего У. хлористым водородом и кислородом при $t°$ 150—180°. Фиолетовый У. представляет смесь красного и синего. Синий У. имеет различные оттенки от светло-голубого до темносинего. Тон У. зависит также от степени его измельчения: чем мельче частицы, тем светлее и ярче получается оттенок. Для улучшения последнего к У. иногда прибавляют глицерин, хлористый кальций и другие гигроскопич. вещества. К низшим сортам примешивают гипс, мел и другие наполнители. У. находит широкое применение для подсинивания (уничтожения желтого оттенка) различных материалов: полотна, белья, бумажной массы, крахмала, сахара, мела и др., а также для окрашивания мыла, бумаги, в производстве обоев, в полиграфич. пром-сти, в малярном деле и других производствах. У. отличается большой чувствительностью к к-там, при действии к-рых легко обесцвечивается с выделением H_2S. Этот недостаток препятствует употреблению У. с веществами, содержащими даже

незначительные количества минеральных к-т, а также с маслами, смолами и другими материалами, имеющими большое кислотное число.

Лит.: Hoffman R., Ultramarin, Brschw., 1902; Bock Z., Die Fabrikation d. Ultramarinfarben, Halle a/S., 1918; его же, Die Konstitution des Ultramarins, Brschw., 1924; см. также литературу к ст. *Краски минеральные.*

П. Черенин.

УЛЬТРАРАДИОМИКРОМЕТР, прибор для измерения весьма малых физич. величин с помощью электронных ламп, генерирующих токи радиочастоты; применяется для определения весьма малых емкостей, самоиндукций, удлинений, давлений, веса, коэф-тов упругости и пр. У. могут быть подразделены на две главные категории. Первая использует метод *биений* (см.), в основном состоящий (для случая измерения удлинений) в следующем. Два *ламповых генератора* (см.) *I* и *II* (фигура), собранные по



обычной схеме самовозбуждения, настраиваются на частоты, отличные друг от друга. Если в анодную цепь одного из генераторов включить телефон *T*, то при определенных условиях в нем будет слышен тон, соответствующий разности частот обоих генераторов. Конденсатор *C* генератора *II* устраивается в виде двух параллельных металлич. пластин, из к-рых одна неподвижна, а вторая может перемещаться (в направлении, перпендикулярном к собственной плоскости), напр. под действием микрометрич. винта или же стержня, получающего удлинение, подлежащее измерению. При изменении расстояния между пластинами меняется емкость колебательного контура генератора *II* и следовательно меняется его частота, а также высота тона биений в телефоне; замечая изменение тона биений, можно подсчитать перемещение обкладки и равное ему удлинение испытуемого стержня [1,2]. Чувствительность метода в 50—100 раз превосходит чувствительность оптич. *интерферометров* (см.). В У. второй категории обычно применяется метод Доулинга, принцип к-рого состоит гл. обр. в использовании того обстоятельства, что в ламповом генераторе при известных условиях, в случае плавного изменения емкости *C* колебательного контура, анодный ток i_a начинает резко возрастать по прямолинейному закону [3]. Пользуясь тем, что на прямолинейных участках кривой $i_a = f(C)$ приращения анодного тока пропорциональны приращениям расстояния между пластинами, можно, проградуировав прибор однажды, измерять напр. весьма малые удлинения непосредственно по показаниям гальванометра. В СССР метод Доулинга был конкретно усовершенствован В. Виторским, давшим конструкции У. для измерения напр. малых удлинений (порядка 10^{-8} *см*) [4], а также У. в виде прибора для измерения малых емкостей (порядка 10^{-2} *см*) [5].

Лит.: 1) Whiddington R., Wireless Valve Circuits as Applied to the Measurements of Physical Quantities, «The Wireless World», L., 1921, *1*; 2) Handford C., A Valve Method of Detecting Minute Slipping in Metals, «Philosophical Magazine», L., 1924, *5*, p. 896—907; 3) Dowling, The Recording Ultramicrometer, «Engineering», L., 1921, v. 112, p. 395; 4) Виторский В., Измерение весьма малых физических величин с помощью катодных ламп, «ТиТбП», 1925, *32*, *33*; 5) Виторский В., Прибор для измерения малых емкостей, «Вестник теоретич. и эксперимент. электротехники», М., 1928, т. 1, *4*.

В. Баженов.

УЛЬТРАФИЛЬТРОВАНИЕ, процесс отделения дисперсных частиц от дисперсионной среды в коллоидных растворах (дисперсных системах) посредством продавливания раствора через пористую перегородку (мембрану ультрафильтра) обычно из уплотненного геля с порами определенных размеров, пропускающими молекулы дисперсионной среды, но непроницаемыми для дисперсных частиц (поры ультрафильтра обычно имеют диаметр 0,1—0,002 μ, тогда как диам. пор фильтровальной бумаги обычно более 1 μ). Процесс У. можно рассматривать как процесс, обратный *осмосу* (см.) чистого растворителя (чистой дисперсионной среды) через полупроницаемую мембрану в соответствующий коллоидный раствор. Т. к. *осмотическое давление* (см.) коллоидных растворов весьма мало, давление, потребное для У., тоже д. б. невелико. Действительно в методах Жигмонди (Zsigmondy) и Шеп'а (Schoep) для У. лиофобных золей (см. *Коллоиды*), напр. гидрозолей трехсернистого мышьяка или гидрозоля селена, достаточно применять очень малые давления. Для У. же лиофильных золей (протеины, желатина) требуются давления значительно более высокие, а скорость У. значительно меньше, что объясняется (Вольфг. Оствальд) прочной связью между дисперсной фазой и дисперсионной средой. Скорость У. пропорциональна разности давлений по обе стороны мембраны и текучести дисперсионной среды, т. е. обратно пропорциональна ее вязкости, и соответственно этому растет с повышением $t°$. У. может быть ускорено (облегчено) наложением электрич. поля, действующего электроосмотически, т. н. электроультрафильтрованием (см. *Электроосмос*).

У. служит одним из специфич. методов коллоидно-дисперсионного анализа для определения размеров коллоидно-дисперсных частиц наравне с другими «ультра-методами»: ультрамикроскопией (см. *Микроскоп*) и *ультрацентрифугированием* (см.). При этом необходимо заметить, что действие ультрафильтров сводится не только к просеивающему эффекту, т. е. определяется не только размерами пор, но обусловлено также электрическим состоянием (электрокинетическим потенциалом) их внутренней поверхности. По Бехгольду мембраны для У. приготовляются пропитыванием фильтровальной бумаги либо желатиной, фиксируемой формальдегидом, либо коллодием, растворенным в абсолютной уксусной к-те и затем коагулированным водою. Проницаемость этих мембран регулируется изменением концентрации коллоидных растворов, служащих для пропитки фильтров. Для У. коллоидных растворов в органич. жидкостях (органозолей) применяются мембраны из целлюлозы или тонкие каучуковые мембраны (презервативы). Мембранам из коллодия удобно придавать форму мешочков, как для *диализа* (см.). Проницаемость таких мембран Шеп увеличивал прибавкой касторового масла и желатины (с образованием эмульсии в коллоидном растворе до приготовления мембраны).

Лит.: Наумов В., Химия коллоидов, 3 изд., Л., 1932; Песков Н., Физ.-хим. основы коллоидной науки, М.—Л., 1932; Freundlich H., Kapillarchemie, 4 Aufl., B. 2, Lpz., 1932; Bechhold, «Ztschr. für phys. Chemie», Lpz., 1907, B. 60, p. 257, 1908, B. 64, p. 332, «Kolloid-Ztschr.», Dresden, 1906, B. 1, p. 107; 1907, B. 2, p. 3; Duclaux u. Hamelin, «Annales

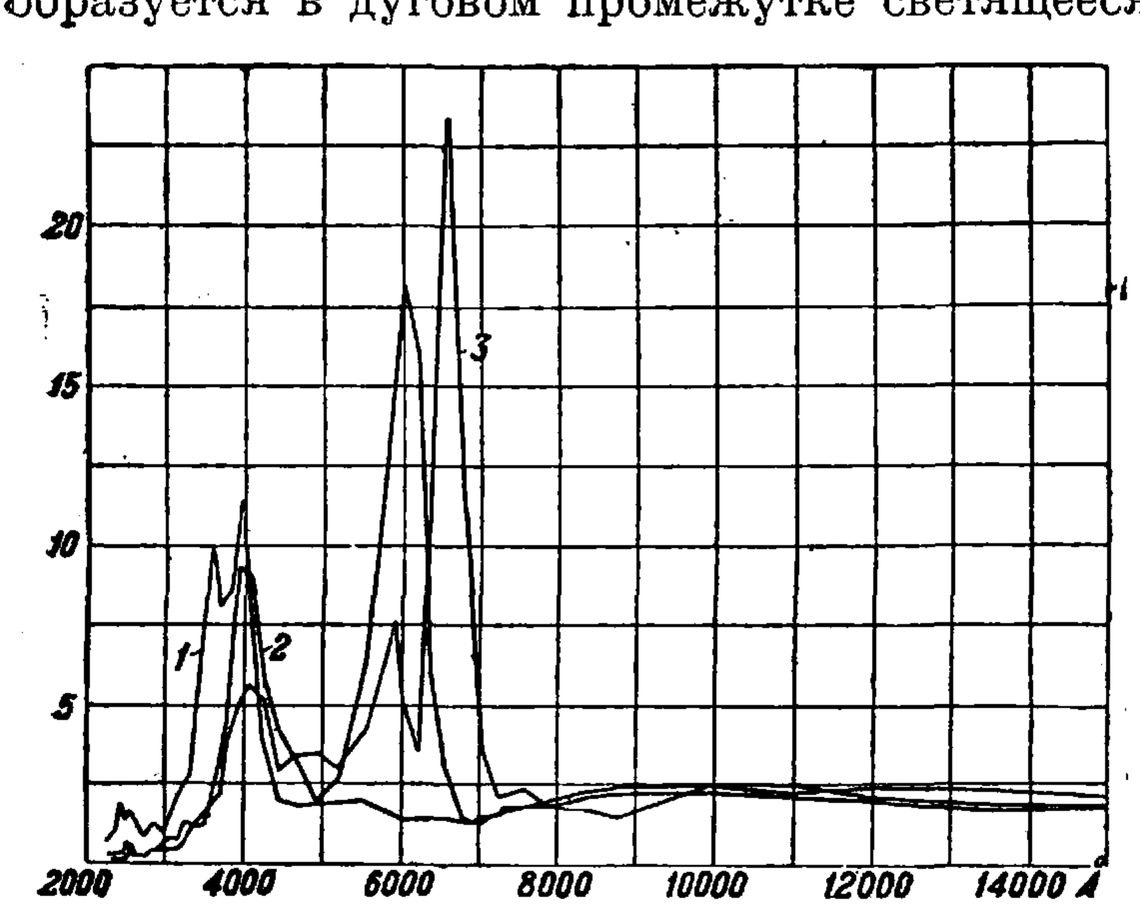
de l'Institut Pasteur», P., 1911, t. 25, p. 145; Ostwald Wolfg., «Kolloid-Ztschr.», Dresden, 1918, B. 23, p. 70; Zsigmondy, «Ztschr. f. angew. Chemie», 1913, B. 26, p. 447; 1926, B. 39, 398; Schoep, Bull. de la société chimique de Belgique, 1910, t. 24, p. 354; «Kolloid-Ztschr.», 1911, B. 8, p. 80; Bechhold u. Silbereisen, «Biochemische Ztschr.», B., 1928, B. 199, p. 1; Heymann, «Ztschr. f. phys. Chem.», Lpz., 1925, B. 118, p. 65; Bechhold, в книге Handb. d. biolog. Arbeitsmethoden, hrsg. v. E. Abderhalden, Abt. 3, W.—B., 1922.

П. Ребиндер.

УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫЕ ЛУЧИ, область спектра, граничащая с видимой со стороны коротких волн. Длинноволновой границей У. л. принято считать $\lambda = 4\,000$ Å, коротковолновая не является точно установленной. Впервые У. л. были открыты в их длинноволновой части, граничащей с видимым спектром, в 1803 г. Риттером и Волластоном по почернению хлористого серебра. Оптич. методами экспериментально изучены до настоящего времени колебания с длиной волн до $\lambda = 50$ Å. Вся эта коротковолновая часть спектра (4 000 ÷ 50 Å) делится на ряд областей, причем собственно У. л. обычно принято называть область 4 000 ÷ 1 850 Å.

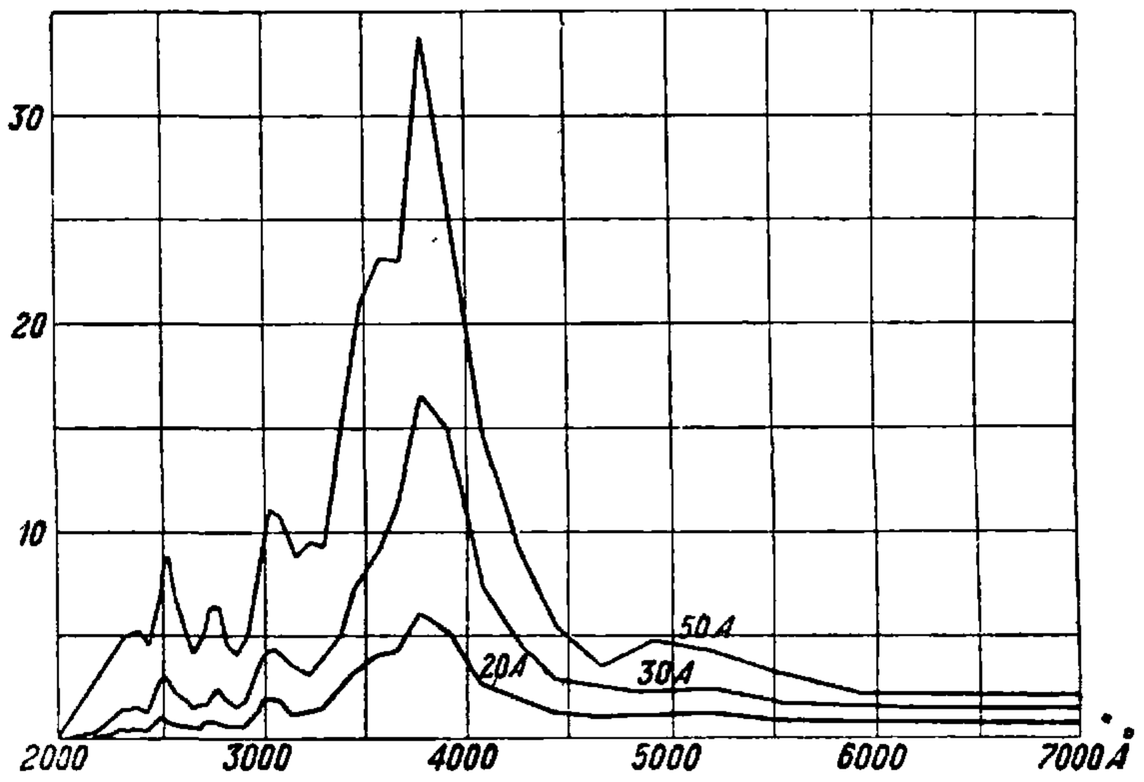
4 000 ÷ 3 000 Å	приблиз.	близкие У. л.
3 000 ÷ 1 850 Å	. . . . .	дальние У. л.
1 850 ÷ 1 200 Å	. . . . .	область Шумана
1 200 ÷ 500 Å	. . . . .	» Ляймана
500 ÷ 90 Å	. . . . .	» Милликена

Источники У. л. Наиболее простым и удобным источником У. л. (в области 4 000 ÷ 1 850 Å) является *вольтова дуга* (см.). В угольные электроды дуги вводят соли некоторых металлов, напр. Fe, Mg, Al, Ce и др. В такой дуге при средних плотностях тока (20 ÷ 50 А/*см*²) благодаря испарению паров металла образуется в дуговом промежутке светящееся



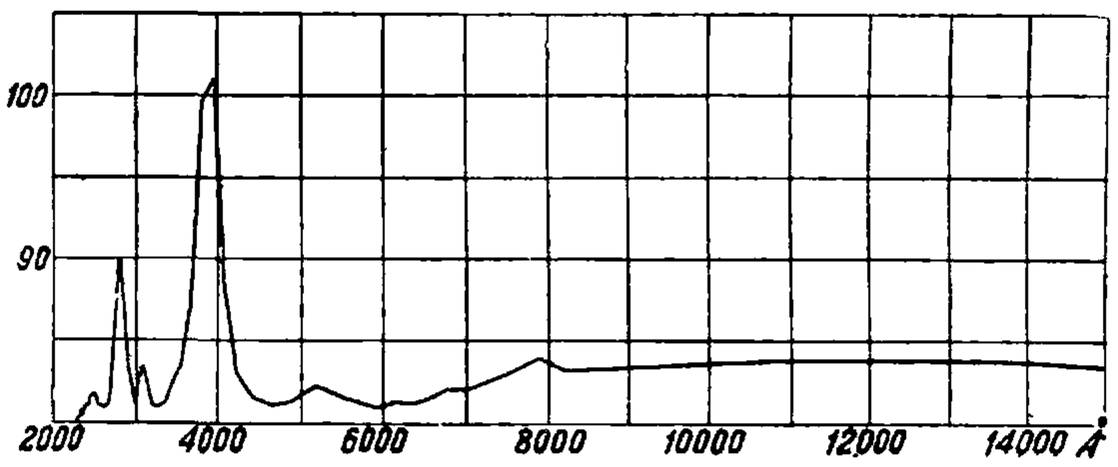
Фиг. 1.

облако, на долю к-рого приходится значительный % всего ультрафиолетового потока дуги (до 80%). Такого типа дуги называются пламенными. На фиг. 1—3 даны кривые распределения энергии по спектру пламенных дуг с различными примесями к электродам. (На фиг. 1 кривая *1*—для угольных электродов с примесью Co, *2*—с примесью K, *3*—с примесью Sr; на фиг. 2 кривые для пламенной дуги с углями типа C для разных сил тока при напряжении в 50 V; на фиг. 3 кривая для углей с примесью Mg; на всех трех фигурах один квадрат представляет энергию в 250 μW/*см*² на расстоянии 1 *м*). Т. к. пламя такой дуги имеет молекулярный спектр, то в спектре пламенных дуг получаются интенсивные линии и широкие полосы в различных частях ультрафиолета. В тех случаях, когда необходим не полосатый, а непрерывный спектр, но в близком ультрафиолете, пользуются дугой с чрезвычайно большими плотностями тока (до 150 А/*см*²), имеющей очень большую $t°$ анодного кратера (такая дуга всегда питается постоянным током) до 4 800—5 000°, так наз. высокоинтенсивной дугой. Благодаря



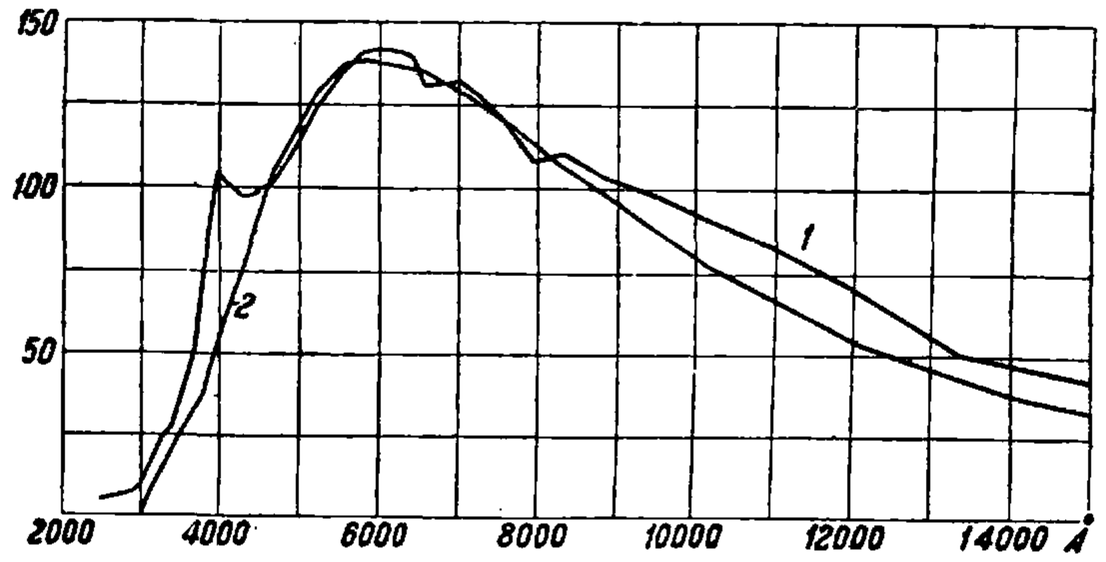
Фиг. 2.

чрезвычайно сильному электронному потоку внутри такой дуги светящееся облако (пламя) «сбивается», и основное свечение (85—90%) приходится на долю кратера. Излучение кратера при столь высокой $t°$ даже за счет просто теплового возбуждения имеет значительный %



Фиг. 3.

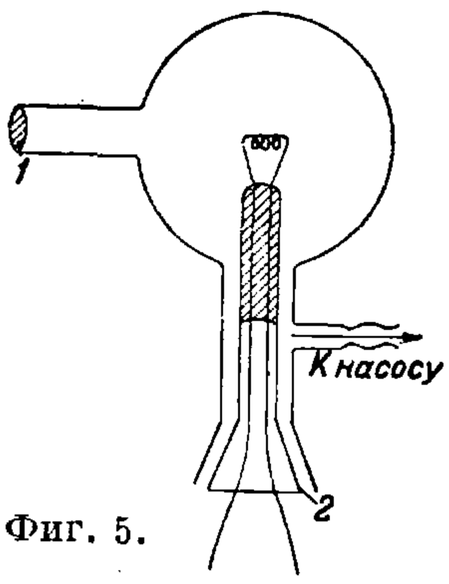
У. л. Кроме того благодаря введению солей редких элементов (напр. Ce), имеющих более высокую $t°$ сублимации, чем уголь (3 700°), основное свечение дают коллоидальные частицы карбидов редких металлов, имеющих яркость до 80 000—100 000 стильбов при указанной выше $t°$. Свечение этих частиц селективно и отличается от свечения черного тела при соответствующей $t°$ за счет несколько большего количества У. л. На фиг. 4 приведены кривые рас-



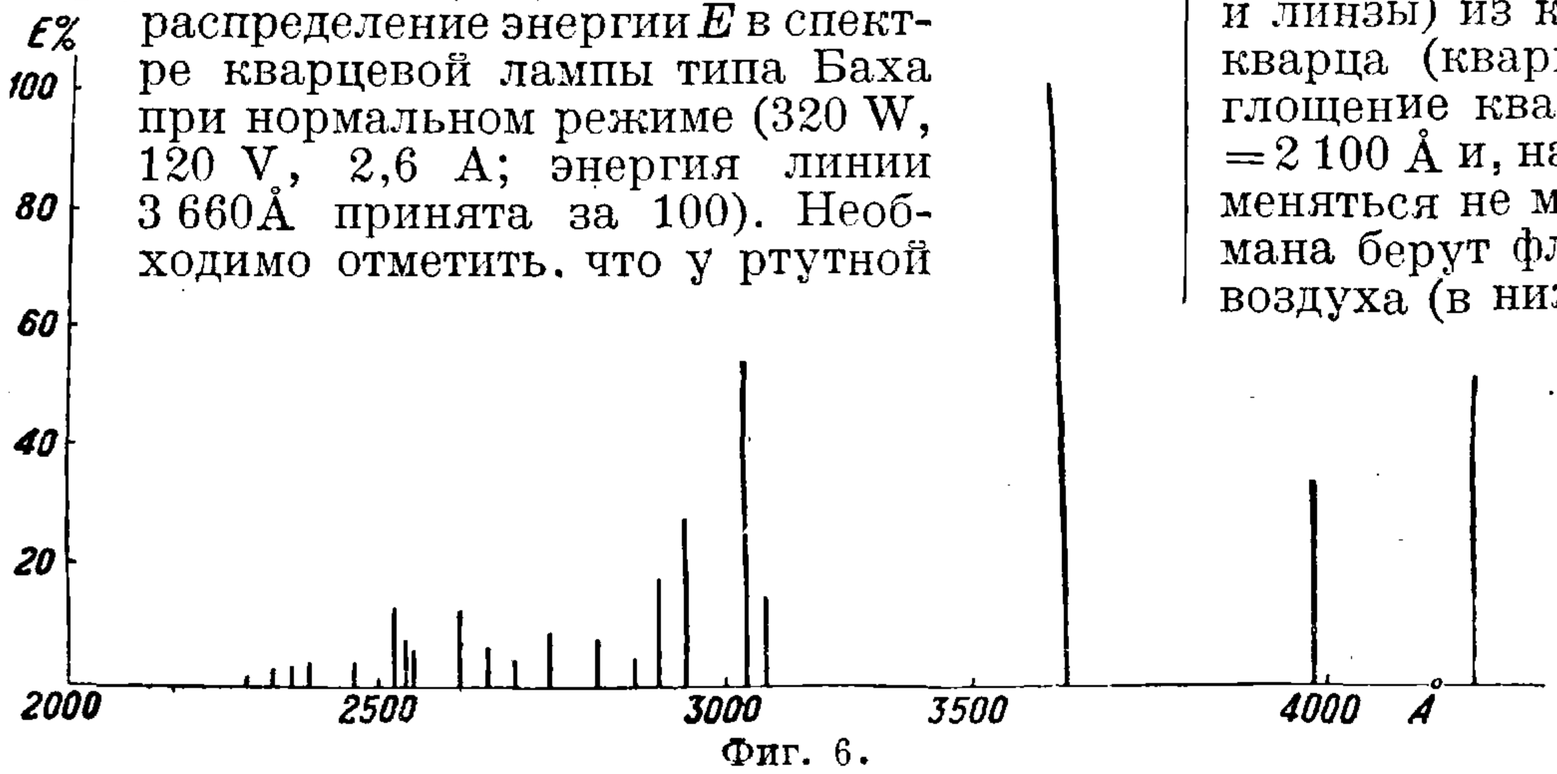
Фиг. 4.

пределения энергии по спектру высокоинтенсивной дуги (кривая *1*, при 125 А и 80 V) и солнца (кривая *2*) на поверхности земли (приблизительно одинаковые $t°$); видно, что в ультрафиолетовой части спектра энергии у дуги больше, чем у солнца. Хорошим лабораторным источником непрерывного спектра в близком

ультрафиолете является лампа Гельгофа (фиг. 5). Это—лампа накаливания с толстой вольфрамовой нитью, рассчитанной для получения высоких $t°$, на работу с большим перекалом и с соответственно небольшим сроком службы (2÷10 час.). В колбу такой лампы вмазывается кварцевое окно *1* (обычно это бывает линза, фокус которой совпадает с источником). Из-за необходимости частой смены перегорающих нитей колба такой лампы не спаивается с ножкой, а соединяется шлифом *2*, что заставляет при работе с этой лампой держать ее на насосе. Ультрафиолетовый спектр лампы Гельгофа не слишком интенсивен, так как он достаточно близко соответствует спектру черного тела при 3 300°К. Очень хорошим и удобным в эксплоатации источником линейчатого спектра У. л. на участке 4 000÷2 300 Å является ртутная дуга в кварцевой колбе, т. н. *кварцевая лампа* (см.). На фиг. 6 приведено распределение энергии E в спектре кварцевой лампы типа Баха при нормальном режиме (320 W, 120 V, 2,6 A; энергия линии 3 660Å принята за 100). Необходимо отметить, что у ртутной



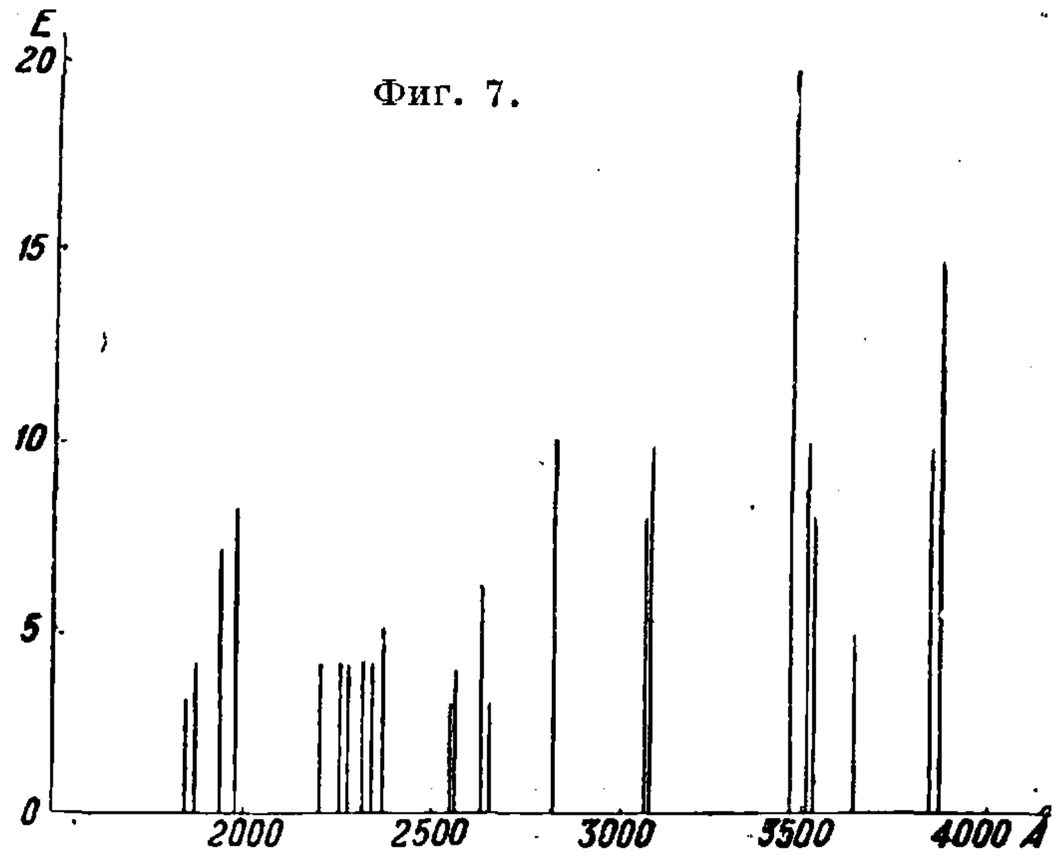
Фиг. 5.



Фиг. 6.

лампы распределение энергии по спектру очень чувствительно зависит от электрич. и теплового режима. Для получения дальних У. л. пользуются искрой с алюминиевыми электродами; при достаточной мощности (> 2 kW) она дает интенсивный линейчатый спектр в области 4 000÷1 850 Å. На фиг. 7 приведено примерное распределение энергии E по спектру такой искры. При тепловом возбуждении неселективно излучающих тел, при практически доступных $t°$ на долю дальних У. л. приходится очень малая энергия, вследствие чего для получения дальних У. л. источники с тепловым возбуждением непригодны. Поэтому число источников, обладающих непрерывным спектром У. л. с длиной волны < 2 500 Å, весьма ограничено. Для области 4 000÷1 850 Å таким источником является водородная трубка (фиг. 8); это—разрядная трубка, наполненная водородом, при давлении 1—3 *мм* Hg. На электроды *1* накладывают напряжение 3÷6 kV. Разрядный промежуток заключен в капилляр *2* для повышения плотности тока; сила тока при разряде 50÷500 mA. Для охлаждения трубки (особенно сильно разогревается капилляр) на нее надет водяной холодильник. Окно *3* для наблюдения делается кварцевым или флюоритовым, в зависимости от требований к коротковолновой границе спектра. Наблюдение ведется вдоль капилляра, что увеличивает видимую яркость свечения.

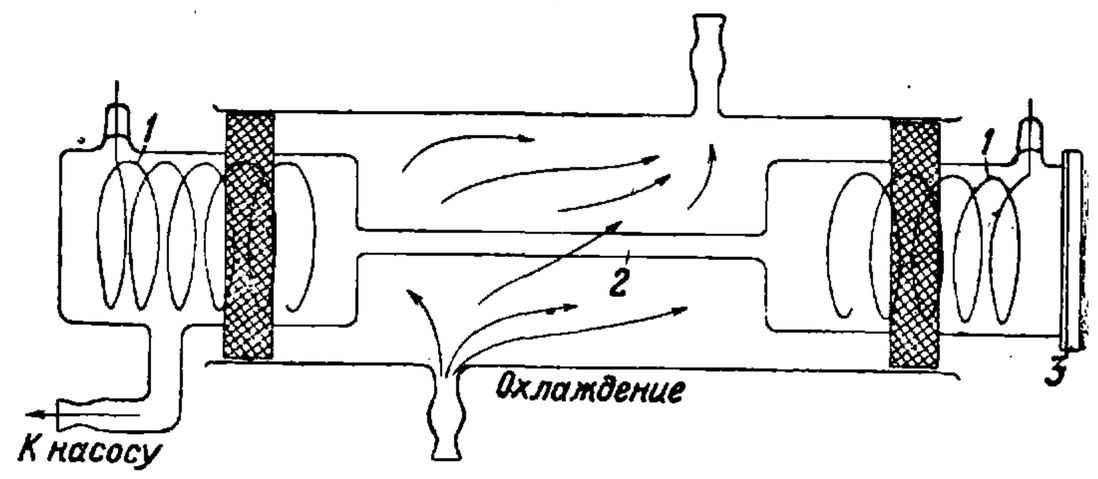
Спектрографы для У. л. С помощью обычных *спектрографов* (см.) можно изучать У. л. только до $\lambda = 3\,500$ Å, т. к. далее флинты, входящие в состав оптики этих спектрографов, имеют слишком большое поглощение. Специальные *увиолевые стекла* (см.) имеют достаточную прозрачность до $\lambda = 3\,200 \div 2\,900$ Å, далее необходимо применять оптику (призмы



Фиг. 7.

и линзы) из кристаллического или плавленого кварца (кварцевого стекла). Собственное поглощение кварца делается заметным при $\lambda = 2\,100$ Å и, начиная с 1 850 Å, кварц уже применяться не может; для изучения области Шумана берут флюоритовую оптику. Поглощение воздуха (в нижних слоях атмосферы) начинает сказываться ок. $\lambda = 1\,850$ Å, а в области Ляймана оно уже столь велико, что приходится применять спектрографы с эвакуированным воздухом—вакуум-спектрографы. Вакуум-спектрографы обычно делаются диффракционные, а не призменные, с вогнутой диффракционной решеткой, т. к. этим достигается бóльшая светосила. Наличие полосы поглощения у стекла в области коротких У. л. сильно повышает его коэф. отражения в этой области, поэтому для спектра с длиной волны короче 1 200 Å употребляются стеклянные отражающие диффракционные решетки.

Поглощение У. л. некоторыми веществами. Большинство веществ, прозрачных для видимого спектра, имеет полосы погло-



Фиг. 8.

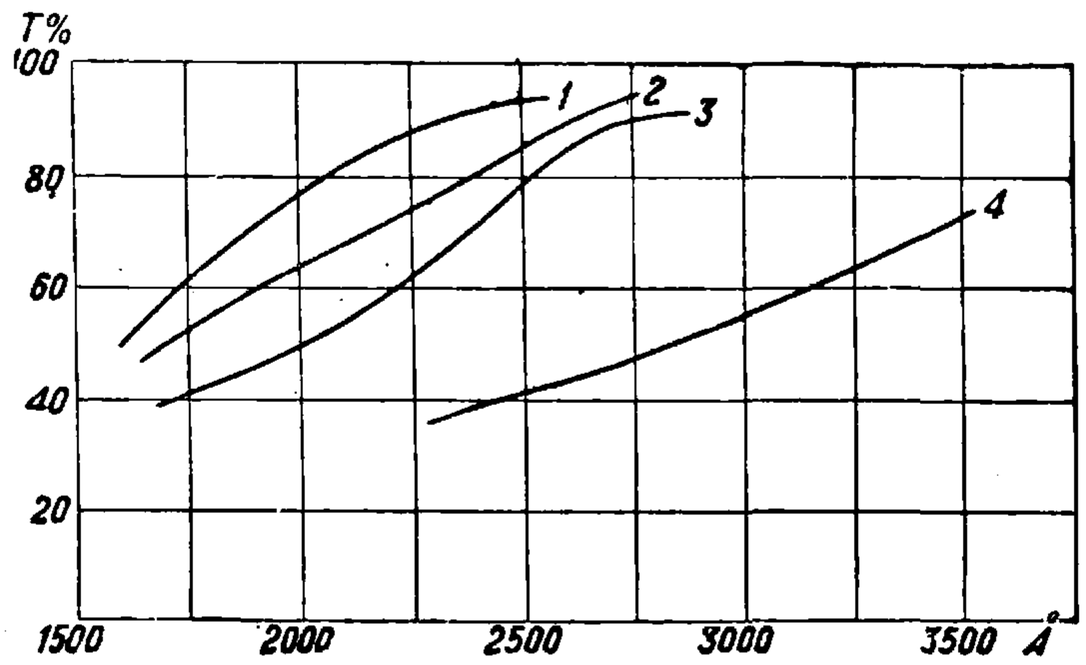
щения в ультрафиолете; веществ непрозрачных для видимых и прозрачных для У. л. весьма мало, поэтому изготовление фильтров для У. л. чрезвычайно затруднительно. Поглощение близких У. л. атмосферой происходит в основном за счет полос поглощения озона (O_3). Т. к. в нижних слоях атмосферы содержание озона очень невелико (ок. 2—3 *мг* на 100 $м^3$), то в нижних слоях У. л. с длиной волны > 2 000 Å не поглощаются, а происходит только Релеевское рассеяние их. Более короткие

($\lambda < 2\,000$ Å) У. л. поглощаются в нижних слоях благодаря присутствию паров аммиака, кислорода и других газов. В высоких слоях атмосферы благодаря большому количеству озона (эквивалентный слой 3 *мм* толщиной) поглощение У. л. начинается ок. 3 200 Å. Ниже приведена таблица оптич. плотностей атмосферы в зените (средних по временам года и дня) по Фабри и Бюиссону.

Поглощение ультрафиолетовых лучей атмосферой в зените.

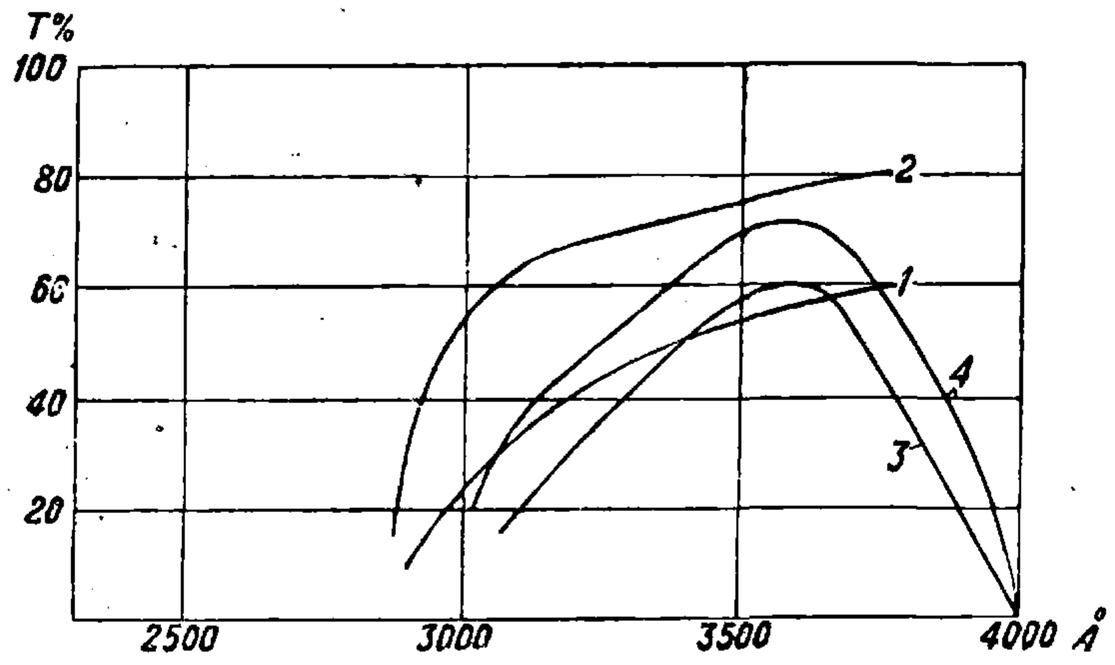
λ в Å	Оптич. плотность	Пропускание T в %
4 000	0,15	70
3 500	0,26	55
3 022	1,77	1,7
2 936	4,12	0,008
2 898	6,36	0,00005

На фиг. 9 приведено пропускание T У. л. некоторыми минералами (кривая *1* для флюорита, *2*—для кварца, *3*—для каменной соли, *4*—для



Фиг. 9.

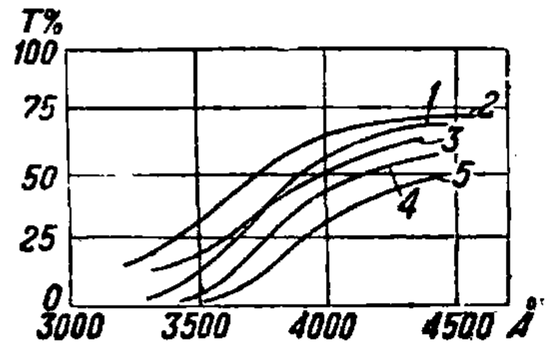
плавленого кварца), обладающими высокой прозрачностью в ультрафиолетовой области (подробно см. *Спр. ТЭ*, т. IX, стр. 153—156). Пропускание T У. л. некоторыми типами увиолевых стекол иностранных фирм изображено на фиг. 10, где *1*—синее медицинское стекло, *2*—белое Vitalux, *3* и *4*—черное Шотта; пропускание увиолевых стекол советского произ-



Фиг. 10.

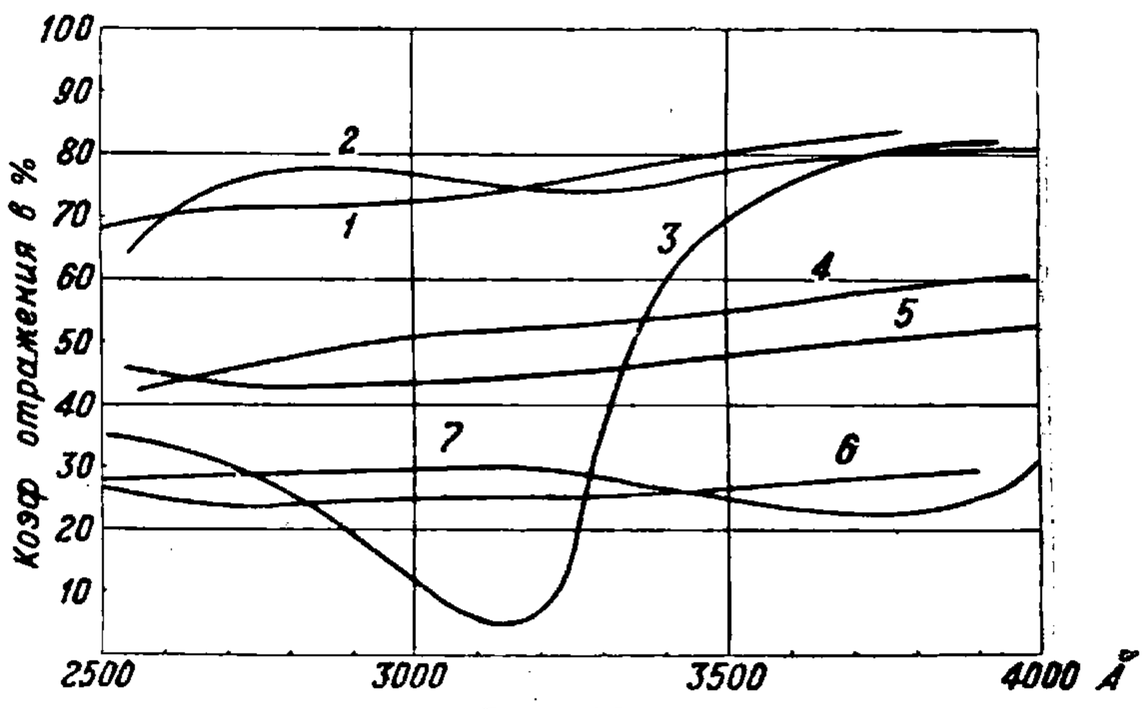
водства (Института стекла) в настоящее время, как показывают наши измерения, весьма близко приближается к приведенным данным на фиг. 10 (пропускание стеклами У. л. подробно см. *Спр. ТЭ*, т. III, стр. 176). На фиг. 11 приведены для примера данные о прозрачности нек-рых типов фотообъективов для У. л.: *1*—Тессар Цейсса 1:3,5: *2*—Ортопротар Цейсса 1:8; *3*—Ортогоз, ГОЗ, 1:4,5; *4* и *5*—Тайлор Кука 1:10 и 1:2. Как видно из кривых, некоторые объективы имеют достаточную прозрачность (40%) до $\lambda = 3\,600$ Å. О фильтрах для У. л. см. *Светофильтры*.

Зеркала для У. л. Большинство металлов, обладающих высоким коэф-том отражения в видимом спектре, в области У. л. имеет весьма невысокий коэф. отражения. Поэтому для зеркал в области 2 000—3 000 Å приходится применять специальные зеркальные сплавы, напр. Маха, Росса. В области с длиной волны короче 2 000 Å все металлы и сплавы имеют весьма низкий коэф. отражения, поэтому для этой области, как указано выше, употребляют стекло. На фиг. 12 приведены коэф-ты отражения У. л. нек-рыми металлами: *1*—магналия, *2*—цинка, *3*—серебра, *4*—стали, *5*—никеля, *6*—меди, *7*—золота (подробно см. *Спр. ТЭ*, т. VIII, стр. 26—30).



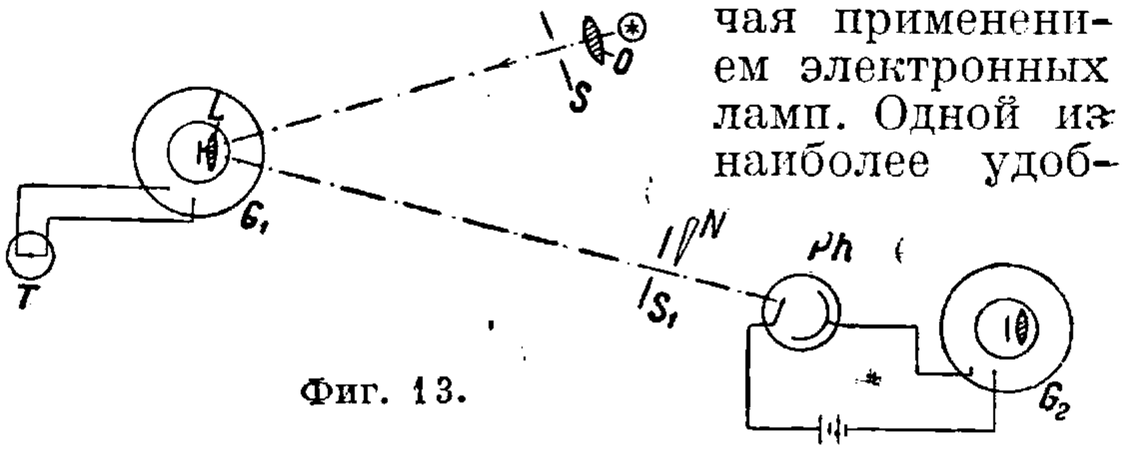
Фиг. 11.

Наблюдение У. л. и измерение их энергии. Обычно применяемые в видимой и инфракрасной областях спектра термоэлектрич. и болометрич. методы наблюдения и измерения лучистой энергии, основанные на тепловом ее действии, м. б. применимы также и для У. л. Но благодаря тому, что У. л. почти



Фиг. 12.

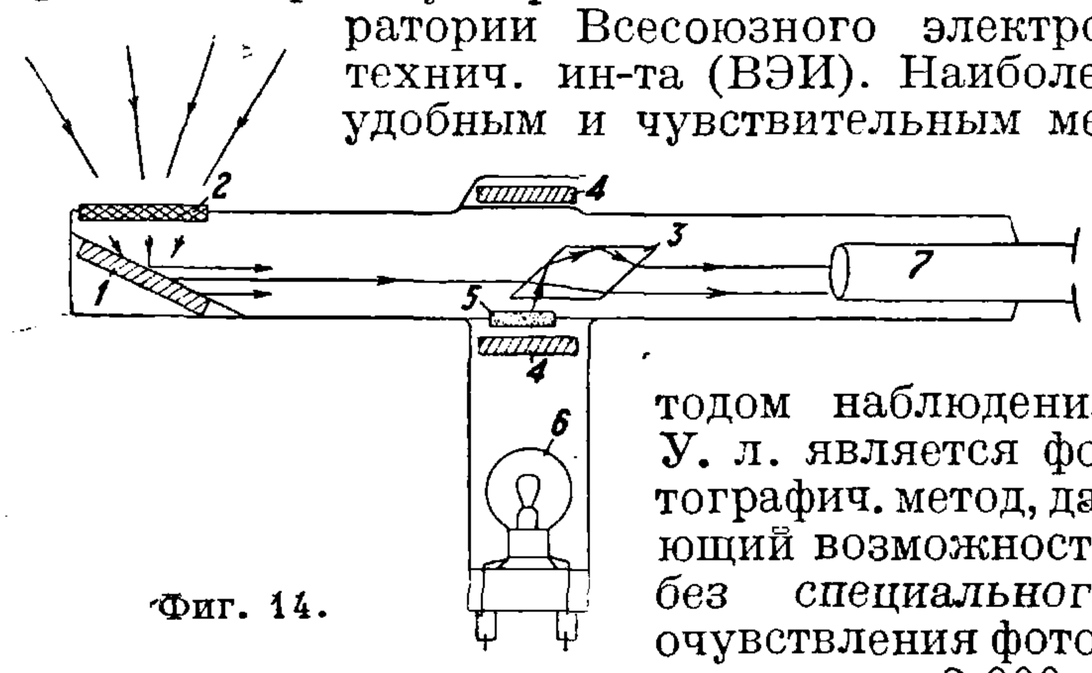
от всех источников несут в себе очень небольшую энергию, их тепловое действие очень невелико, и производство измерений указанными способами требует применения высокочувствительных термоэлементов и гальванометров (10^{-14}—10^{-15} А). В виду трудности работы с такими высокочувствительными гальванометрами пользуются методом усиления термотоков с последующим их измерением менее чувствительными приборами. Способы усиления могут быть самые различные, начиная с простых резонансных раскачиваний гальванометра и кончая применением электронных ламп. Одной из наиболее удоб-



Фиг. 13.

ных является схема с фотоэлектронным реле (предложена Null'ом), когда термотоки преобразуются в фототоки, для измерения которых не нужно столь высокочувствительных гальванометров. Схема изображена на фиг. 13. Световой пучок, идущий от осветителя O, падает на зеркало гальванометра G_1; линза L дает изображение S_1 в щели S осветителя

O. Щель имеет форму прямоугольника или решетки. В том месте, где получается изображение, помещается нож *N* или вторая решетка. Тогда при перемещении изображения, происходящем вследствие поворота зеркальца гальванометра G_1, который включен в цепь термоэлемента *T*, изменяется количество света, проходящее за нож. Позади ножа помещен фотоэлемент *Ph*. Если в нулевом положении изображения нож полностью закрывал его, то при возрастающем смещении будет возрастать фототок, причем весьма малым смещениям будут соответствовать довольно значительные изменения фототока. При силе термотоков в 10^{-11} А в этой схеме обходятся гальванометрами G_1 и G_2 чувствительностью 10^{-9} А. Схема эта в широких пределах линейна, удобна в работе и проста в обращении. Она была проверена и широко употребляется в оптич. лаборатории Всесоюзного электротехнич. ин-та (ВЭИ). Наиболее удобным и чувствительным методом наблюдения У. л. является фотографич. метод, дающий возможность без специального очувствления фотопластинок регистрировать излучение до 2 000—1 850 Å. Способ сенсибилизации фотопластинок для более коротких У. л.: эмульсия покрывается слоем флуоресцирующего вещества, флуоресценция которого при возбуждении дальними У. л. имеет спектр в близких ультрафиолетовых или фиолетовых лучах, которые регистрируются эмульсией. Примером такого вещества может служить эскулин или машинное масло. Фотографич. метод является наилучшим как метод наблюдения, однако как измерительный он далеко не совершенен, т. к. до настоящего времени, даже при принятии всех необходимых предосторожностей (учет поправки Шварцшильда и т. д.) и работе с наилучшими фотоматериалами ошибки при нем (в области У. л.) не м. б. сделаны менее 20—30%. Одним из наиболее удобных методов измерения энергии У. л. является фотометрич. метод (предложен акад. С. И. Вавиловым в 1924 г.), заключающийся в визуальном фотометрировании флуоресценции, вызванной излучением У. л. Количественная зависимость яркости флуоресценции от качественного и количественного состава возбуждающего излучения была изучена в 1931 г. Фабрикантом, установившим пропорциональность выхода флуоресценции при длине волны возбуждающего излучения в интервале 3 665÷2 537 Å (см. *Спр. ТЭ*, т. IX, стр. 268). На принципе измерения яркости флуоресценции в Оптич. лаборатории световакуумтехнич. отдела ВЭИ был сконструирован прибор (фиг. 14)—«флуоресценц-фотометр» (Гинзбургом, Пульвером и Фабрикантом)—для измерения интегральной ультрафиолетовой «освещенности», распределения энергии по спектру в У. л. (на фиг. 14: *1* — флуоресцирующий экран — урановое стекло; *2*—черное стекло; *3*—фотометрич. ромб; *4*—цилиндрич. фотометрич. клин; *5*—молочное стекло; *6*—лампа сравнения; *7*—окуляр). Этот же прибор при соответствующей градуировке лампы сравнения может быть проградуирован на абсолютные единицы, тогда он будет «квантометром».

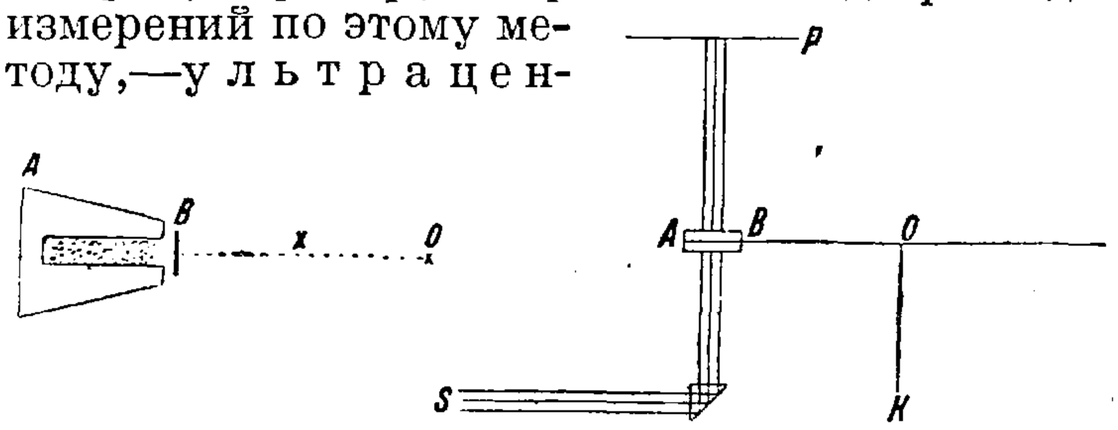


Фиг. 14.

Биологическое действие У. л. Еще в 19 в. было замечено, что в высокогорных местностях солнечное излучение значительно активнее действует на человеческий организм, чем на уровне моря. Т. о. было установлено, что близкие У. л., количество к-рых в спектре солнца с высотой растет, полезны для человеческого организма. Практич. применение облучения людей и животных У. л. показывает, что в этом направлении можно достигнуть весьма больших успехов в смысле лечебного действия У. л. Но все же большое количество работ, сделанных по изучению действия У. л. в широкой спектральной области на организм, не привело к какой-либо цельной теории. Эмпирически замечено, что различные части ультрафиолетового спектра действуют по-разному. Поэтому в настоящее время принято делить ультрафиолетовый спектр на три части: А—4 000 ÷ 3 100 Å—часть, безразличная по отношению к организму; В—3 100 ÷ 2 800 Å—т. наз. область Дорно, полезно действующая, и С — < 2 800 Å,— вредно действующая. Несмотря на многочисленные работы благодаря отсутствию общей теории применявшиеся до сих пор методы лечения У. л. не имеют под собой твердой научной базы и не всегда м. б. *достаточно обоснованы. Лишь теперь*, с открытием Гурвичем митогенетич. излучения и благодаря широко ведущимся работам по изучению фотохимич. реакций витаминов, можно ожидать, что будет построена полная теория взаимодействия сложных биологич. процессов (напр. организма) и излучения.

Лит.: Хвольсон О., Курс физики, т. 3, Берлин, 1923; Данкворт П., Люминисцентный анализ в фильтрованном ультрафиолетовом свете, пер. с нем., М., 1931; Greider G. a. Downes A., The Carbon Arc as a Source of Artifical Sunshine, Ultraviolet a. other Radiation, «Transactions of the Illuminating Engineering Society», Easton, Pa, 1932, v. 27, 7; Bleibaum J., Quantitative Strahlungsmessungen an kunstl. u. natürl. Strahlungsquellen, Jena, 1931; Wawilow S., Die Fluoreszenzausbeute von Farbstofflösungen als Funktion der Wellenlänge des anregenden Lichtes, «Ztschr. f. Physik», Lpz., 1927; Bay Z. u. Steiner W., Das kontinuierliche Wasserstoffspektrum als Lichtquelle für Absorbtionsversuche im Ultraviolette, ibid., 1927. **В. Гинзбург.**

УЛЬТРАЦЕНТРИФУГИРОВАНИЕ, метод ускоренной седиментации (осаждения) высокодисперсных коллоидных частиц, введенный Сведбергом (1923) как новый метод коллоиднохимического исследования для определения размеров оседающих частиц, т. е. для целей дисперсионного анализа (см. *Седиментометрия*). Прибор, построенный Сведбергом для измерений по этому методу,—ультрацентрифуга (см. фигуру)—представляет собою обычную *центрифугу* (см.), в к-рой вращение сосудика *AB* с коллоидным раствором происходит вокруг оси *OK* в горизонтальной плоскости и с весьма значительной скоростью, создающей поле центробежной силы, иногда в 100 000 раз превышающее нормальное поле тяжести ($10^5 g$). Сосудик снабжен плоскопа-



раллельными стенками и при прохождении через определенную точку окружности вращения автоматически фотографируется (*S*—источник света, *P*—движущаяся фотопленка). Полученная кинематограмма позволяет посредством микрофотометрирования определить для каждого момента границу оседающих частиц в достаточно монодисперсной системе. Таким образом удается определить скорость оседания дисперсных частиц $v=\frac{dx}{d\tau}$, а следовательно, пользуясь законом Стокса (см. *Седиментометрия*), и их радиус и мол. вес, т. е. мицеллярную массу (относительную массу мицеллы, или частицы, по отношению к массе атома кислорода равной 16)

$$F=6\pi\eta r\frac{dx}{d\tau}, \qquad (1)$$

где $F=V(D_1-D_2)\omega^2x$ — центробежная сила, действующая на дисперсную частицу объемом $V=\frac{4}{3}\pi r^3$, плотностью D_1 в дисперсионной среде, плотность к-рой D_2, η—вязкость, ω—угловая скорость центрифуги и x—расстояние до оси вращения. Интегрируя (1) и принимая во внимание наблюдения двух положений границы оседания x_1 и x_2, соответствующих на кинематограмме двум моментам τ_1 и τ_2, находим выражение для среднего радиуса r частицы

$$r=\sqrt{\frac{9}{2}\frac{\eta}{(D_1-D_2)\omega^2}\frac{\ln\frac{x_2}{x_1}}{(\tau_2-\tau_1)}}. \qquad (2)$$

Так, для одного из Au-золей Сведберг находит по (2), что $r=2{,}4$ $m\mu$; ультрамикроскопически же получается $r=2{,}5$ $m\mu$. Кроме того удается количественно наблюдать Перреновское равновесие распределения дисперсных частиц в центробежном поле, вполне аналогичное тому, которое наблюдалось с грубо-дисперсными частицами в обычном поле тяжести. Эти последние измерения позволяют, пользуясь общепринятым значением числа Авогадро ($N=6{,}06\times10^{23}$), вычислить массу дисперсных частиц (мицелл). Действительно, для седиментационного равновесия из условия равенства «потоков» растворенного вещества (от центра под влиянием «осаждающего» действия центробежной силы и обратно к центру под влиянием диффузии) имеем

$$RT\ln\frac{c_1}{c_2}=\frac{\omega^2V(D_1-D_2)N}{2}(x_2^2-x_1^2), \qquad (3)$$

где c_2, c_1—концентрации дисперсной фазы в точках x_2 и x_1, определяемые микрофотометрированием снимков по сравнению со стандартами определенной концентрации. Т. к. вес частицы $M=NVD_1$, из (3) легко найти M:

$$M=RT\ln\frac{c_1}{c_2}\frac{2D_1}{\omega^2(D_1-D_2)}\frac{1}{(x_2^2-x_1^2)}$$

(см. *Молекулярный вес*). У. было применено Сведбергом и его последователями в Упсале (Швеция) и в США не только для исследования типичных лиофобных золей, например золей золота, но и значительного числа гидрозолей биоколлоидов (протеинов, гемоглобина крови и т. д.) с целью определения мол. веса растворенных веществ в этих золях, оказавшегося порядка 10 000—100 000. Т. о. вопросы, разрешаемые методом У., представляют не только большой дисперсоидологический, но и значительный биохимич. интерес. В случае полидисперсных систем (золей) У. может служить для снятия кривых распределения массы дисперсной фазы по размерам частиц.

Лит.: Freundlich H., Kapillarchemie, 4 Aufl., B. 2, Lpz., 1932; Svedberg Th. u. Nichols, «Am. Soc.», 1923, v. 45, p. 2910; 1926, v. 48, p. 3081; 1927, v. 49, p. 2920; Svedberg u. Rinde, ibid., 1924, v. 46, p. 2677; Svedberg, «Ztschr. f. phys. Chemie», Lpz., 1926, v. 121, p. 65; «Kolloid-Ztschr.», Dresden, 1930, B. 51, p. 10; Tiselins, «Ztschr. f. phys. Chemie», Lpz., 1926, B. 124, p. 449; Lamm, ibid., 1929, A, B. 143, p. 177. **П. Ребиндер.**

УМБРА, натуральная краска коричневого цвета, состоит из глины, окрашенной окислами марганца и железа, является продуктом выветривания железных руд, содержащих марганец; по внешнему виду очень сходна с охрой. Встречается во многих местах, гл. образом на о-ве Кипре, в Италии, Германии и других странах. Добывание и обработка сырой У. производится таким же образом, как и *охр* (см.). Состав и оттенок У. подвержены значительным колебаниям. В среднем сырая умбра содержит 7÷14% Mn_2O_3, 25÷35% Fe_2O_3, 7÷14% Al_2O_3, 20÷30% SiO_2, 4÷8% $CaCO_3$ и 10÷17% H_2O. Эти составные части обычно связаны друг с другом в виде различных силикатов. Сырая У., имеющая часто зеленоватый оттенок, после прокаливания принимает красновато-коричневый цвет и называется ж ж е н о й У. Краска отличается хорошей светопрочностью, стойка к щелочам и атмосферным влияниям; благодаря содержанию марганца высыхает быстро несмотря на значительное количество масла, необходимого для затирания краски. Кроющая способность в зависимости от состава У. колеблется в довольно широких пределах, но благодаря сильной абсорбции света в большинстве случаев довольно значительна. У. часто применяется с различными связующими веществами в живописи, малярном деле, полиграфической пром-сти, для выделки обоев, в производстве клеенок, линолеума, искусственных камней, при получении олифы и для многих других целей. **П. Черенин.**

Лит.: см. *Краски минеральные.*

УМНОЖЕНИЕ ЧАСТОТЫ электромагнитных колебаний, процесс получения частот электромагнитных колебаний, кратных нек-рой основной частоте, генерируемой тем или иным способом [см. *Беспроволочная связь*, способы возбуждения (генерации) колебаний]; У. ч. является одним из видов *частоты трансформации* (см.). В практич. радиотехнике У. ч. применяется главным образом для одной из следующих целей: 1) или постепенного повышения основной частоты, генерированной соответствующим источником [используется преимущественно в машинных *радиопередатчиках* (см.)], 2) или обычно в форме у д в о е н и я для того, чтобы избегнуть необходимости нейтрализации *обратной связи* (см.) (встречается чаще всего в ламповых радиопередатчиках, главным образом коротковолновых); о применении У. ч. в измерениях см. *Частоты измерение*; о ламповых методах У. ч. см. *Частоты трансформация.*

У. ч. может быть произведено двумя путями: 1) помощью вращающихся машин или 2) статически. К первой категории можно отнести машины системы Гольдшмидта и Бетено (см. *Высокой частоты машины*), а ко второй—все статич. умножители частоты, работающие на принципе искажения формы кривой тока или напряжения в электрич. цепи. В дальнейшем излагаются принципы У. ч. статич. путем.

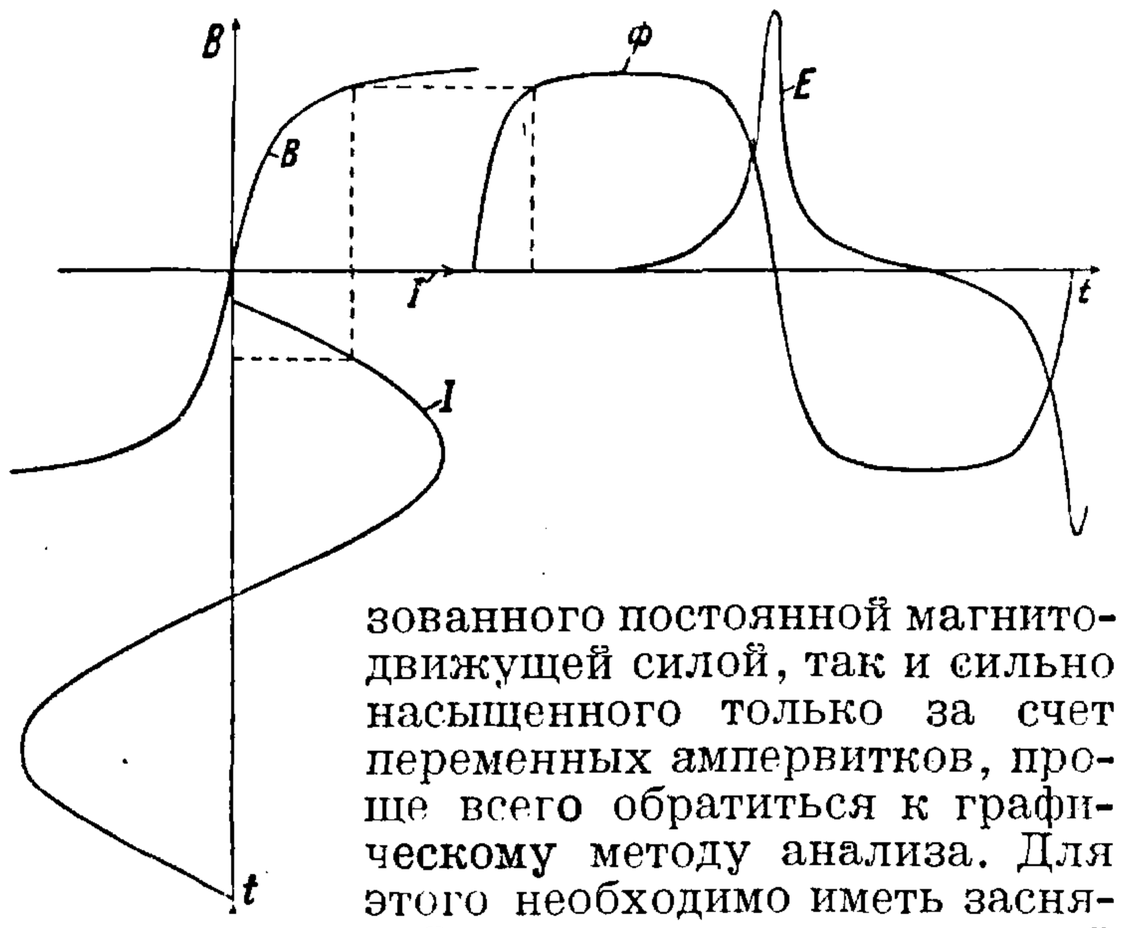
Если к цепи, состоящей из последовательно включенных емкости, самоиндукции и активного сопротивления, приложена синусоидальная эдс, и все ее параметры не претерпевают

изменений, а в любой момент времени имеют одну и ту же постоянную величину, то на каждом участке цепи как напряжение, так и ток будут также синусоидальны. Однако достаточно, чтобы один из параметров цепи стал меняться с течением времени в функции от тока или напряжения, как неизбежно произойдет искажение формы кривой одного или обоих аргументов. Всякая несинусоидальная периодич. кривая м. б. разложена в ряд Фурье на основную и высшие гармонические, причем последние м. б. специально выделены и дать некоторую мощность. Т. о. основным условием У. ч. статич. путем является необходимость функциональной зависимости между одним из параметров электрич. цепи и ее током или напряжением. Этому условию удовлетворяют: 1) катушка самоиндукции, снабженная железным сердечником, в к-рой значение коэф-та самоиндукции зависит от тока, идущего по ее обмотке, что м. б. выражено ф-лой

$$L_0 = \frac{w d\Phi}{di} 10^{-8} = \frac{0{,}4\pi w^2}{l} \frac{dB}{dH} s\, 10^{-8} \text{ генри},$$

где w—число витков, Φ—магнитный поток, создаваемый током i, B—магнитная индукция, H—напряженность магнитного поля, l—активная длина катушки; 2) конденсатор с диэлектриком из сегнетовой соли, в к-ром величина диэлектрич. постоянной зависит от величины напряжения, приложенного к его обкладкам, и 3) электронный или ионный вакуумный прибор с меняющимся внутренним сопротивлением.

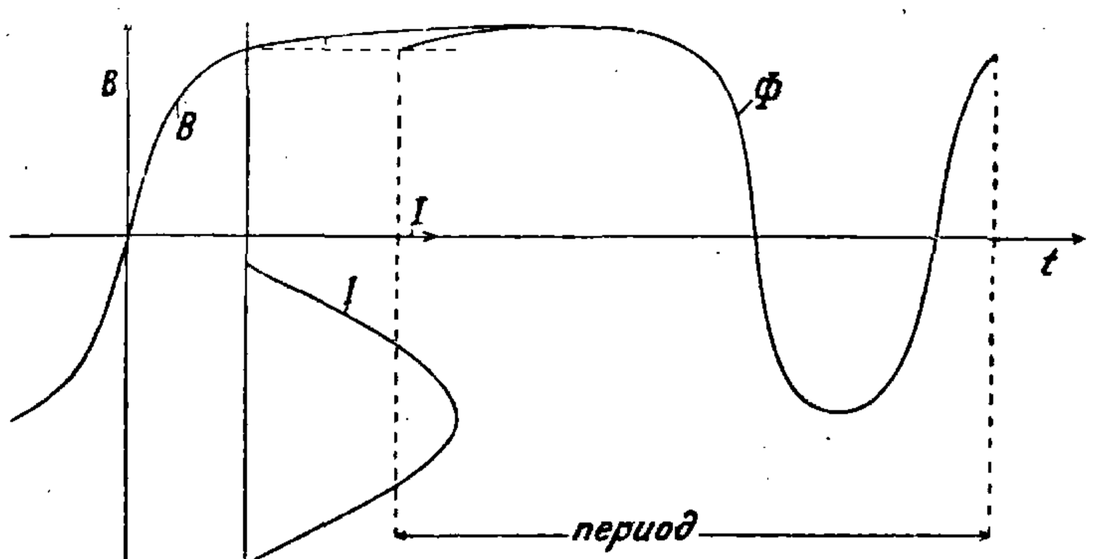
I. У. ч., основанное на принципе изменения самоиндукции. Высшие гармоники эдс в катушке самоиндукции с железным сердечником. Для разрешения вопроса о том, какие высшие гармоники будут иметь место в напряжении на зажимах катушки самоиндукции с железным сердечником как в случае железа, поляризованного постоянной магнитодвижущей силой, так и сильно насыщенного только за счет переменных ампервитков, проще всего обратиться к графическому методу анализа. Для этого необходимо иметь заснятый с натуры гистерезисный шлейф железа и кривую формы тока, идущего по обмотке катушки. В случае синусоидального переменного тока I с угловой частотой ω для определенного сорта железа на фиг. 1 (в правой ее части) построена кривая потока Φ, которая м. б. по общим правилам разложена в ряд Фурье. Как видно, кривая симметрична относительно оси абсцисс, т. е. в ней могут содержаться только нечетные гармоники высшего порядка, почему разложение м. б. представлено в виде



Фиг. 1.

$$\Phi = \sum_{n=1}^{n=\infty} \Phi_{(2n-1)} \sin[(2n-1)\omega t + \varphi_{(2n-1)}] =$$
$$= \Phi_1 \sin(\omega t + \varphi_1) + \Phi_3 \sin(3\omega t + \varphi_3) +$$
$$+ \Phi_5 \sin(5\omega t + \varphi_5) + \ldots,$$

где n—любое целое число, φ_1, φ_2, ...—фазовые углы. Т. о. всякая катушка самоиндукции с железным сердечником, будучи включена в цепь переменного тока, достаточного по величине для насыщения железа, может служить



Фиг. 2.

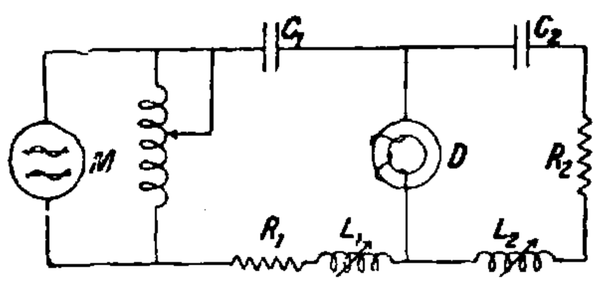
умножителем частоты в нечетное число раз, т. к. все высшие гармоники, имеющие место в кривой потока, будут содержаться и в кривой эдс (кривая E на фиг. 1). Если рассмотренную выше катушку снабдить добавочной обмоткой, по к-рой пропустить постоянный ток, то (фиг. 2) симметрия магнитного потока относительно оси абсцисс нарушается. По свойствам рядов Фурье это означает, что в данной кривой может содержаться весь ряд высших гармоник как четных, так и нечетных, и разложение м. б. представлено в виде

$$\Phi = \sum_{n=1}^{n=\infty} \Phi_{(2n-1)} [\sin(2n-1)\omega t + \varphi_{(2n-1)}] +$$
$$+ \sum_{n=1}^{n=\infty} \Phi_{2n} \sin(2n\omega t + \varphi_{2n}) = \Phi_1 \sin(\omega t + \varphi_1) +$$
$$+ \Phi_2 \sin(2\omega t + \varphi_2) + \Phi_3 \sin(3\omega t + \varphi_3) +$$
$$+ \Phi_4 \sin(4\omega t + \varphi_4) + \ldots$$

при тех же обозначениях. Поэтому катушка самоиндукции с железным сердечником, включенная в цепь переменного тока, будучи наполяризована постоянным током, может служить умчожителем частоты в любое число раз.

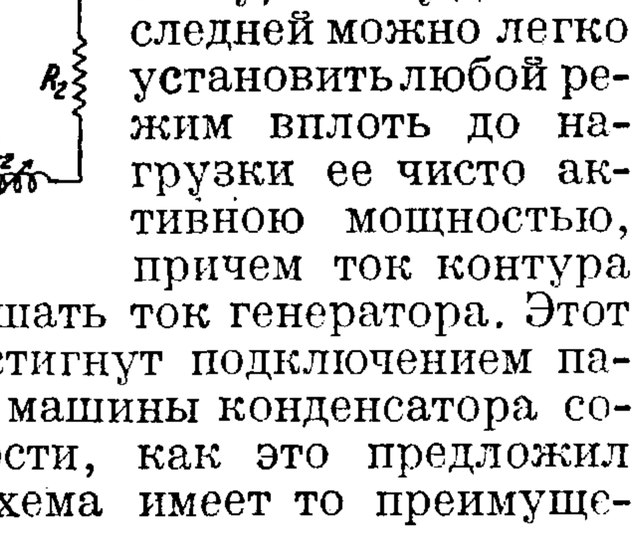
Схемы включения умножителей частоты в цепь переменного тока. Обычно во всех существующих схемах У. ч. сам умножитель включается в резонансный контур. Делается это из следующих соображений. Прежде всего для получения той или иной гармоники необходимо насытить железо. Это условие при непосредственном включении умножителя частоты на зажимы генератора приводит к необходимости строить последний на весьма большие по сравнению с мощностью киловольтамперы из-за наличия весьма малого коэф-та мощности. С другой стороны, если эдс генератора синусоидальна, то при таком включении не м. б. и речи о нужном искажении кривой напряжения на зажимах умножителя. Все высшие гармоники будут содержаться в токе, причем они, замыкаясь через генератор, создадут в нем весьма вредные добавочные потери и вследствие малого кажущегося внутреннего сопро-

тивления почти не повлияют на форму кривой напряжения. Правда, если между машиною и умножителем последовательно включить еще небольшую катушку самоиндукции без железа, то при прохождении через нее несинусоидального тока напряжение на ее зажимах будет содержать высшие гармоники. Связав с этой катушкой резонансный контур, в последнем можно выделить ту или иную гармонику. Однако такой способ У. ч. из-за весьма небольшого кпд практически не употребляется. Он м. б. назван методом трансформации на частоту тока, в отличие от обычно применяемого способа трансформации на частоту напряжения. Для того чтобы генератор работал не на чисто индуктивную нагрузку, самоиндукцию умножителя компенсируют последовательно включенной емкостью, а для задержания высших гармоник тока в полученный т. о. резонансный контур включают катушку самоиндукции без железа. Катушку без железа берут обычно с значительно бо́льшим коэф-том самоиндукции, чем у катушки с железным сердечником. При соблюдении этого условия ток, проходящий по резонансному контуру, м. б. принят в первом приближении синусоидальным, а все высшие гармоники останутся в напряжении умножителя частоты. Для того чтобы не загружать машину, работающую на умножитель частоты, реактивным током, Пунгс предложил схему, по которой генератор работает на воздушный автотрансформатор (фиг. 3). При таком включении часть реактивного тока имеет возможность пройти по катушке связи, минуя машину, почему для последней можно легко установить любой режим вплоть до нагрузки ее чисто активною мощностью, причем ток контура может сильно превышать ток генератора. Этот же эффект м. б. достигнут подключением параллельно зажимам машины конденсатора соответствующей емкости, как это предложил Оснос. Последняя схема имеет то преимущество, что конденсатор предохраняет машину от высших гармоник тока, представляя для последних весьма малое сопротивление. Во всех схемах вторичная умноженная частота обычно выделяется в настроенном на нее резонансном контуре.



Фиг. 3.

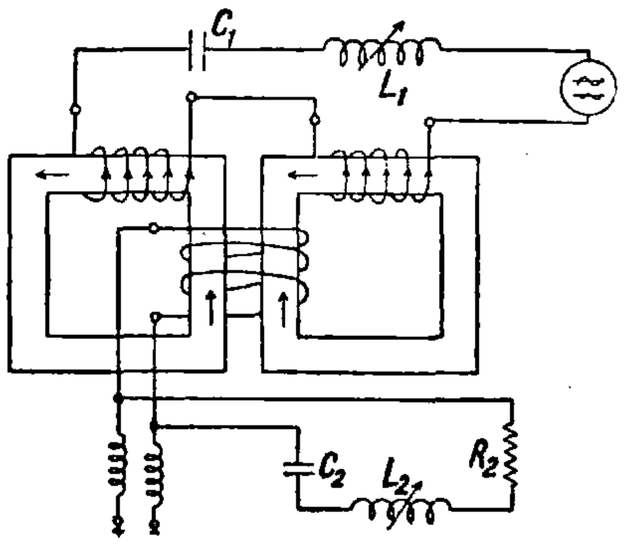
Холостой ход умножителя частоты с поляризацией его железа постоянным током. 1) Общий случай. Правильное выделение требуемой гармоники в случае применения дросселя с поляризацией железа постоянной магнитодвижущей силой зависит прежде всего от верного выбора как соотношения между амплитудою переменных ампервитков $AW_{\sim max}$, приложенных к железу, и ампервитками постоянного тока AW_g, так и от абсолютного значения последних. На фиг. 4 и 5 приведены кривые, при помощи которых легко найти наивыгоднейший режим работы умножителя частоты. На них по осям ординат отложены отношения амплитуды эдс гармоники E_n к эдс основной волны E_1, а по осям абсцисс—вышеуказанные отношения ампервитков. Из рассмотрения этих графиков следует, что только при некоторых совершенно определенных значениях отношения $\frac{AW_{\sim max}}{AW_g}$ та или иная гармоника имеет один или несколько максимумов, а неправильный выбор режима работы ведет даже к полному отсутствию гармоники. Кривые фиг. 4 и 5 служат исходной точкой расчета умножителей частоты данного типа.



Фиг. 4.

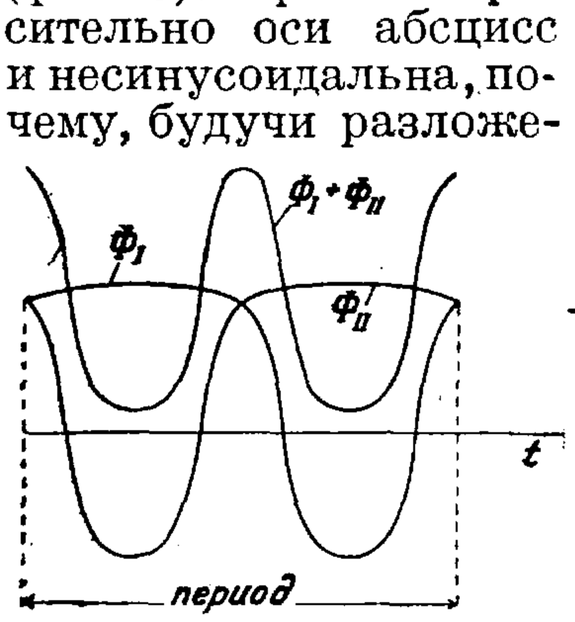
Фиг. 5.

2) Умножитель частоты в четное число раз. Практически для технич. целей при У. ч. в четное число раз почти никогда не употребляется включение только одного железного сердечника с двумя обмотками—рабочей и поляризующей. Обычно применяются специальные схемы включения. Наиболее употребительная из них схема Жоли-Эпштейна (фиг. 6). Умножитель частоты данного типа состоит из двух железных сердечников с тремя обмотками. Одна из них, общая для обоих сердечников, является обмоткой поляризации и одновременно обмоткой умноженной частоты. Остальные же две принадлежат к первичной обмотке и включены таким образом, что при прохождении по ним переменного тока в одном из сердечников создается магнитодвижущая сила, складывающаяся с магнитодвижущей силою поляризующих ампервитков, а в другом—вычитающаяся из нее, т. е. переменные магнитодвижущие силы сердечников сдвинуты по отношению ко вторичной обмотке на 180°. Так. образом в каждый момент времени какой-либо из сердечников сильно насыщен, другой же работает при сравнительно малых индукциях. На фиг. 7 представлены кривые потоков отдельных сердечников Φ_I и Φ_{II} и кривая результирующего потока $\Phi = \Phi_I + \Phi_{II}$, по отношению ко вторичной обмотке являющаяся их суммой. Кривая Φ имеет постоянную составляющую и за период основной частоты претерпевает одну и ту же вариацию два раза, т. е. во вторичной обмотке должна генерироваться эдс двойной частоты. Однако в виду несинусоидальности эта кривая содержит в себе и более высокие гармоники только четного порядка. Нужно отметить, что при У. ч. по способу Жоли только вторая гармоника дает чисто незатухающие колебания, все же остальные гармоники создадут затухающие колебания. Мерой борьбы с затуханием является наличие вторичного контура с весьма малым декрементом или применение ряда умножителей, питаемых многофазным генератором.

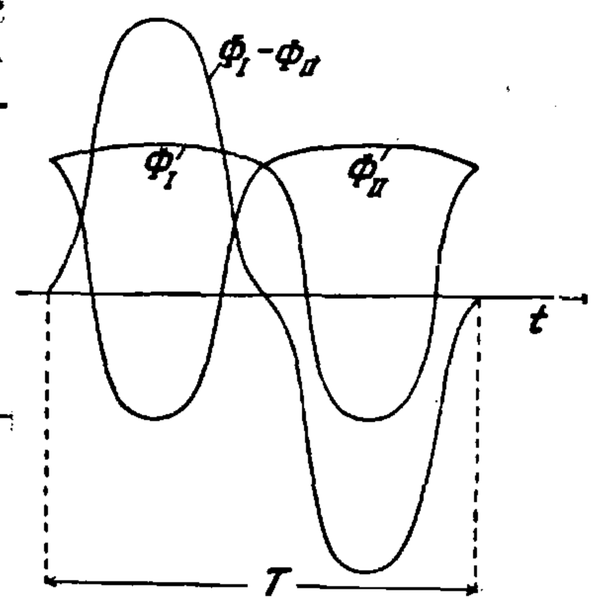


Фиг. 6.

3) Умножитель частоты в нечетное число раз. Описанный выше умножитель частоты Жоли кроме четырех гармоник во вторичной обмотке может в первичной своей обмотке выделить весь ряд нечетных гармоник. Действительно, для получения формы кривой потока, генерирующего результирующую эдс на зажимах всей первичной обмотки, необходимо взять не сумму отдельных потоков каждого сердечника, а их разность (фиг. 8). Кривая $\Phi_I - \Phi_{II}$ симметрична относительно оси абсцисс и несинусоидальна, почему, будучи разложе-



Фиг. 7.

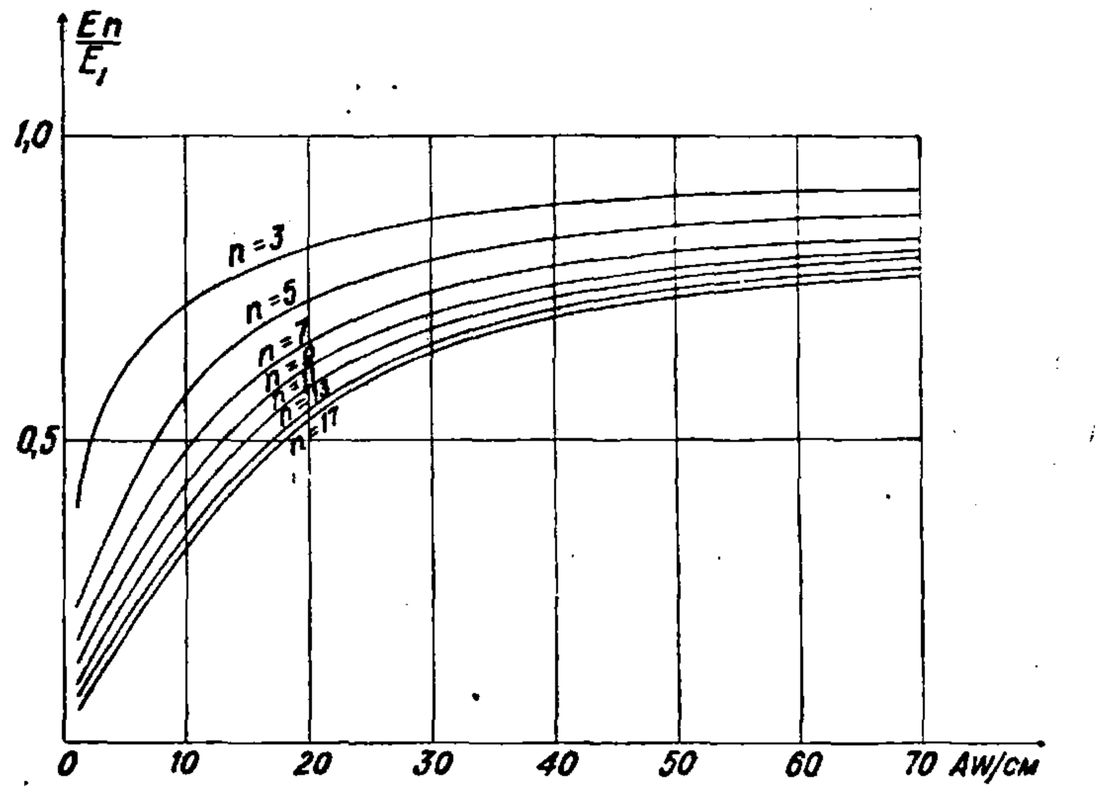


Фиг. 8.

на в ряд Фурье, она даст только нечетные гармоники. Таким образом в умножителе частоты сист. Жоли четные и нечетные гармоники оказываются разделенными.

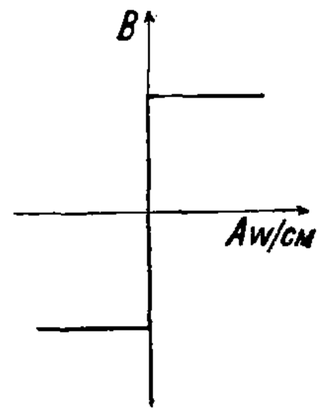
Работа умножителя частоты системы Жоли на нагрузку. При наличии тока в обмотке умноженной частоты результирующий поток, имеющий место в каждом сердечнике трансформатора, будет возбуждаться уже током сложной формы, являющейся результатом сложения первичного и вторичного токов различных частот. При анализе в первом приближении можно считать оба тока синусоидальными, чего практически не трудно достигнуть, подобрав соответствующим образом элементы резонансных контуров. Накладывая, как и ранее, на кривую намагничивания железа кривую тока, можно построить кривые потоков в каждом из сердечников и взять их сумму или разность в зависимости от того, четную или нечетную гармонику желательно выделить. Для получения наивыгоднейшего режима работы умножителя при нагрузке можно поступать следующим образом. Приняв амплитуду вторичных ампервитков умноженной частоты небольшою по отношению к первичным ампервиткам (напр. 20%), меняем фазу их, строим кривые потоков, разлагаем их в ряд и находим наилучший режим. Чтобы иметь реально возможную фазу, ориентируемся на эдс выделяемой нами гармоники при холостом ходе. После этого строим серию кривых потоков при найденной наивыгоднейшей фазе в зависимости от амплитуды вторичных ампервитков. Произведенный таким методом анализ дает право сделать следующие заключения. 1) В виду того что при отыскании наилучшей фазы вторичных ампервитков по отношению к первичным изменение фазы производится в умноженной частоте, влияние его на результирующее поле весьма невелико, т. к. формы кривых последнего при разных сдвигах мало разнятся между собою. Чем больше номер выделяемой гармоники, тем меньше это влияние, и разложение результирующей индукции в ряд Фурье дает примерно одну и ту же амплитуду выделяемой гармоники. В большинстве случаев наивыгоднейший режим работы получается при совпадении фазы эдс гармоники холостого хода с фазой тока нагрузки. 2) При наличии во вторичной обмотке тока умноженной частоты результирующий поток сильно искажается, имея при высоких гармониках кроме основных добавочные зоны вариации. Время, потребное на изменение потока от наибольшего значения до минимального, значительно сокращается по отношению к холостому ходу, почему импульсы эдс приобретают большую амплитуду, а следовательно и максимальное значение эдс выделяемой гармоники увеличивается. 3) Чем больше отношение вторичных ампервитков к первичным, тем больше получается значение эдс выделяемой гармоники, но вместе с этим возрастает и угол сдвига фазы между током умноженной частоты и эдс гармоники, имеющей место при нагрузке, т. е. увеличивается расчетная мощность умножителя частоты, выраженная в киловольтамперах. Поэтому обычно бывает выгоднее установить режим с малой реакцией вторичной цепи.

Холостой ход умножителя частоты без поляризации железа постоянной магнитодвижущей силой. При сильном насыщении железа переменным током общий вид кривой потока и эдс, имеющей место в обмотке дросселя, представлен на фиг. 1. Здесь сразу бросается в глаза сильная затупленность потока и остроконечность эдс. Фиг. 9



Фиг. 9.

дает функциональную зависимость между отношением эдс гармоники к эдс основной частоты и абсолютным значением амплитуды синусоидальных ампервитков переменного тока, приходящихся на *см* длины магнитопровода. Из кривых фиг. 9 следует, что для получения от умножителя частоты гармоник высокого порядка необходимо насыщение железа сделать очень большим. При увеличении его эдс гармоник стремятся приблизиться по величине к эдс основной частоты, которая в свою очередь при сильно насыщенном состоянии железа является величиною почти неизменною. Для аналитич. нахождения амплитуды и эффективного значения напряжения основной частоты на зажимах умножителя частоты вводятся следующие упрощения. Т. к. умножитель частоты работает при больших насыщениях железа, то вариация потока в железе, вызывающая возникновение эдс, происходит при весьма малых значениях намагничивающего тока за очень небольшой промежуток времени T_s. Поэтому работу умножителя



Фиг. 10.

частоты можно себе мыслить аналогичной работе рубильника, к-рый за время T_s, когда на зажимах умножителя частоты имеет место эдс ударного вида, разомкнут, всю же остальную долю полупериода коротко замкнут. При таком представлении кривая намагничивания железа должна иметь вид, данный на фиг. 10. Для определения амплитуды эдс e_{max} напишем диференциальное ур-ие в цепи, состоящей из последовательно включенных на зажиме генератора емкости C_1, самоиндукции без железа L_1, дросселя с железным сердечником и активного сопротивления R. Оно будет иметь вид:

$$\frac{1}{C_1}\int i\,dt + L_1\frac{di}{dt} + \left(w\,10^{-8}\frac{d\Phi}{di}\right)\frac{di}{dt} + iR = e_{max}.$$

Пренебрегая величиной iR и считая, что напряжение на зажимах конденсатора при резонансе синусоидально и амплитуда его равна $\frac{I\sqrt{2}}{\omega C_1}$, найдем из вышеприведенного диференциального ур-ия

$$\frac{di}{dt} = -\frac{I\sqrt{2}}{\omega C_1\left(L_1 + w\,10^{-8}\frac{d\Phi}{di}\right)};$$

а так как мгновенное значение напряжения на дросселе равно

$$e = -\frac{d\Phi}{dt}w\,10^{-8},$$

то амплитуда его

$$e_{max} = \frac{I\sqrt{2}\,w\,10^{-8}\frac{d\Phi}{di}}{\omega C_1\left(L_1 + w\,10^{-8}\frac{d\Phi}{di}\right)},$$

где $\frac{d\Phi}{di}$ — максимальное мгновенное значение коэф-та самоиндукции умножителя, к-рое м. б. получено путем диференцирования кривой гистерезисного шлейфа железа. Для отыскания эффективного значения напряжения основной частоты можно пользоваться следующими формулами. При пикообразной форме кривой напряжения площадь, им занимаемая, м. б. найдена из выражения:

$$F = \int_0^{\frac{T}{2}} e_1\,dt = -w\int_0^{\frac{T}{2}}\frac{d\Phi}{dt}\,dt\,10^{-8} =$$

$$= -w\,(\Phi_2 - \Phi_1)\,10^{-8}\ \text{вольтсекунд}.$$

Т. к. при $t=0$ и при $t=\frac{T}{2}$ $\Phi=\Phi_{max}$, то $\Phi_2 = -\Phi_1 = \Phi_{max}$ и $F = 2\,\Phi_{max}\,w\,10^{-8}$ вольтсекунд; отсюда очевидно, что площадь пикообразной кривой не зависит от тока и постоянна, т. к. Φ_{max} остается одним и тем же. Ряд Фурье для амплитудного значения гармоники дает:

$$e = \frac{4}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} e\sin n\omega t\,dt.$$

Т. к. продолжительность удара очень мала, то в первом приближении при $T_s < \frac{T}{10}$ можно положить $\sin\omega t = 1$. В этом случае для амплитуды основной волны имеем:

$$e_{1max} = \frac{4}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} e_1\,dt = \frac{4}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} w\frac{d\Phi}{dt}\,10^{-8}\,dt =$$

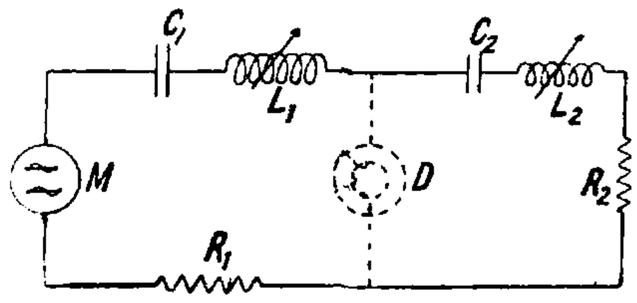
$$= \frac{4}{T}\,2\,\Phi_{max}\,w\,10^{-8}\ \text{вольт}$$

и для эффективного значения напряжения

$$E = \frac{8}{\sqrt{2}}\,w\,\Phi_{max}\,10^{-8}\ \text{вольт}.$$

При включении умножителя частоты в резонансный контур в случае пренебрежения активным сопротивлением последнего, так же как и напряжением на зажимах генератора, синусоидальное при резонансе напряжение на емкости д. б. уравновешено напряжением на суммарной самоиндукции. Т. к. форма кривой напряжения на умножителе частоты пикообразна, то совершенно очевидно, что напряжение на зажимах самоиндукции без железа будет иметь седлообразную форму и, будучи по ординатам сложено с кривой напряжения на умножителе, даст в сумме синусоиду.

Нагрузка умножителя частоты, работающего без поляризации железа постоянной магнитодвижущей силою. Если на зажимы умножителя частоты приключить вторичный резонансный контур, состоящий из последовательно включенных емкости, самоиндукции и активного сопротивления с собственным периодом колебаний, близким к периоду выделяемой гармоники, то физич. сущность процесса м. б. представлена следующим образом. За время T_s, в течение к-рого имеет место генерация эдс, умножитель представляет столь большое сопротивление для тока, что можно считать его просто отсоединенным, и тогда на зажимы генератора оказывается включенным один общий контур (фиг. 11), состоящий из последовательно включенных: емкости первичного контура C_1, емкости вторичного контура C_2, самоиндукции первичного контура L_1, самоиндукции вторичного контура L_2 и активных сопротивлений обоих контуров R_1 и R_2. При пренебрежении последними собственная круговая частота такого контура будет:



Фиг. 11.

$$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{(L_1+L_2)\frac{C_1C_2}{C_1C_2}}}.$$

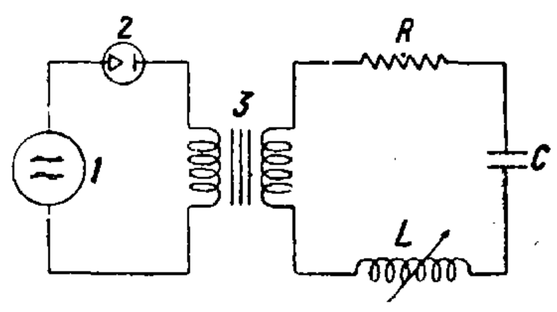
После окончания удара напряжения умножитель частоты является как бы коротким замыканием для обоих контуров. Поэтому всю остальную долю полупериода основной частоты до начала следующего удара первичный и вторичный контуры предоставлены самим себе. При этом в первичном контуре будут иметь место вынужденные колебания частоты генератора, а вторичный контур будет колебаться затухающе с собственным периодом колебаний T_2. Здесь могут иметь место два случая для колебаний во вторичной цепи: 1) когда вторичные колебания затухают настолько сильно, что к моменту возникновения нового удара эдс на умножителе частоты амплитуда вторичного тока спадает до нуля, и 2) когда вторичный контур имеет весьма малый декремент затухания. Нагрузка умножителя частоты на сильно затухающий вторичный контур наиболее выгодна в смысле кпд.

Кпд умножителей частоты сильно колеблется в зависимости от частоты и мощности. В практически осуществленных типах при средних мощностях он составляет примерно 80—90% в случае выделения гармоники с малым порядковым номером и падает до 50% при получении весьма высокой гармоники.

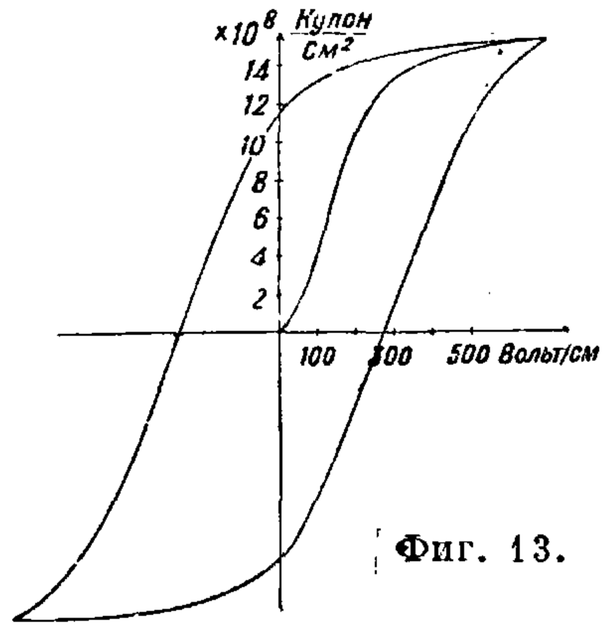
Многофазные умножители частоты. Т. к. наиболее распространенной является трехфазная симметричная система, то рациональнее всего рассмотреть вопрос У. ч. помощью трех однофазных совершенно одинаковых трансформаторов. При включении однофазного трансформатора на синусоидальное напряжение намагничивающий железо переменный ток будет содержать в себе высшие гармоники нечетного порядка, причем амплитуда последних будет тем больше, чем сильнее насыщен сердечник. Особенно ярко обычно выделяется 3-я гармоника. При включении первичных обмоток трех однофазных трансформаторов треугольником в связи с тем, что в этом случае каждый железный сердечник работает самостоятельно, высшие гармоники тока свободно могут пройти по обмотке, почему силовой поток трансформаторов остается синусоидальным, и вторичное напряжение каждой фазы будет также синусоидой, т. о. в этом случае никакого умножения частоты не будет. Чтобы использовать высшие гармоники тока для поставленной нами задачи, необходимо последовательно с каждым трансформатором включить катушку самоиндукции без железа или с разомкнутым железным сердечником. При этом уже суммарный поток обоих последовательно включенных трансформаторов должен представлять собою синусоидальную функцию основной частоты, почему потоки каждого из них м. б. искаженными, а следовательно и эдс могут содержать высшие гармоники. Поэтому если желательно использовать для У. ч. искаженную кривую тока, то при трехфазной системе необходимо в каждую фазу включать два железных сердечника: насыщенный и ненасыщенный. В каждой фазе первичные обмотки обоих сердечников д. б. включены последовательно, а фазы между собою—треугольником. Вторичные обмотки можно поместить только на сердечниках с ненасыщенным железом и соединить их также треугольником с разрывом одной из его вершин. По свойствам трехфазной симметричной системы в этом случае напряжение основной частоты во вторичной обмотке системы отсутствует вовсе, а имеют место только эдс высших гармоник нечетного порядка, преимущественно третьей гармоники. Три отдельные катушки с ненасыщенным железом можно заменить одной общей. Существенным недостатком такой системы при достаточно хорошем кпд ($\eta \cong 0{,}9$) является слишком низкий коэф. мощности ($\cos \varphi \cong 0{,}2$), для увеличения к-рого приходится прибегать к компенсации емкостью. Рассмотрим теперь вопрос умножения частоты в том случае, когда первичные обмотки трех однофазных трансформаторов соединены звездой. Здесь благодаря сопряженности фаз линейные напряжения и линейные токи будут синусоидальными, фазные же напряжения будут искажены и будут содержать в себе высшие гармоники. Включая вторичные обмотки треугольником с разрывом в одной из его вершин, мы получим напряжение, свободное от основной частоты. Высшие гармоники, кратные трем, благодаря совпадению фаз будут в этом напряжении складываться, что нетрудно вывести из рассмотрения общих свойств 3-фазной симметричной системы. При осуществлении такого умножителя частоты необходимо пользоваться обязательно тремя отдельными трансформаторами, чтобы поток третьей гармоники каждой фазы мог свободно замкнуться через железо. Применение нормального трехстержневого трансформатора здесь неприемлемо, т. к. потоки третьих гармоник каждой из фаз в любой момент времени имеют в стержнях трансформатора одно и то же направление, почему вынуждены замкнуться через воздух его окна. Нагрузка умножителя частоты такого типа чисто активным током вызывает значительное падение напряжения, почему обычно самоиндукцию рассеяния вторичной обмотки компенсируют небольшой емкостью. При соблюдении этого условия падение напряжения 3-й гармоники от холостого хода до полной нагрузки м. б. доведено до 6—7%.

Конструкция высокочастотных умножителей частоты. Несмотря на то что умножители частоты работают с сравнительно большим кпд, удельные потери в железе их сердечников достигают весьма больших величин. Для примера можно привести следующие цифры. Трансформатор, построенный на 150 kVA при нормальной частоте в 50 пер/ск., имеет вес железа 3,5 *кг* на 1 kVA, железо же умножителя частоты 2-й гармоники при первичной частоте в 15 000 пер/ск. на ту же полезную мощность весит всего 10 *кг*, т. е. имеет примерно 65 *г* на 1 kW мощности умноженной частоты. Соответственно с этим потери в железе трансформатора составляют 1,3 W/*кг*, тогда как потери в железе вышеуказанного умножителя частоты ~2 kW/*кг*. Совершенно очевидно, что все существующие в нормальном трансформаторостроении методы охлаждения в данном случае не пригодны. Для интенсивного отвода тепла обычно употребляется охлаждение железа и меди умножителя частоты проточным маслом. Железо разбивается на ряд отдельных пакетов толщиною 5—2 *мм* (в зависимости от частоты), между к-рыми устанавливаются продухи. По последним под давлением протекает охлаждающее масло. Конфигурация железного сердечника берется или в виде кольца или в виде прямоугольника с окном для обмоток.

II. Умножители частоты, работающие на принципе изменения емкости и сопротивления. В качестве примера У. ч. при помощи изменяющегося сопротивления может служить схема, приведенная на фиг. 12. К зажимам генератора *1* включены последовательно электрич. вентиль *2* и трансформатор *3*. При таком включении по первичной обмотке трансформатора пойдет выпрямленный ток, к-рый в его железном сердечнике создаст пульсирующий магнитный поток, содержащий в себе весь ряд четных и нечетных гармоник. Любая из них м. б. выделена во вторичном резонансном контуре. В виду незначительности кпд такого устройства этот метод У. ч. практически не применяется. В качестве умножителя частоты, работающего на принципе изменения емкости, может служить конденсатор с диэлектриком, диэлектрич. постоянная к-рого зависит от напряжения. Таким свойством обладает диэлек-



Фиг. 12.

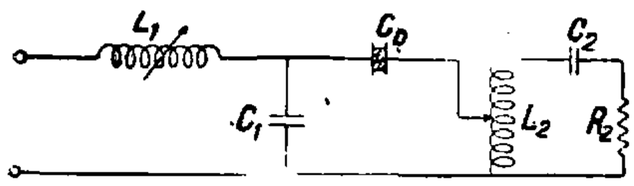


Фиг. 13.

трик из кристалла сегнетовой соли. На фиг. 13 даны статич. и динамич. кривые зависимости между зарядами, приходящимися на единицу площади диэлектрика в $C/см^2$, и градиентом напряжения, приложенного к диэлектрику в $V/см$. Как видно, здесь налицо полная аналогия с кривой намагничивания и гистерезисным шлейфом железа. Мгновенное значение емкости такого конденсатора м. б. найдено по ур-ию:

$$C = \frac{dQ}{dV}.$$

При больших значениях V ток, проходящий через конденсатор, принимает пикообразный характер. Т. о. здесь имеет место трансформация на частоту тока. При умножении частоты обычно стремятся поддержать напряжение на зажимах конденсатора синусоидальным, почему он включается параллельно нормальному конденсатору значительной емкости (фиг. 14).



Фиг. 14.

Лит.: Вологдин В., Статич. умножитель частоты, «ТиТбп», Н.-Новгород, 1920, т. 2, *8*; Оснос М., Повышение частоты при помощи сильно насыщенных трансформаторов, там же, Н.-Новгород, 1925, *31*; Вонский М., Статич. трансформаторы частоты, «Известия Ленингр. политехнич. ин-та им. Калинина», Л., 1928, т. 31; Joly M., Transformateurs statiques de fréquence, «Lumière électrique», 1911, t. 14, *20*; Dreifuss L., Die analytische Theorie des statischen Frequenzverdopplers bei Leerlauf, «Archiv für Elektrotechnik», 1914, B. 2, *9*; Osnos M., Beitrag zur Theorie und Wirkungsweise d. stationären Frequenzverdopplers, «Jahrbuch d. drahtlosen Telegraphie u. Telephonie», B., 1918, B. 13, *4*; Minohara T., Some Characteristics of the Frequency Doubler as Applied in Radio Transmission, «Proceedings of the Institute of Radio Engineers», N. Y., 1920, v. 8, *6*; Latour M., Multiplicateur statique de fréquence pour l'obtation industrielle de très hautes fréquences en télégraphie sans fil, «Revue Générale d'Électricité», P., 1922, t. 11, *26*; Guillemin E., Zur Theorie der Frequenzvervielfachung durch Eisenkernkoppelung, «Archiv für Elektrotechnik», 1926, Band 17, *1*; Hilpert G. und Seydel H., Beiträge zur Frequenzvervielfachung, «ETZ», 1926, B. 47, *15*, *16*; 1926, B. 47, *35*; 1927, B. 48, *15*; Kramar E., Frequenzvervielfachung durch Eisenwandler, «Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie u. Telephonie», B., 1928, B. 32, *1*; Stein G., Versuch einer Theorie des statischen Drei- u. Mehrphasenfrequenzwandlers im Vergleich mit dem Experiment, «Archiv f. Elektrotechnik», B., 1930, B. 24.

М. Спицын.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ, прибор для измерения углов при геодезич. работах, а также в астрономии. Первые У. и. появились почти одновременно с началом триангуляционных работ. У. и. при тригонометрич. работах применяются для измерений: 1) горизонтальных углов или определения направлений, т. е. углов или направления между вертикальными плоскостями, проходящими через отвесную линию точки наблюдения и каждый из наблюдаемых предметов, и 2) вертикальных углов, или зенитных расстояний, т. е. углов, составленных отвесной линией точки наблюдения с направлениями на наблюдаемые предметы. Сущность измерения угла заключается в следующем: визирный прибор, соединенный наглухо с неподвижной частью универсального инструмента (алидадой), наводят последовательно вдоль сторон угла и после каждого наведения делают отсчеты по разделенному *лимбу* (см.), закрепленному неподвижно. Разность отсчетов выражает измеренный угол. В соответствии с этим каждый У. и., предназначенный для *триангуляции* (см.), состоит из трех главных частей: 1) горизонтального круга со втулкой для вертикальной оси вращения лимба и с тремя симметрично расположенными подъемными винтами при подставке, 2) *алидады* (см.) с лагерными стойками для горизонтальной оси вращения трубы и вертикальной осью вращения алидады и 3) *зрительной трубы* (см.) со скрепленными с ней наглухо горизонтальной осью и вертикальным кругом. Вследствие того что труба может вращаться около горизонтальной оси, лежащей в лагерах, а самые лагеры—вместе с алидадой около вертикальной оси, оптической оси трубы можно придавать любое направление в пространстве, причем положение горизонтальной проекции этого направления отсчитывается по горизонтальному кругу, а угол наклонения его—по вертикальному кругу. Земные предметы, наблюдаемые при триангуляциях, лежат незначительно выше или ниже точки наблюдения, а потому нет никакой необходимости устраивать инструменты так, чтобы труба могла принимать всевозможные направления в вертикальной плоскости; совершенно достаточно, если трубе возможно будет придавать углы наклона в пределах $\pm 15°$. Если же инструмент предназначен для наблюдения не только земных предметов, но и небесных светил, то зрительная труба должна вращаться около горизонтальной оси так же свободно, как и около оси вертикальной. Сообразно этому различают два типа У. и.: 1) *теодолиты* (см.), назначенные только для наблюдения земных предметов, у к-рых трубе возможно давать небольшие углы наклонения, 2) универсалы, или У. и., служащие для наблюдения как земных предметов, так и небесных светил; в них зрительным трубам можно придавать любое положение. Большие У. и., предназначаемые для астрономич. наблюдений, имеют обычно ломаную под прямым углом трубу, внутри которой помещается призма полного внутреннего отражения (поворот лучей); окулярное колено трубы является одновременно одним концом полой горизонтальной оси вращения трубы; через другой конец этой оси проходят лучи от источника света для освещения поля зрения при ночных наблюдениях. У. и. отличается от обыкновенного *угломерного инструмента* (см.) тем, что лагерные стойки у первого всегда выше, чем у второго, и потому второй более устойчив. Несмотря на это необходимость иметь при триангуляционных работах инструмент, пригодный для всех видов работ, проводимых на триангуляциях, заставила механиков усовершенствовать У. и. Для придания большей устойчивости У. и. необходимо укоротить лагерные стойки и в то же время позволить вертикальной трубе принимать всевозможные положения по высоте. Это достигается двумя путями, а именно: 1) расположением зрительной трубы не центрально, а на конце горизонтальной оси и 2) ломаной зрительной трубой, в к-рой посредине горизонтальной оси вращения трубы прикрепляют только одно объективное колено, а окулярное колено помещают в самой горизонтальной оси. Обыкновенно У. и. имеют горизонтальный и вертикальный круги с одинаковой точностью отсчетов; в У. и., предназначенных для одного какого-либо вида работ, один из кругов дает бо́льшую точность отсчитывания, а другой — меньшую.

К У. и. также относятся инструменты особых типов: 1) тахеометры-автоматы Вагнер-Фенелля и 2) Гаммер-Фенелля, 3) теодолиты фирмы К. Цейсса и 4) теодолиты Г. Вильда. Первые два типа тахеометров-автоматов возможно применять по прямому назначению, а также

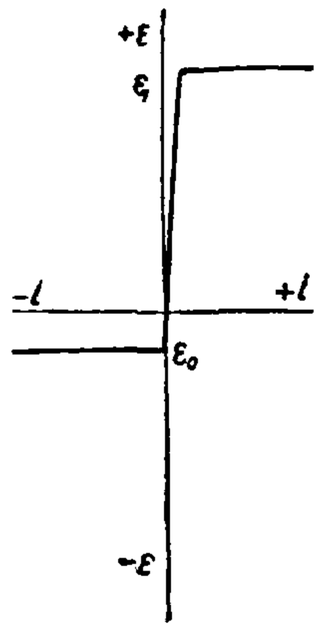
как простые теодолиты; вторые два типа инструментов, не являющиеся автоматами, представляют действительно У. и. и могут применяться при всех видах геодезич. работ. Благодаря тщательно и точно выполненным делениям вертикального и горизонтального кругов, позволяющим получить отсчеты с точностью до 2″, ими возможно пользоваться для наблюдения тригонометрич. сетей, а, придавая освещение, возможно производить ими и астрономич. наблюдения. Все эти инструменты особых типов устроены так, что ими возможно пользоваться и для прокладки полигонометрических ходов I и II классов, для чего верхняя часть инструмента может переставляться с одного трегера на другой.

У. и. до Октябрьской революции ввозились из-за границы, гл. обр. из Германии и Швейцарии, где производство их доведено до художественности. В настоящее время изготовление У. и. начато на заводах в СССР.

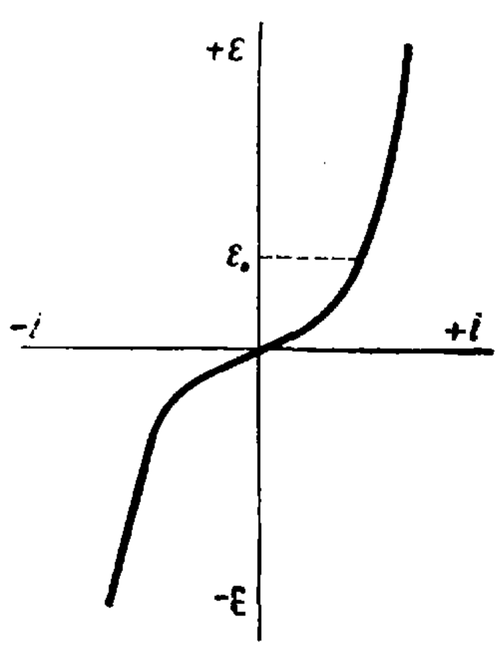
Лит.: Витковский В., Практическая геодезия, 2 изд., М., 1911; Кель Н., Высшая геодезия и геодезические работы, ч. 2, Л., 1933; Красовский Ф., Руководство по высшей геодезии, ч. 1, М., 1926; Витковский В., Топография, 3 изд., М., 1928. **В. Платон.**

УНИПОЛЯРНАЯ МАШИНА, см. *Динамомашина.*

УНИПОЛЯРНЫЙ ЭФФЕКТ, одностороннее прохождение электрического тока через проводящую систему, или прохождение тока преимущественно в одном направлении. Так как это явление сводится к неодинаковости условий движения электронов или ионов в каком-либо направлении и направлении ему обратном, то У. э. имеет место при неоднородности проводящей системы. У. э. проявляется в месте контакта двух твердых, жидких или газовых проводников, причем возможны контакты металл—металл, металл—жидкость и т. д. На разных применениях У. э. основаны различного рода выпрямители и вентили тока. Там, где проявляется У. э., характеристика ток—напряжение имеет вид, схематически показанный на фиг. 1.



Фиг. 1.

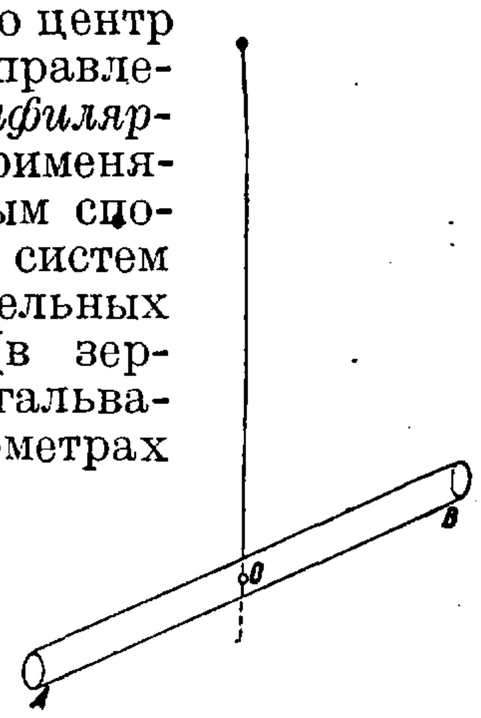


Фиг. 2.

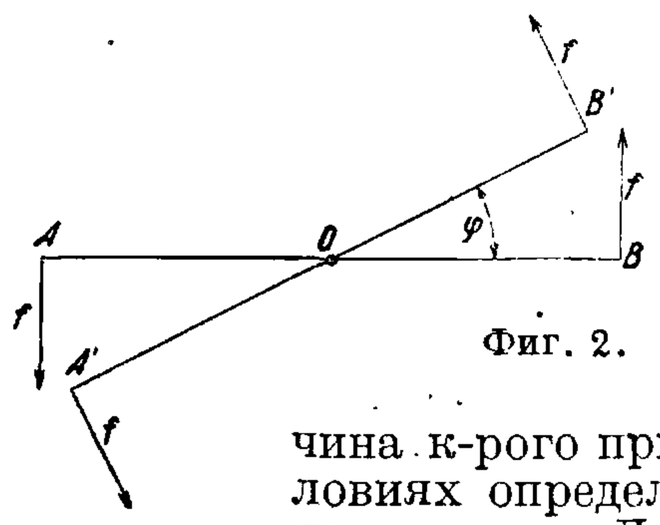
При этом в положительном направлении ток практически не проходит (если напряжение меньше ε_1), в отрицательном направлении может итти любой ток при напряжении, не превышающем ε_0. При использовании этого типа У. э. для выпрямления не требуется дополнительного напряжения. В других случаях униполярное действие создается благодаря искривленности характеристики (фиг. 2). Тогда для получения выпрямляющего действия к месту контакта подводится постоянное дополнительное напряжение ε_0 (фиг. 2), как это нередко практикуется.

Лит.: Флоренский П., Диэлектрики, М., 1924, стр. 112—114; Günterschulze A., Elektrische Gleichrichter u. Ventile, 2 Aufl., B., 1929. **П. Беликов.**

УНИФИЛЯРНЫЙ ПОДВЕС, унифиляр, однонитные крутильные весы, горизонтальный маятник AB (фиг. 1), подвешенный на упругой нити так, что его центр тяжести O совпадает с направлением нити подвеса (см. *Бифиляр-ный подвес*). У. п. часто применяется, являясь общепринятым способом подвеса подвижных систем в чувствительных измерительных приборах разных типов (в зеркальных электрометрах и гальванометрах, в электродинамометрах и т. д.). Приборы, снабженные У. п., могут применяться к измерению сил, лежащих в горизонтальной плоскости; если же сила имеет иное направление, то вращение унифиляра будет вызываться горизонтальной составляющей силы. Если на конце упругой нити или проволоки находится горизонтальный рычаг AB (фиг. 2), к концам которого приложена пара сил ff, то система поворачивается на некоторый угол φ, величина к-рого при прочих равных условиях определяется упругими силами нити. Для очень тонких и длинных нитей и проволок между моментом M действующей пары и углом кручения φ сохраняется строгая пропорциональность в очень широких пределах, до углов в тысячу и более градусов, т. е. до нескольких полных оборотов. Т. о.



Фиг. 1.



Фиг. 2.

$$M = C\varphi, \qquad (1)$$

где C—коэф. пропорциональности, физич. значение к-рого определяется законами кручения (см. *Динамометры*), а именно: C—пропорционален модулю упругости при сдвиге материала нити, четвертой степени ее диаметра и обратно пропорционален ее длине. Отсюда следует, что для повышения чувствительности У. п. следует пользоваться возможно тонкими нитями или проволоками. Для измерения угла кручения φ обычно применяют способ зеркала и шкалы (см. *Гальванометр*), иногда крутильную головку; в последнем случае верхний конец нити прикрепляется в центре горизонтального барабана с делениями, который укреплен в оправе и может вращаться при помощи бесконечного винта. Если под действием пары сил система отклонилась на некоторый угол, то, вращая барабан в обратном направлении, можно привести ее в начальное положение и по отсчетам на барабане определить угол кручения.

Система, закрученная на нек-рый угол и затем предоставленная самой себе, приходит в колебательное движение, законы которого на основании ф-лы (1) вполне соответствуют законам колебания *маятника* (см.) при малых амплитудах, с той лишь разницей, что здесь эти законы остаются справедливыми и при больших значениях φ, иными словами, крутильные колебания У. п. являются строго изохронными независимо от величины размаха в тех пределах, где ф-ла (1) сохраняет свое значение. Для периода T крутильных колебаний У. п. по

аналогии с маятником имеем

$$T = \pi \sqrt{\frac{K}{C}},$$

где K—момент инерции стержня AB относительно оси вращения. Из этой ф-лы находим

$$C = \frac{\pi^2 K}{T^2}. \qquad (2)$$

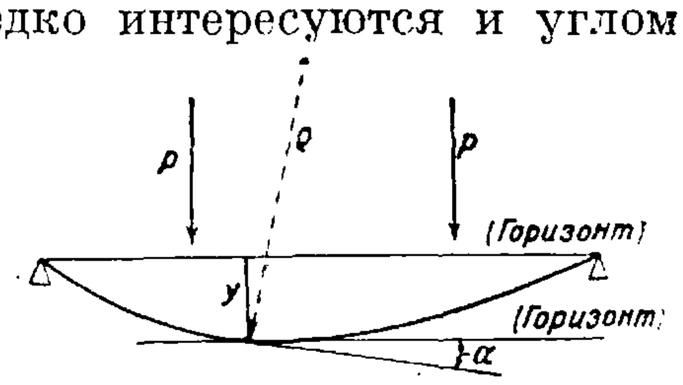
Ф-ла (2) дает возможность, измеряя T, вычислить величину C, если пользоваться телом с известным моментом инерции K. Если для данного У. п. коэф. C найден, то, измеряя период колебания У. п. при различных телах на его конце, можно определять числовые значения их моментов инерции. В ф-лах (1) и (2) не приняты во внимание $t°$-ные влияния, к-рые зависят от термич. коэф-та модуля сдвига; поэтому все абсолютные измерения с У. п. должны отвечать определенной $t°$.

В качестве материала для проволок при У. п. применяются серебро, платина, сталь. Применение серебра объясняется его малым удельным сопротивлением, что имеет значение, если проволока унифилярного подвеса одновременно служит для подводки тока, напр. в гальванометрах; платина применяется вследствие возможности вытягивать из нее тончайшие проволочки $\varnothing < 1\mu$ (Волластоновы проволоки). Кроме металлич. проволок для У. п. применяются очень часто нити из изоляционных материалов (почти исключительно из плавленого кварца); они отличаются практически полным отсутствием упругого последействия. Нити из натурального шелка и стекла в настоящее время почти совершенно оставлены. **К. Яковлев.**

Лит.: см. *Бифилярный подвес.*

УПРУГАЯ КРИВАЯ, упругая линия, изогнутая ось, осевая линия деформированного сооружения. В сопротивлении материалов при расчете отдельного элемента сооружения определяют не только величины максимальных напряжений, но и величины прогибов и углов наклона. Для оценки жесткости спроектированной балки находят линию прогибов и сравнивают максимальный прогиб с допускаемым, к-рый обыкновенно назначают определенной частью от пролета. Под У. к. в сопротивлении материалов понимают упругую линию балки. Статика же сооружений занимается деформацией целого сооружения. Помимо оценки жесткости сооружения определение элементов У. к. имеет громадное значение при расчете статически неопределимых систем. Так, дополнительные уравнения деформаций при расчете на неподвижную нагрузку пишут, приравнивая нулю или заданной величине перемещений по направлению лишних неизвестных. Расчет же статически неопределимых систем на подвижную нагрузку, т. е. построение линий влияния, проводится при предварительном построении упругой линии деформированного сооружения. Замечателен по своей простоте способ построения линии влияния усилий в любой сложной статически неопределимой системе: отбрасывают ту связь, усилие в которой ищут, и строят упругую линию сооружения, подверженного действию единичной силы, заменяющей действие отброшенной связи. Полученная упругая линия и есть модель линии влияния искомого усилия. Вопросами У. к. приходится заниматься и при разрешении проблемы устойчивости сооружений и их отдельных частей. Исходя из диференциального ур-ия У. к., находят критич. нагрузки. Блестяще разрешающий ряд задач устойчивости стержней и пластинок метод вариации упругой энергии требует предварительного задания возможной формы отклонения стержня. Таково в главнейшем значение вопроса об определении У. к. Поэтому как сопротивление материалов, так и статика сооружений уделяют большое внимание У. к. и теории перемещений. Галилей, Бернулли, Эйлер, Навье, Коши, Клапейрон, Винклер, Мор, Тимошенко много работали над проблемой теории перемещений.

Задача определения элементов У. к. состоит в нахождении ординаты У. к. в произвольной точке бруса. Нередко интересуются и углом наклона касательной к У. к. в данной точке к первоначальной оси. Назовем ординату У. к. через y и угол наклона касательной к оси через α (фиг. 1).



Фиг. 1.

Для получения диференциального ур-ия У. к. воспользуемся известным соотношением между кривизной изогнутой оси и изгибающим моментом

$$\frac{1}{\varrho} = \frac{M}{EI},$$

где ϱ—радиус кривизны, M—изгибающий момент, EI—жесткость. Подставляя сюда известное выражение кривизны, получаем следующее соотношение:

$$\frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\left[1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{3/2}} = \frac{M}{EI}.$$

Ограничиваясь случаем малых деформаций, пренебрегаем $\left(\frac{dy}{dx}\right)^2$, весьма малым сравнительно с единицей, и получаем общеизвестное диференциальное ур-ие упругой линии

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{EI}.$$

Еще Ренкин подчеркнул диференциальную зависимость между следующими пятью элементами изгиба: если y—ордината У. к., то первая производная от y есть тангенс угла наклона касательной к У. к., вторая производная от y есть изгибающий момент, деленный на жесткость, третья производная от y есть поперечная сила, деленная на жесткость, четвертая производная есть интенсивность сплошной нагрузки, деленная на жесткость.

Среди многочисленных приемов нахождения прогибов балок следующие являются важнейшими: 1) метод непосредственного интегрирования диференциального ур-ия, 2) универсальная ф-ла прогибов, 3) графоаналитич. способ Мора, 4) графич. способ. Первый способ состоит в непосредственном последовательном интегрировании выражения $\frac{1}{\varrho} = \frac{M}{EI}$ в форме $\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{EI}$. Интегрируя это соотношение один раз, получаем

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg}\alpha = \int \frac{M}{EI}\,dx + C.$$

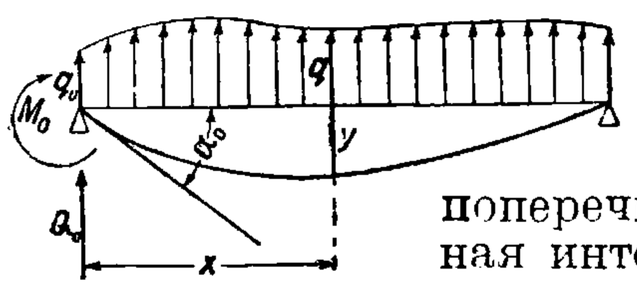
Интегрируя второй раз, имеем

$$y = \int \operatorname{tg}\alpha \cdot dx + D = \int\int \frac{M}{EI}\,dx + Cx + D.$$

Такой процесс интегрирования производится для каждой ветви У. к. Если У. к. имеет n

ветвей, то общее число произвольных постоянных интегрирования будет $2n$; отыскание их производится из условий непрерывности У. к. и опорных закреплений. Однако, представляя закон изменения нагрузки по длине одной и той же ф-ией от x для всех участков балки, Клебшу удалось дать прием быстрого сведения $2n$ произвольных постоянных к двум.

Второй способ отыскания ур-ия У. к. дает общую универсальную ф-лу для У. к. при любой нагрузке. Для случая непрерывной сплошной нагрузки, интенсивность к-рой меняется по определенному закону, получается особенно простое решение. Пусть (фиг. 2) в начале координат, помещенном на левой опоре, приложен начальный момент M_0, начальная поперечная сила Q_0 и начальная интенсивность сплошной нагрузки q_0. Пользуясь теперь дифференциальной зависимостью между пятью элементами изгиба и применяя разложение ф-ии y в ряд по строке Маклорена, имеем следующую универсальную ф-лу:



Фиг. 2.

$$y = y_0 + a_0 x + \frac{M_0}{EI}\frac{x^2}{2!} + \frac{Q_0}{EI}\frac{x^3}{3!} + \frac{q_0}{EI}\frac{x^4}{4!} + \dots$$

Здесь y_0—прогиб и a_0—угол наклона в начале координат. Для случая балки, опертой на жесткую не оседающую левую опору, первый член разложения равен нулю, для балки, жестко заделанной левым концом, первые два члена равны нулю. Ур-ие же У. к. в случае любой прерывной нагрузки получают последовательным прибавлением к вышенаписанному выражению добавочных членов $\frac{P\cdot(x-c)^n}{n!}$ на основании теоремы: «если n-я производная от ординаты У. к. имеет разрыв в виде конечного скачка величиной в P (сосредоточенная сила—в эпюре Q, сосредоточенный момент—в эпюре M и т. д.). т. е.

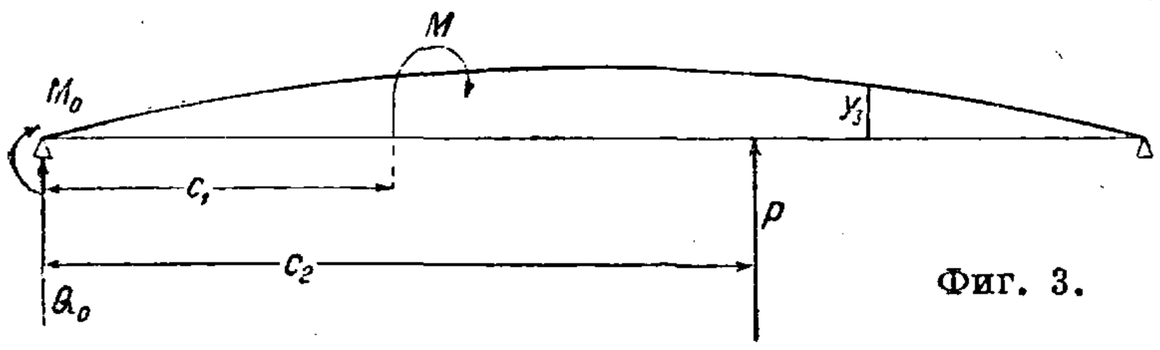
$$f_2^{(n)}(c) = f_1^{(n)}(c) + P,$$

где $f_1(c)$ и $f_2(c)$—ур-ия У. к., первое при $x \leqslant c$ и второе при $x \geqslant c$, то ур-ие У. к. на втором участке $f_2(x)$ можно представить в виде ур-ия У. к. на первом участке $f_1(x)$, прибавляя член $P\frac{(x-c)^n}{n!}$».

Аналитически это представляется так:

$$f_2(x) = f_1(x) + P\frac{(x-c)^n}{n!}.$$

Если начало координат поместить на левой опоре для случая, изображенного на фиг. 3,



Фиг. 3.

то ур-ие У. к. на третьем участке при условии приложения в пролете на расстояниях c_1 и c_2 момента M и силы P примет вид:

$$y_3 = a_0 x + \frac{M_0}{EI}\cdot\frac{x^2}{2!} + \frac{Q_0}{EI}\frac{x^3}{3!} + \frac{M}{EI}\frac{(x-c_1)^2}{2!} + \frac{P}{EI}\frac{(x-c_2)^3}{3!}.$$

Обобщенное ур-ие У. к. было предложено Н. Снитко в 1926 г. (Москва).

Графоаналитич. метод Мора использует прежде всего указанную диференциальную зависимость между элементами изгиба. Можно при этом подметить следующую аналогию. Если задана сплошная нагрузка интенсивностью q, то для поперечной силы и изгибающего момента получаются следующие зависимости:

$$Q = \int q\,dx + C,$$

$$M = \int\int q\,dx + Cx + D.$$

Совершенно аналогично, если в любом сечении балки известно значение кривизны $\frac{M}{EI}$, к-рую примем за интенсивность фиктивной сплошной нагрузки q', для тангенса угла наклона и ординаты линии прогиба получим выражения:

$$\operatorname{tg}\alpha = \int q'\,dx + C',$$

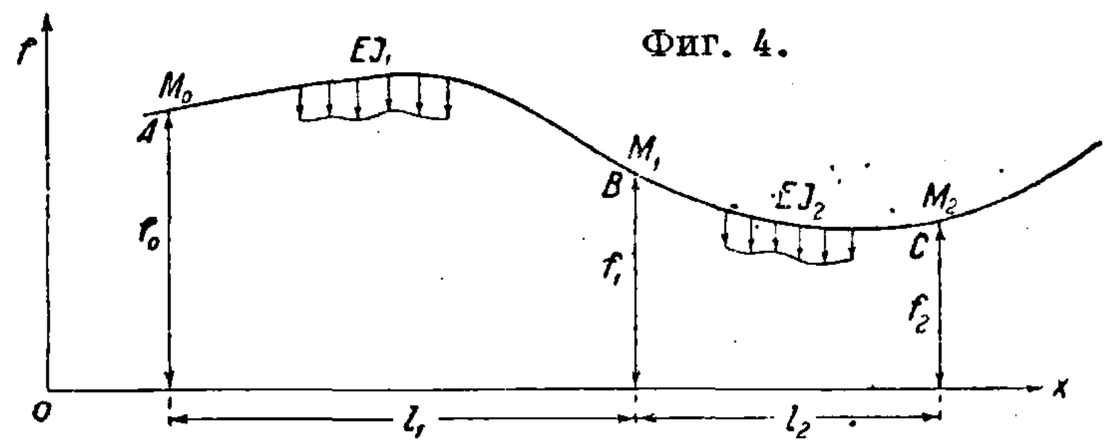
$$y = \int\int q'\,dx + C'x + D'.$$

Отсюда следует, что тангенс угла наклона касательной к У. к. можно подсчитать как поперечную силу от сплошной нагрузки, интенсивность которой в любом месте есть q', а ординату У. к. можно определить как момент левых сил от нагрузки q'. Т. к. при построении эпюр поперечных сил и изгибающих моментов мы получаем большие навыки в нахождении поперечной силы и момента, то перенесение методов построения этих эпюр на отыскание элементов У. к. сильно упрощает решение.

Четвертый способ построения изогнутой кривой как веревочной кривой вытекает из графоаналитического метода Мора. Если требуется графически определить эпюру изгибающих моментов от заданной нагрузки, то для этого строят при произвольно выбранном полюсном расстоянии H веревочно-стержневой мн-к. Произведение ординаты веревочного мн-ка, отсчитываемой от замыкающей, на полюсное расстояние дает величину изгибающего момента. По Мору ордината У. к. есть изгибающий момент от кривизненной нагрузки, и следовательно достаточно построить веревочный мн-к, соответствующий нагрузке $q' = \frac{M}{EI}$, и произведение ординаты веревочной кривой на полюсное расстояние дает ординату У. к.

Кроме перечисленных существует ряд других несущественных упрощений. Однако следует отметить замечательное по своей простоте

Фиг. 4.



определение прогибов, используя ур-ие трех моментов для бруса с переменным моментом инерции. Инж. А. Попов (1933 г.) предложил находить прогибы из ур-ия трех моментов для балки на упругих опорах. Ф-ла, предложенная им, носит название уравнения трех перемещений и имеет следующий вид:

$$EI_1[f_0 l_2 - f_1(l_1 + l_2) + f_2 l_1] = \frac{l_1 l_2}{6}\left[M_0 l_1 + 2M_2(l_1 + k l_2) + M_3 k l_3 - \frac{6\Omega_1 a_1}{l_1} - \frac{6\Omega_2 b_2}{b_2}\right].$$

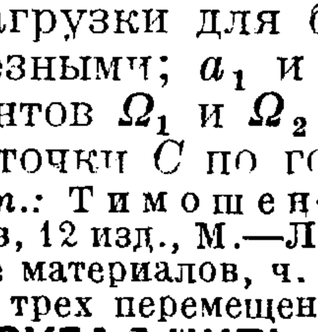
Здесь согласно фиг. 4 ABC—любая ветвь У. к. с воображаемыми в A, B и C оседающими опорами; f_0, f_1 и f_2—прогибы в точках A, B и C; M_0, M_1 и M_2—изгибающие моменты в этих же точках; EI_1 и EI_2—жесткости для участков l_1 и l_2; Ω_1 и Ω_2—площади эпюр моментов от нагрузки для балок AB и BC, считаемых разрезными; a_1 и b_2—расстояния ц. т. эпюр моментов Ω_1 и Ω_2 соответственно до точки A и до точки C по горизонтали.

Лит.: Тимошенко С., Курс сопротивления материалов, 12 изд., М.—Л., 1931; Кирпичев В., Сопротивление материалов, ч. 1—2, М.—П., 1923; Попов А., Метод трех перемещений, М.—Л., 1933. **Н. Снитко.**

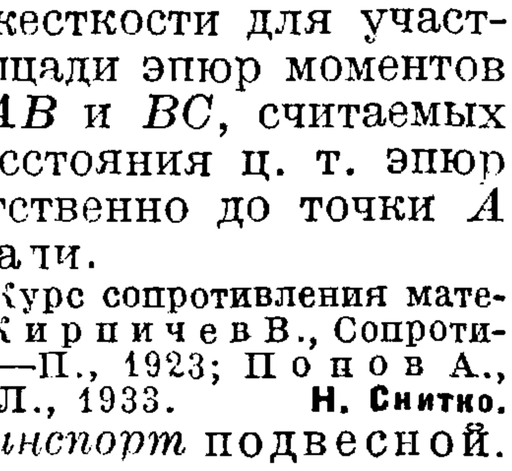
УПРУГАЯ НИТЬ, см. *Транспорт* подвесной.

УПРУГИЙ ГИСТЕРЕЗИС, явление отставания величины напряжения от величины деформации в упругой области, которое указывает отклонение свойств металла от закона прямой пропорциональности (Гук) и замедление роста (убывания) деформации по сравнению с ростом (убыванием) напряжений.

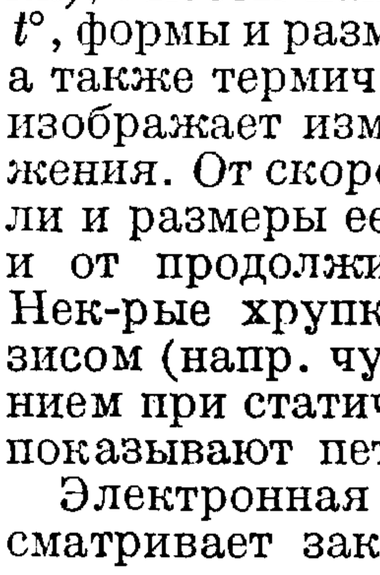
Соотношение между напряжением σ и деформацией ε, к-рое в теории сопротивления материалов д. б. признано основным, графически выражается в упругой области прямой AC в координатах σ и ε для случая нагрузки и разгрузки (фиг. 1). Между тем опыт дает соотношение между σ и ε при большой точности измерения (в опытах Фёппля 10^{-5}) в виде нек-рой кривой (фиг. 2). На фиг. 3 представлена машина Шенка, которая позволяет видеть простым глазом эту кривую за цикл напряжений (от $+\tau$ до $-\tau$) на матовом стекле. Машина состоит из оптич. индикатора и электромотора с механизмом для повторного скручивания образца a. В патроне d закреплен один конец образца, а другой соединен с крутильным динамометром, правый конец c которого закреплен наглухо, а левый конец с головкой b лежит в подшипнике. Световой луч из f, проходя через две призмы, падает на призму e, свободно насаженную на стержень динамометра, но связанную с головкой b и вибрирующую вместе с последней. От призмы e световой луч попадает через систему призм на матовый экран g и проходит на нем путь, составляющий диаграмму напряжение—деформация в течение каждой смены нагрузки образца, т. е. при каждом обороте машины. Кривую гистерезиса (или петлю гистерезиса) можно наблюдать также в неупругой области, притом очень легко при обычных средствах измерения, т. к. наибольшее и наименьшее измерения этой кривой, т. н. полуоси петли гистерезиса, велики по сравнению с теми же величинами упругой области (фиг. 4). Петля гистерезиса обнаружена при переменной нагрузке (от 0 до σ) и знакопеременной нагрузке (от $-\sigma$ до $+\sigma$) и в условиях как статического, так и динамич. действия нагрузки. Полуоси петли гистерезиса и объем ее (площадь) имеют различную величину для разных металлов и изменяются для одного и того же металла под действием особых факторов—истории металла (числа циклов предварительной нагрузки), высоты наибольшего напряжения в цикле, $t°$, формы и размеров образца, вида деформации, а также термич. и холодной обработки. Фиг. 5 изображает изменение петли от высоты напряжения. От скорости деформации появление петли и размеры ее повидимому не зависят; также и от продолжительности действия нагрузки. Нек-рые хрупкие металлы обладают гистерезисом (напр. чугун); вязкие металлы с удлинением при статич. разрыве не менее 5,5% всегда показывают петлю того или иного размера.



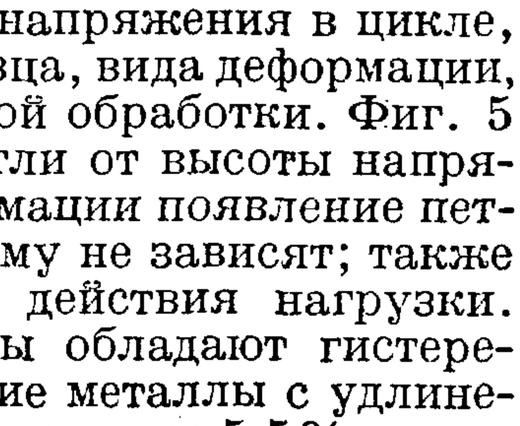
Фиг. 1.



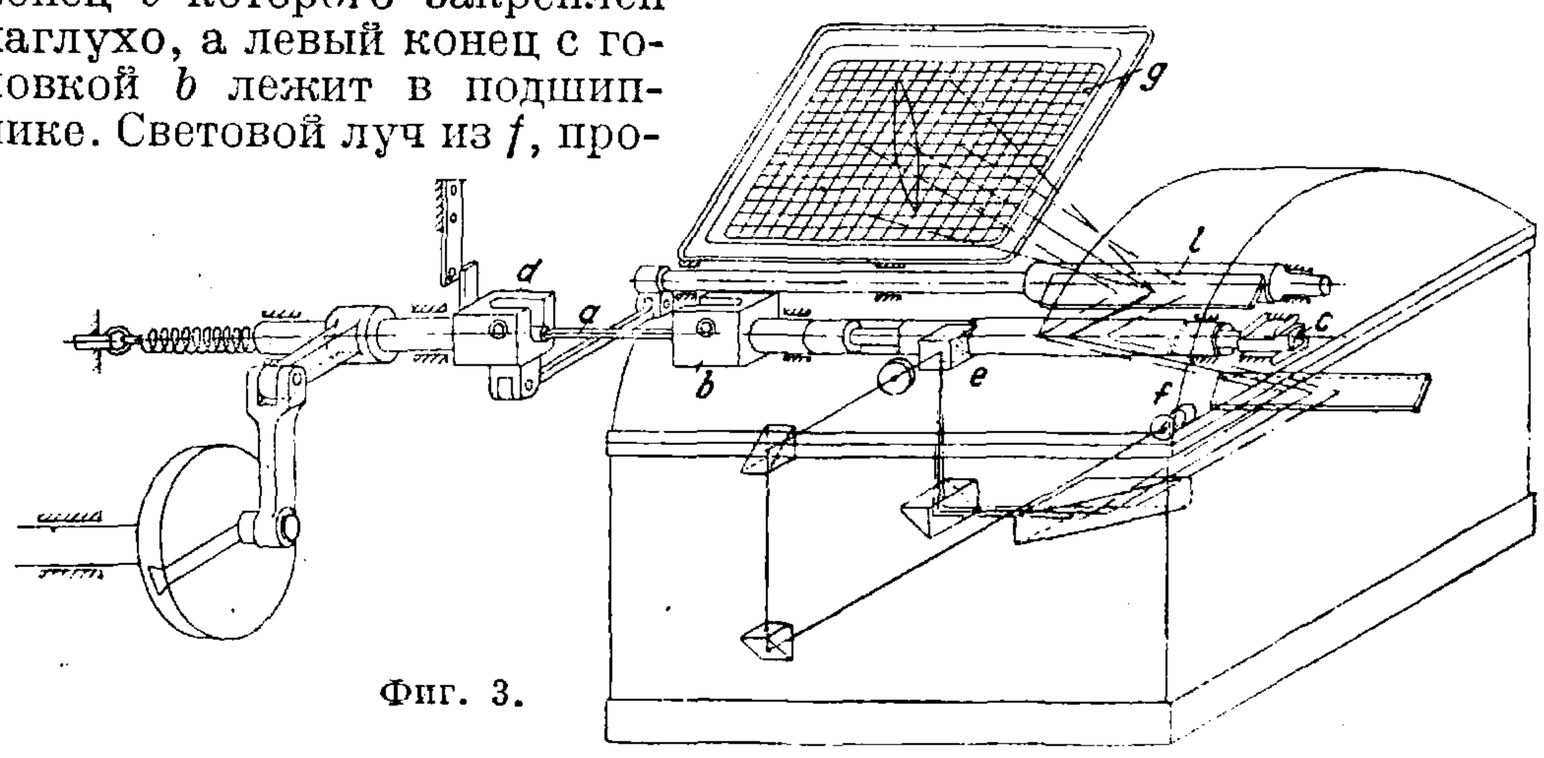
Фиг. 2.



Фиг. 4.



Фиг. 5.



Фиг. 3.

Электронная теория строения материи рассматривает закон пропорциональности между напряжением и деформацией в качестве первого и грубого приближения к действительным соотношениям, к-рые подчинены более сложному закону вида:

$$\sigma = E\varepsilon + \frac{1}{2!}E'\varepsilon^2 + \frac{1}{3!}E''\varepsilon^3 + \dots,$$

где σ — напряжение, ε — деформация, E, E', E'', ...—постоянные. Т. о. криволинейная зависимость между напряжением и деформацией соответствует электрич. природе металла и ею вполне объясняется. Расхождение между кривой нагрузки и разгрузки (необратимый процесс) находит свое объяснение в явлениях внутреннего трения металлов (Warburg), или в явлениях упругого последействия (Bennewitz) или в совместном действии обоих факторов, или в явлении начальных напряжений (Schs). В чистом одиночном кристалле явления упругого последействия и упругого гистерезиса не имеют места (идеально упругое тело), почему появление петли гистерезиса связано с дефектами внутри металла и остаточной деформацией в дефектных местах (Иоффе). Kuntze, снимая петлю гистерезиса при различных нагрузках и за разные периоды времени в условиях статич. испытания, приходит к выводу, что петля имеет один и тот же вид и объем в пределах нагрузок до $2/3\ \sigma_s$ (σ_s—начало текучести). Если принять для рас-

пределения дефектов внутри сечения металла нормальную кривую Gauss'a, то возможно доказать совпадение результатов эксперимента (объема петли гистерезиса) с вероятным значением их в пределах ошибок наблюдения.

Но какова бы ни была природа петли гистерезиса, последняя своей формой и особенно объемом позволяет выделить динамически прочные металлы, годные для знакопеременных как угодно быстро меняющихся нагрузок, и поэтому расценивается в технике как важное качество металла. Для обозначения этого качества предложен специальный термин—коэфициент затухания, а в качестве сравнительного измерителя свойств металла—относительный коэф. затухания. Коэф. затухания ϑ есть величина работы внутренних сил в единице объема, к-рая определяется объемом петли гистерезиса и усваивается металлом в необратимой форме (нагревание) за один цикл изменений. Размерность $\vartheta - \frac{см \cdot кг}{см^3 \cdot {}^\circ Ц.}$. Относительный коэф. затухания — частное от деления коэф-та затухания на величину энергии, соответствующей высоте напряжения петли гистерезиса при условии подчинения свойств металла закону Гука, т. е.

$$\psi = \frac{\vartheta}{u_e}, \qquad (1)$$

где $u_e = \frac{\tau^2}{2G}$ для кручения. Объем петли гистерезиса и следовательно коэф. затухания зависят от высоты напряжения в цикле, поэтому различают средний коэф. затухания (ϑ) для единицы объема данного образца, наибольший (ϑ_0), соответствующий крайнему напряжению волокна, и предельный (ϑ_f), соответствующий пределу выносливости или усталости. По Rowett'y зависимость между ϑ и ϑ_0, также между ϑ, ϑ_0 и размерами полого скручиваемого цилиндра с наружным радиусом r_1 и внутренним r_2 может быть дана в форме

$$\vartheta_0 = \vartheta \frac{n+2}{2} \cdot \frac{1 - \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2}{1 - \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^{n+2}}, \qquad (2)$$

если считать действительным соотношение между ϑ_0 и углом сдвига γ_0 при кручении:

$$\vartheta_0 = \alpha \gamma_0^n \quad \text{и} \quad \gamma_0 = cr, \qquad (2a)$$

где r—радиус цилиндра, α и c—постоянные. При $n = 2^1/_3$ и $\frac{r_1}{r_2} = \varrho$:

$$\vartheta_0 = 2{,}16\, \vartheta \cdot \frac{1-\varrho^2}{1-\varrho^{4^1/_3}}; \qquad (3)$$

при $n = 3$ и $\varrho = 0$ (сплошной цилиндр)

$$\vartheta_0 = 2{,}5\, \vartheta. \qquad (3a)$$

По опытам Фёппля n при пределе выносливости поднимается до 8. Из опыта удобно определяется величина среднего коэф-та затухания и по у-риям (2) и (3) отыскивается ϑ_0. Наибольшее напряжение τ_0 при кручении сплошного цилиндра с диам. d и длиной l, согласно Прандтлю, м. б. найдено из ур-ия:

$$\tau_0 = \frac{4}{\pi d^3}\left(3M + \frac{dM}{d\Delta\varphi} \cdot \gamma_0 \frac{2l}{d}\right), \qquad (4)$$

причем $\frac{dM}{d\Delta\varphi}$ берем из кривой статич. испытаний (диаграмма M и $\Delta\varphi$—крутящий момент и угол кручения) и строим новую кривую τ_0 и γ_0. Петли гистерезиса изображают также в координатах τ_0 и $\frac{\Delta\gamma_0}{2}$, откладывая по оси ординат τ_0 и по оси абсцисс полуразности углов сдвига крайнего волокна при нагрузке и разгрузке (фиг. 6). На фиг. 6 изображены две петли для стали при угле сдвига $\gamma_0 = 20 \cdot 10^{-4}$ и $\gamma_0 = 16 \cdot 10^{-4}$. Очевидна разница между петлями по объему. Если принять между действующим моментом и деформацией закон пропорциональности, что соответствует опытным данным, то

$$\frac{dM}{d\Delta\varphi} = A = \text{Const и } M = k\gamma_0$$

и ур-ие (4) преобразуется сл. обр.:

$$\tau_0 = \frac{4}{\pi d^3}\left(3k + A\frac{2l}{d}\right)\gamma_0 = C\gamma_0, \qquad (4a)$$

где C—константа. Поэтому наибольший коэф. затухания по ур-ию (2a) равен

$$\vartheta_0 = \frac{a\tau_0^n}{C^n}, \qquad (5)$$

и средний коэф. затухания по ур-ию (2) будет равен:

$$\vartheta = C_0 \tau_0^n \frac{1-\varrho^{n+2}}{1-\varrho^2}, \qquad (5a)$$

причем

$$C_0 = \frac{2a}{C^n (n+2)}.$$

Для $n = 2^1/_3$

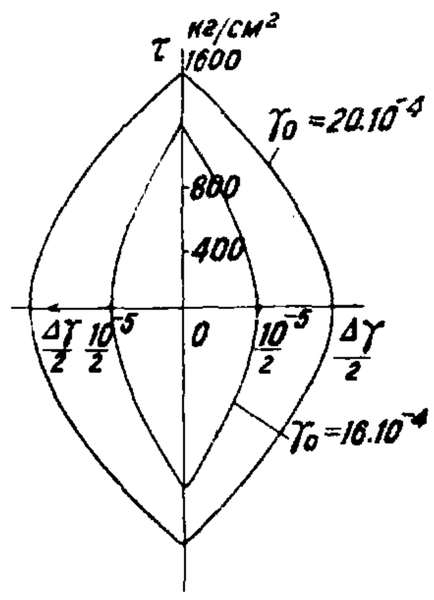
$$\vartheta = C_0 \tau^{2^1/_3}\left(1 - \varrho^{4^1/_3}\right)\frac{1}{1-\varrho^2}; \qquad (6)$$

для $n = 3$ и $\varrho = 0$

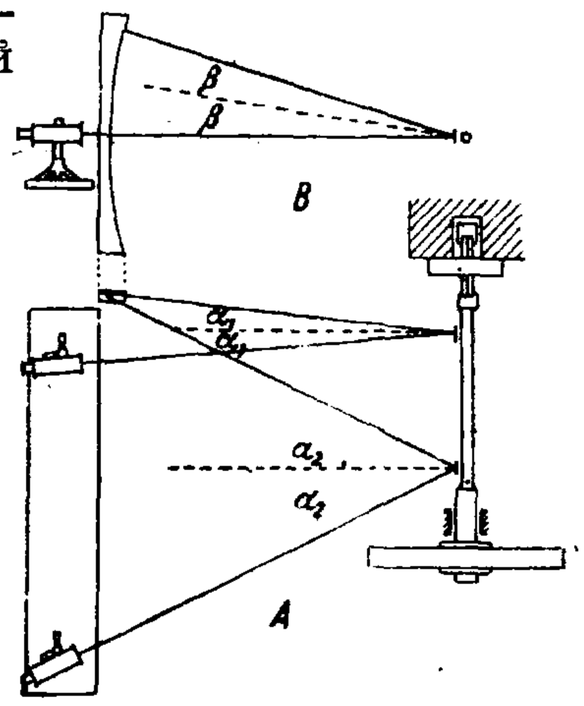
$$\vartheta = C_0' \tau^3. \qquad (7)$$

Т. о. коэф. затухания, и следовательно динамич. прочность материала, зависит от формы сечения (коэф. C_0 и C_0') и высоты напряжения.

Сравнение металлов в отношении прочности при колебательной нагрузке (динамич. прочности) возможно сделать по величине ϑ, найденной для одной и той же формы сечения и для одной



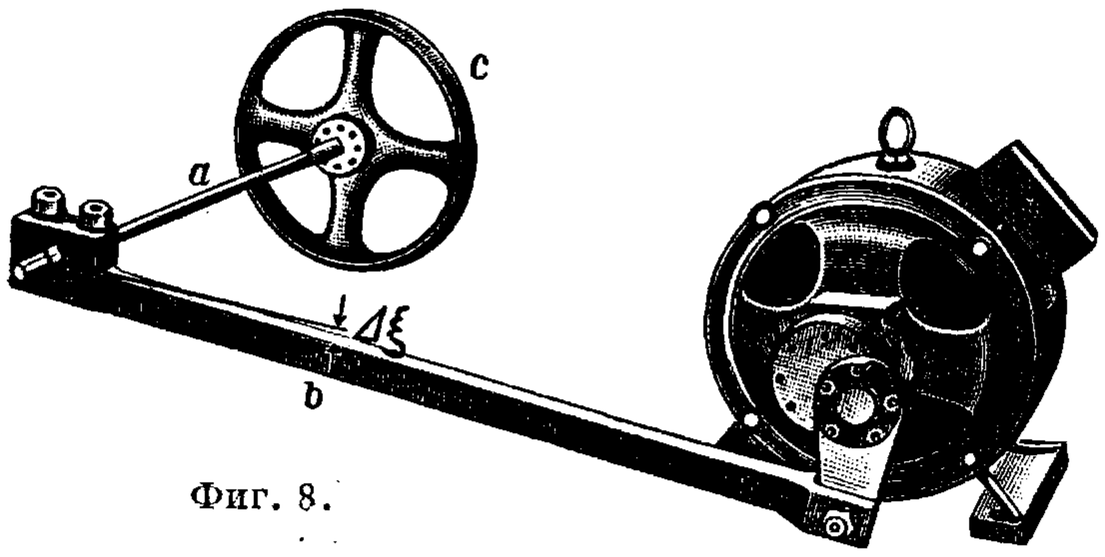
Фиг. 6.



Фиг. 7.

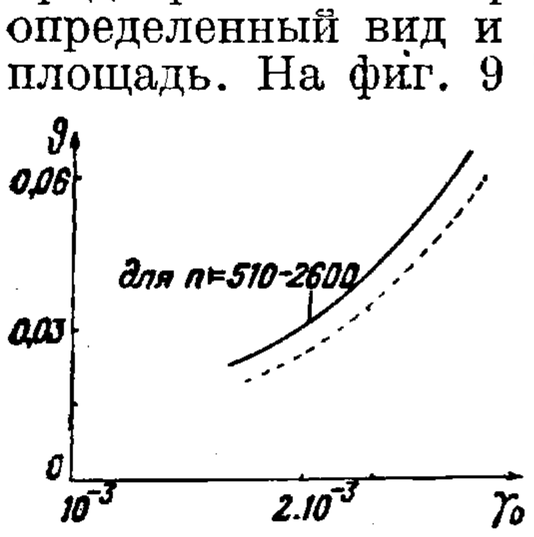
и той же деформации. Величина ϑ м. б. определена опытом в условиях статич. или динамич. нагрузки, причем для последней несколькими способами. На фиг. 7 показана схема установки для снятия петли при статич. нагрузке (А—в горизонтальной и В—в вертикальной плоскости). Один конец образца заделан прочно в стене, другой несет шкив, к-рый снабжен лентой с грузом. Величина груза в опыте изменяется, и т. о. в образце создается напряженное состояние при нагрузке и разгрузке. Деформация измеряется при помощи зеркального прибора с большим увеличением. На фиг. 8 изображена машина для динамических испытаний кручением. Стержень a имеет один конец, жестко закрепленный в тяге b и подвижный вместе с ней, другой конец присоединен к маховику c. При вращении мотора стержень периодически скручивается; мотор подвергается регулировке до тех пор, пока система маховик—образец не оказывается в резонансе с системой мотора. Т. о. создается устойчивый режим

колебаний, в котором образец воспринимает в необратимой форме известное количество энергии и нагревается. Амплитуда колебаний изме-

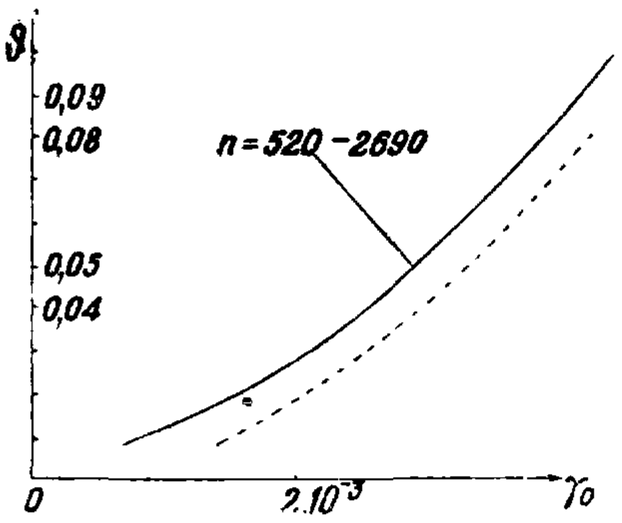


Фиг. 8.

ряется путем наблюдения за отметками на маховике (в виде тр-ков), которые отчетливо видны во время поворота маховика в начале размаха или м. б. сфотографированы. Повышение $t°$ отмечается термоэлементом с точностью до 0,05°. Для определения площади петли гистерезиса измеряют: 1) отводимое образцом тепло в установившемся состоянии, или 2) изменение $t°$ при пуске, или 3) непосредственно подводимую работу к системе маховик—образец. Во всех случаях образец д. б. подготовлен предварительно: он должен испытать не менее $10 \cdot 10^6$ циклов при угле сдвига, большем того, к-рый имеет место в динамич. условиях, т. к. только после этой предварительной обработки петля приобретает определенный вид и площадь. На фиг. 9

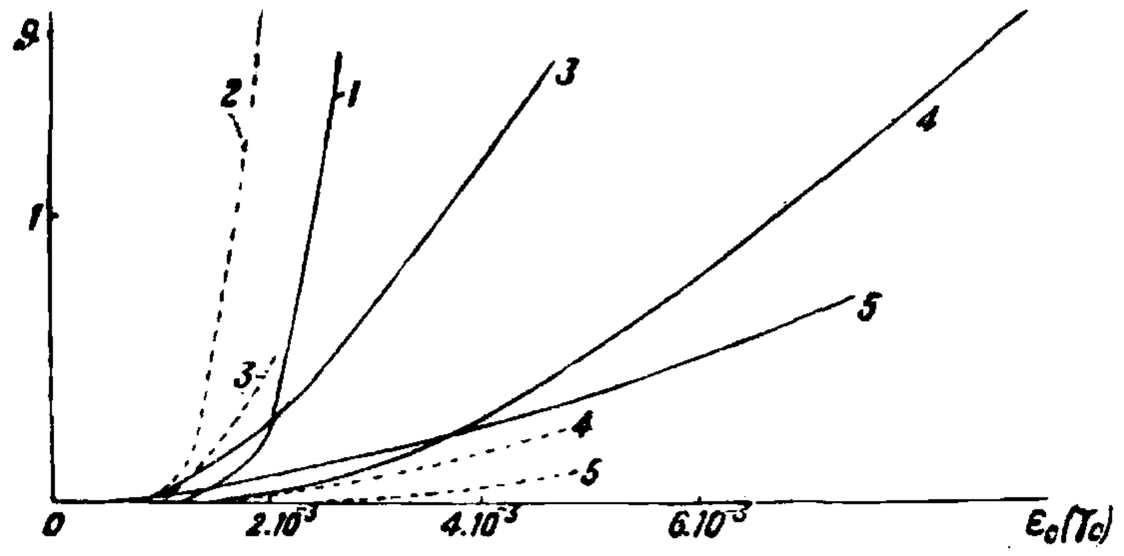


Фиг. 9.



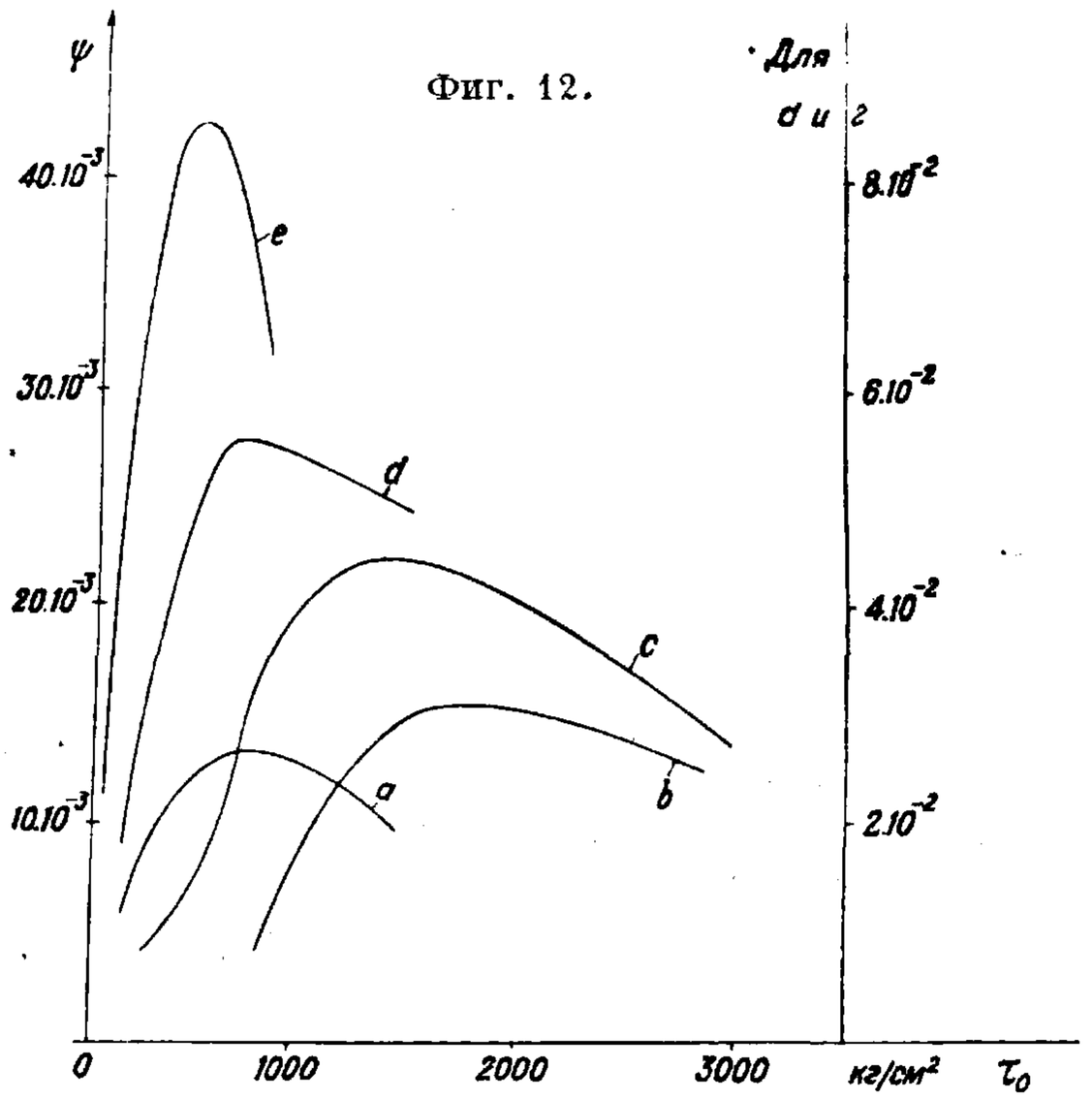
Фиг. 10.

изображены кривые ϑ, полученные измерением $t°$-ного градиента (полной линией) и статич. путем (пунктиром) для стали со следующими характеристиками: $\sigma_B = 7\,380$ *кг/см²*, $\delta = 15{,}8\%$, $\tau_\varrho = 2\,450$ *кг/см²* при числе циклов $\varrho = 2 \cdot 10^6$, после отпуска при $t° = 620°$ в течение 20 мин. и охлаждения в масле. Кривые дают явно одну и ту же закономерность при статич. и динамич. испытаниях. То же на фиг. 10, где динамич. затухание (полная линия) найдено по принципу измерения подводимой работы. В табл. 1 сопоставлены коэф-ты затухания для той же стали, что и на фиг. 9, из различных способов измерения при деформации кручения. На фиг. 11 сопоставлены кривые затухания, полученные из опытов на кручение: *1*—железо Круппа, *2*—сталь отожженная, *3*—медь, *4*—латунь и *5*—электрон; пунктирные кривые относятся к изгибу, сплошные—к кручению. Расхождение замечается, но не существенное в отношении



Фиг. 11.

опытов на изгиб и кручение. Большая разница наблюдается между значениями коэф-та затухания для различной величины деформации и напряжения (фиг. 9 и 10), поэтому принять коэф. затухания в качестве характеристики ме-



Фиг. 12.

талла возможно только при одной величине деформации. Если взять для сравнения деформацию, соответствующую пределу пропорциональности ($\gamma = 0{,}002$), получим средние коэф-ты затухания, приведенные в табл. 2 (стр. 571).

В основание суждения о динамич. прочности металла возможно положить наибольшее значение относительного коэф-та затухания ψ, которое находится указанным путем измерения ϑ. На фиг. 12 представлены кривые изменения относительного коэф-та затухания в зависимости от высоты напряжения при различном числе циклов для нек-рых металлов. Все кривые обнаруживают максимум при особом для каждого металла напряжении, после которого начинается

Табл. 1.—Коэфициент затухания при кручении стального образца.

γ_0	τ_0	Статическое		По отводимому теплу		По $t°$=градиенту		По поглощаемой работе		Число оборотов n
		ϑ, %	ψ, %	ϑ, %	ψ, %	ϑ, %	ψ, %	ϑ, %	ψ, %	
$13 \cdot 10^{-4}$	1 310	0,012	2,3	0,01150	2,19	0,016	3,05	0,0135	2,57	150
				0,0135	2,57	0,016	3,05	0,016	3,05	600
				0,0110	2,10	0,016	3,05	0,015	2,86	1 200
				0,0105	2,00	0,016	3,05	0,014	2,67	2 400
$20 \cdot 10^{-4}$	1 640	0,021	3,0	0,024	2,93	0,0265	3,23	0,026	3,17	150
				0,025	3,14	0,0265	3,23	0,029	3,54	600
				0,0235	2,87	0,027	3,29	0,0285	3,48	1 200
				0,0225	2,79	0,028	3,42	0,0270	3,30	2 400
$24 \cdot 10^{-4}$	1 960	0,045	3,8	0,044	3,73	0,055	4,66	0,050	4,23	150
				0,015	3,85	0,055	4,66	0,060	5,08	600
				0,040	3,39	0,0555	4,70	0,087	4,83	1 200
				0,016	3,90	0,0555	4,70	0,053	4,59	2 400

Табл. 2.—Средние коэфициенты затухания.

Деформации	Железо Круппа	Сталь отожж.	Медь	Латунь	Электрон	Железо
Изгиб . . .	0,5	0,5	0,3	0	0	0,125
Кручение .	0,1	0,1	0,06	0	0	0,025

быстрое падение величины коэфициента затухания. Кроме того максимум кривой выявляется различным числом циклов, также особым для каждого металла: для стали (кривая a)—после $20\cdot10^6$ циклов, для инструментальной стали (кривая b)—после $2\cdot10^6$ циклов, для специальной стали VCN (кривая c)—после $5\cdot10^6$ циклов, для никеля (кривая d)—после $4\cdot10^6$ циклов и для электролитич. железа (кривая e)—после $4\cdot10^6$ циклов. Сравнение по наибольшему относительному коэф-ту затухания ψ дало следующие результаты (определение получено на машине Шенка для динамического растяжения—сжатия) (в %):

Сталь № 11, 12 . . .	1,3	Никель	5,5
Инстр. сталь . . .	1,5	Электрол. железо . .	4,25
VCN сталь	2,2		

Сравнивают также металлы по величине относительного коэф-та затухания, значение которого находят другим путем, отличным от описанных методов. Относительный коэф. затухания ψ находится в тесной, хотя и не вполне выясненной, зависимости с пластич. частью деформации, к-рая имеет место в пределах упругости. Если предел упругости найден с точностью до 0,003% (что соответствует международным нормам), то остаточная деформация равна $\varepsilon_{pl}=0{,}003\%$. Для мягкой стали упругое удлинение в пределах упругости не превышает

$$\varepsilon_{el}=\frac{2\,000}{2\cdot10^6}=\frac{1}{1\,000},\ \text{или}\ 0{,}1\%. \tag{8}$$

Отсюда доля пластич. деформации в пределах упругости составляет

$$\lambda=\frac{\varepsilon_{pl}}{\varepsilon_{pl}+\varepsilon_{el}}\cong0{,}03, \tag{9}$$

или 3% общей деформации. По опытам Фёппля, Беккера и др. отношение λ к ψ колеблется очень значительно, среднее его значение м. б. взято между 0,16 и 0,23 для железа и стали, приблизительно 0,2, т. е.

$$\psi=5\,\lambda. \tag{10}$$

Величина ψ м. б. найдена также по кривой колебаний (в координатах φ и t). Пусть колебание подчинено гармонич. закону, тогда поглощаемая в данный момент энергия равна:

$$T=A\varphi_0^2, \tag{11}$$

где A—постоянная, φ_0—амплитуда. За бесконечно малую часть z-го колебания поглощаемая энергия увеличивается на $\frac{dT}{dz}$, и следовательно относительный коэф. затухания равен

$$\psi=\frac{dT}{dz}\cdot\frac{1}{T}=\frac{d\ln T}{dz}=\frac{2A\varphi_0}{A\varphi_0^2}\cdot\frac{d\varphi_0}{dz}=2\frac{d\ln\varphi_0}{dz}. \tag{12}$$

Но $\frac{d\ln\varphi_0}{dz}=\text{Const}$ в затухающих колебаниях и

$$\Big|_0^{z=n}\ln\varphi_0=C\Big|_0^{z=n}z \tag{13}$$

или

$$\ln\varphi_n-\ln\varphi_0=Cn, \tag{14}$$

и далее

$$C=\frac{\ln\frac{\varphi_n}{\varphi_0}}{n}=\delta, \tag{15}$$

где δ—логарифмич. декремент колебаний. Наблюдая 10 последовательных колебаний или менее для любого случая, определяем $\frac{\varphi_n}{\varphi_0}$ и затем $\ln\frac{\varphi_n}{\varphi_0}=\delta$. По ур-ию (12) находим $\psi=2\delta$. Поэтому, определив ψ по отношению (12) или (10), находим ϑ и, если желательно, ϑ_0. В табл. 3 сведены коэф-ты затухания ψ при пределе усталости.

Табл. 3.—Относительный коэфициент затухания при пределе усталости.*

Материал	Химический состав, %	σ_s, кг/мм²	σ_B, кг/мм²	δ, %	σ_f, кг/мм²	ψ_f	$\frac{\sigma_f}{\sigma_s+\sigma_B}$	$\frac{\sigma_f}{\sigma_B}$
Чугун	3,5C; 0,6Mn; 2,0Si; 0,5P	—	28	—	6,5	1,76	—	0,23
Заклеп. железо	0,08C; 0,5Mn; 0,12S	29	40	26	25	0,26	0,36	0,62
С.-м. сталь	0,34C; 0,63Mn; 0,1Si	35	53	21	25	3,37	0,28	0,47
Пруж. сталь	0,43C; 1,5Mn; 0,1 Si	54	75	22	32	1,07	0,25	0,43
Пруж. сталь	0,53C; 0,53Mn; 1,73Si	43	72	16	37	0,01	0,32	0,51
Никел. сталь	0,38C; 0,73Mn; 0,21Si; 1,7Ni	85	95	18	50	0	0,28	0,52
Хромоникелевая сталь . . .	0,14C; 4,7Ni; 1,0Cr	85	91	19	60	0	0,34	0,66
Хромоникелевая сталь . . .	0,17C; 3,8Ni; 1,1Cr	47	78	26	45	0,65	0,36	0,58
Латунь	—	33	47	13	18	0	0,20	0,34
Медь	—	29	31,5	17	9	0	0,15	0,29
Электрон	—	—	23	18	9	0	—	0,39
Алюминий	—	11	13,5	10	5,5	0	0,22	0,41
Дуралюминий	—	22	38	13	14,5	0,15	0,24	0,38

* Sachs, Handbuch für Physik, B. 5.

Выбор материала на основании объема петли гистерезиса представляет верный ход при конструировании машинных деталей, но не решает окончательно вопроса об их обязательной прочности в работе, т. к. петля гистерезиса находится в большой зависимости и от формы сечения детали [ур-ия (6) и (7)]. Коэф. C_0 д. б. найден опытом для данной конструкции. Принимают для полого вала из отожженной углеродистой стали $C_0=1675\cdot10^{-11}$, для целого вала $C_0'=500\cdot10^{-11}$, если величина деформации (γ_0) находится в пределах ок. 0,0015—0,0020. Очевидно полная работа, к-рую воспринимает упругое тело с средним коэф-том затухания ϑ за один цикл и превращает в теплоту без изменения внутренней структуры и притом в течение какого угодно продолжительного времени, будет равна:

$$U_0=V\cdot\vartheta\,\frac{см\cdot кг}{°Ц.}, \tag{16}$$

где V—объем детали в $см^3$, ϑ — средний коэф.

затухания по ф-ле (6) или (7) для полого и целого цилиндра с круглым сечением, или по табл. 2 или 3. Сравнивая внешнюю работу, которая передается детали во время толчков или колебаний при наибольшем отклонении от положения равновесия, с величиной $\mathfrak{U}_0$, можем определить величину напряжения детали и следовательно установить действительный запас прочности ее. Для 6-цилиндрового мотора, напр. с симметричным расположением цилиндров, избыточный крутящий момент на валу (против среднего) м. б. представлен рядом с точностью до 3-го члена:

$$\Delta M = \varepsilon M_0 \cos(3\alpha + \beta), \qquad (17)$$

где εM_0 — амплитуда избыточного момента, M_0—средний момент, α—угол поворота вала, β — фазовый угол. Угол кручения во время резонанса выражается рядом:

$$\varphi = \varphi_0 \cos\left(3\alpha + \beta + \frac{\pi}{2}\right). \qquad (18)$$

Поэтому величина избыточной работы будет:

$$A = \int_0^{2\pi} \Delta M \, d\varphi = 3 M_0 \varphi_0 \varepsilon \pi. \qquad (19)$$

Работа внутренних сил должна возрасти на величину

$$\mathfrak{U}_0 = A = 3\pi\varepsilon M_0 \varphi_0 \qquad (20)$$

и при отсутствии внешних сопротивлений д. б. равна объему петли гистерезиса, т. е. $3\vartheta V$. Отсюда, полагая $\varphi_0 = \frac{2\gamma_0 l}{d}$, имеем для полого вала:

$$3V\vartheta \geqslant 3\frac{2\gamma_0 l}{d}\pi\varepsilon M_0 \qquad (21)$$

или

$$\varepsilon \leqslant \frac{d^3(1-\varrho^2)\vartheta}{8\gamma_0 M_0}. \qquad (22)$$

Но так как

$$M_0 = \frac{\pi d^3}{16}(1-\varrho^4) R_s, \qquad (23)$$

где R_s—расчетное напряжение, то

$$\varepsilon \leqslant \frac{2\vartheta}{\pi\gamma_0(1+\varrho^2)R_s}. \qquad (24)$$

Полагая $\frac{\tau}{\gamma_0} \cong G$, имеем:

$$\varepsilon \leqslant \frac{2G\vartheta}{\pi(1+\varrho^2)\tau R_s}$$

или

$$\varepsilon \leqslant \frac{2GC_0\tau^{4/3}}{\pi R_s} \qquad (25)$$

для полого вала. Пусть во время колебаний напряжение не должно превышать допустимого в 2 раза, т. е.

$$\frac{\tau}{R_s} = 2,$$

тогда

$$\varepsilon \leqslant \frac{2GC_0}{\pi} \cdot 2^{7/3} R_s^{1/3} \qquad (26)$$

и

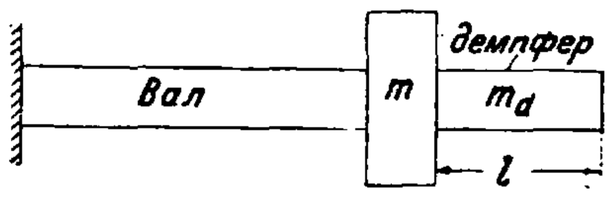
$$R_s \geqslant \frac{\pi^3\varepsilon^3}{2^7 C_0^3 G^3}. \qquad (27)$$

Для $C_0 = 1675 \cdot 10^{-11}$ и $G = 0{,}8 \cdot 10^6$ *кг/см²* имеем:

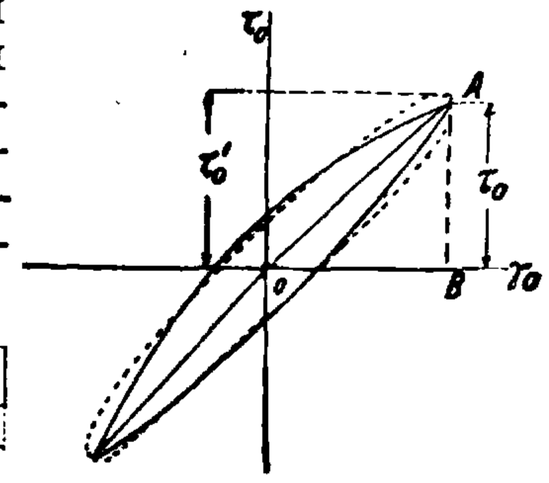
$$R_s \geqslant 10^5 \varepsilon^3. \qquad (28)$$

Если $\varepsilon = 0{,}17$, то $R_s \geqslant 17^3 \cdot 10^{-6} \cdot 10^5 = 500$ *кг/см²*: допустимое напряжение д. б. не менее определенной величины для заданной амплитуды избыточного момента; чем выше наибольший момент по сравнению со средним, тем лучший материал д. б. выбран.

Относительный коэф. затухания ψ имеет большое значение в теории упругого демпфера (так называется упругое тело различной формы, которое присоединяется к основным деталям для амортизации их колебаний в целях полного успокоения). На фиг. 13 дана схема упругого демпфера вала двигателя. Если преобразовать петлю гистерезиса в равновеликий эллипс, то объем ее будет равен:



Фиг. 13.



Фиг. 14.

$$\vartheta = \pi\gamma_0\tau_0 \operatorname{tg}\alpha, \qquad (29)$$

где γ_0—наибольший угол сдвига, τ_0—наибольшее напряжение в эквивалентном эллипсе (фиг. 14). Площадь тр-ка OAB—величина энергии в единице объема в случае изменения по прямой—равна

$$\mathfrak{U}_0 = \frac{\tau\gamma_0}{2}. \qquad (30)$$

Поэтому относительный коэф. затухания равен

$$\psi = \frac{\vartheta}{\mathfrak{U}_0} = 2\pi \operatorname{tg}\alpha, \qquad (31)$$

или $\operatorname{tg}\alpha = \frac{\psi}{2\pi}$, т. е. зависимость между напряжением в петле и напряжением по прямой Гука определяется коэф-том затухания. В виду того что для эллипса имеют место следующие соотношения:

$$\gamma_t = \gamma_0 \sin\omega t \quad \text{и} \quad \tau_t = \frac{\tau_0}{\cos\alpha}\sin(\omega t + \alpha),$$

получим

$$\tau_t = A\left(\gamma_t + \frac{\psi}{2\pi\omega}\cdot\frac{\partial\gamma_t}{\partial t}\right), \qquad (32)$$

где $A = \frac{\tau_0}{\gamma_0}$—постоянная величина, отличная от модуля сдвига. Для демпфера в виде цилиндра с круговым сечением ур-ие колебаний при кручении будет иметь вид:

$$-M_x + M_{x+dx} - \mu I_0\, dx \frac{\partial^2\varphi}{\partial t^2} = 0. \qquad (33)$$

Здесь μ—удельная масса цилиндра, I_0—полярный момент инерции сечения цилиндра, $(M_x - M_{x+dx})$—момент от гистерезиса, φ—амплитуда. Отсюда очевидно можно положить:

$$\gamma_0 = d_0\frac{\partial\varphi}{\partial x}, \quad M_x = \frac{I_0}{r_0}\tau_t = \frac{AI_0}{r_0}\left(\gamma_t + \frac{\psi}{2\pi\omega}\cdot\frac{\partial\gamma_t}{\partial t}\right),$$

$$-M_x + M_{x+dx} = \frac{\partial M_x}{\partial x}dx =$$

$$= \frac{AI_0}{r_0}\left(r_0\frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2} + \frac{\psi r_0}{2\pi\omega}\cdot\frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2\partial t}\right).$$

Тогда придем к ур-ию:

$$A\left(\frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2} + \frac{\psi}{2\pi\omega}\frac{\partial^3\varphi}{\partial x^2\partial t}\right) - \mu\frac{\partial^2\varphi}{\partial t^2} = 0; \qquad (34)$$

ψ и A находятся в зависимости от высоты напряжения для одного и того же материала. Если считать их постоянными, то интеграл ур-ия (34) м. б. представлен в виде:

$$\varphi = \frac{\varphi_0}{D}(\alpha\sin\omega t + \beta\cos\omega t), \qquad (35)$$

причем

$$\alpha = e^{\omega q x}(A\sin\omega p x + B\cos\omega p x) + e^{-\omega q x}(A\sin\omega p x + C\cos\omega p x);$$

$$\beta = e^{\omega q x}(B\sin\omega p x - A\cos\omega p x) + e^{-\omega q x}(A\cos\omega p x - C\sin\omega p x);$$

$$A = \sin\omega p l;$$

$$B = e^{-2\omega q e} + \cos 2\omega p l;$$

$$C = e^{2\omega q e} + \cos 2\omega p l;$$

$$D = B + C;$$

$$q = \frac{\psi}{2\pi}\sqrt{\frac{\mu}{A}};$$

$$p = \sqrt{\frac{\mu}{A}};$$

$$\frac{q}{p} = \frac{\psi}{2\pi} = \operatorname{tg}\alpha;$$

φ_0—амплитуда места закрепления демпфера. Пограничные условия:

$$\varphi_{x=0} = \varphi_0\sin\omega t;\ \frac{\partial\varphi}{\partial x}\Big/_{x=l} = 0 \text{ при любом } t$$

(свободный конец цилиндра без напряжений). Для $\psi = 0$ имеем свободное колебание самого демпфера, частота к-рого в резонансе с местом закрепления равна по ур-ию (35)

$$\omega_d = \frac{\pi}{2l}\sqrt{\frac{A}{\mu}}. \qquad (36)$$

Из ур-ия $\mathfrak{U}_0 = \int_0^{2\pi} M_x\,d\varphi$ найдем величину работы, поглощаемой демпфером за цикл:

$$\mathfrak{U}_0 = \pi\varphi_0^2 C_d v. \qquad (37)$$

Здесь обозначены:

$$C_d = \frac{AI_0}{e};\quad v = \frac{z\psi}{2}\cdot\frac{z\pi - \sin z\pi}{4\cos^2\frac{z\pi}{2} + \left(\frac{z\psi}{4}\right)^2};\ z = \frac{\omega}{\omega_d} =$$

$$= \frac{\text{действительная угловая скорость демпфера}}{\text{круговая частота свободных колебаний цилиндра демпфера (без гистерезиса)}}.$$

В случае резонанса

$$\mathfrak{U}_0 = \frac{8\pi^2\varphi_0^2 C_d}{\psi}. \qquad (38)$$

Включение демпфера на вал, свободная частота к-рого равна $\sqrt{\frac{c}{m}}$, где $c = \frac{GI_{\text{вала}}}{l_{\text{вала}}}$ и m—приведенная масса на конце вала вблизи демпфера, приводит амплитуду колебаний вала к величине

$$\varphi = \frac{M_e}{\sqrt{(c - m\omega^2 - C_d\cdot u)^2 + (k\omega + C_d v)^2}}, \qquad (39)$$

где M_e—амплитуда избыточного момента на валу,

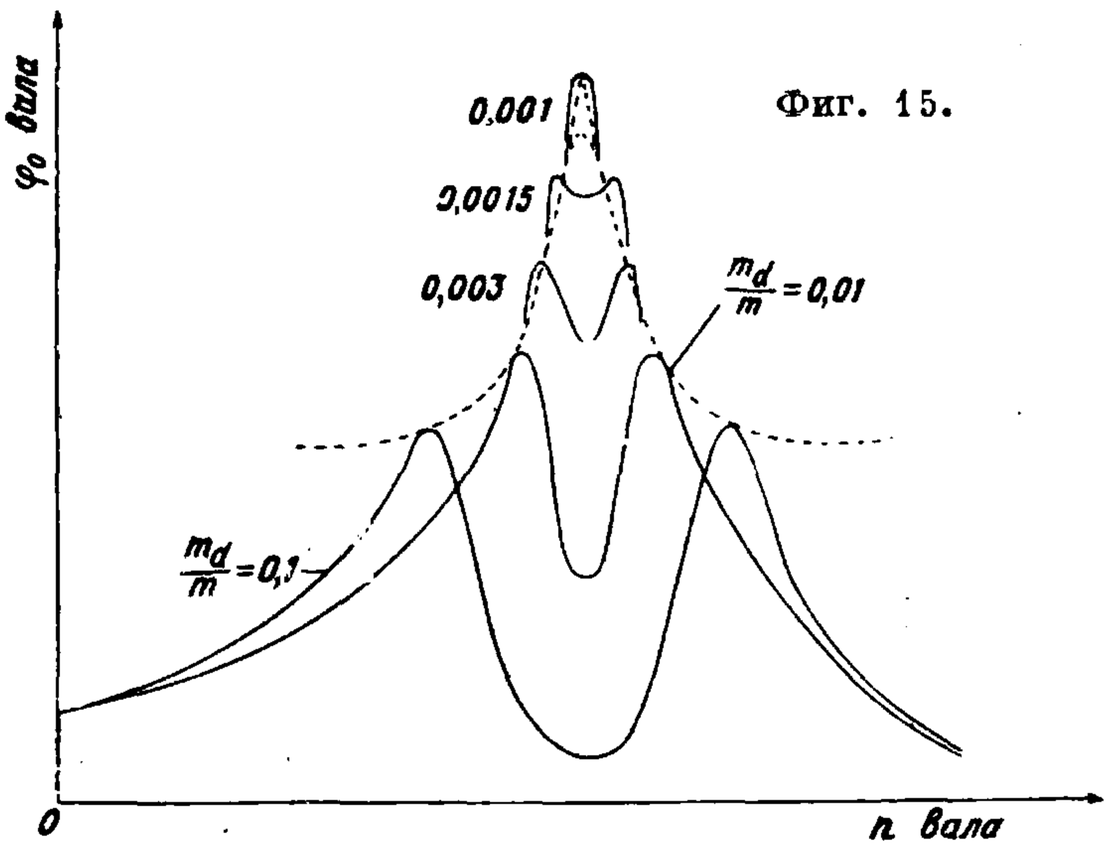
$$u = \frac{\pi z\sin z\pi}{4\cos^2\frac{z\pi}{2} + \left(\frac{z\psi}{4}\right)^2},$$

k—коэф. внешнего сопротивления вала, остальные величины известны. На фиг. 15 представлено изменение φ в зависимости от числа оборотов вала и относительной величины массы демпфера. Легко усмотреть, что резонанс наступает для каждого значения $\frac{m_d}{m}$ дважды; абсолютная величина амплитуды при известном резонансе дает указание относительно решения вопроса: включить демпфер или нет. Размеры демпфера в случае настройки его работы в резонанс с валом для определенного числа оборотов последнего можно найти сл. обр.:

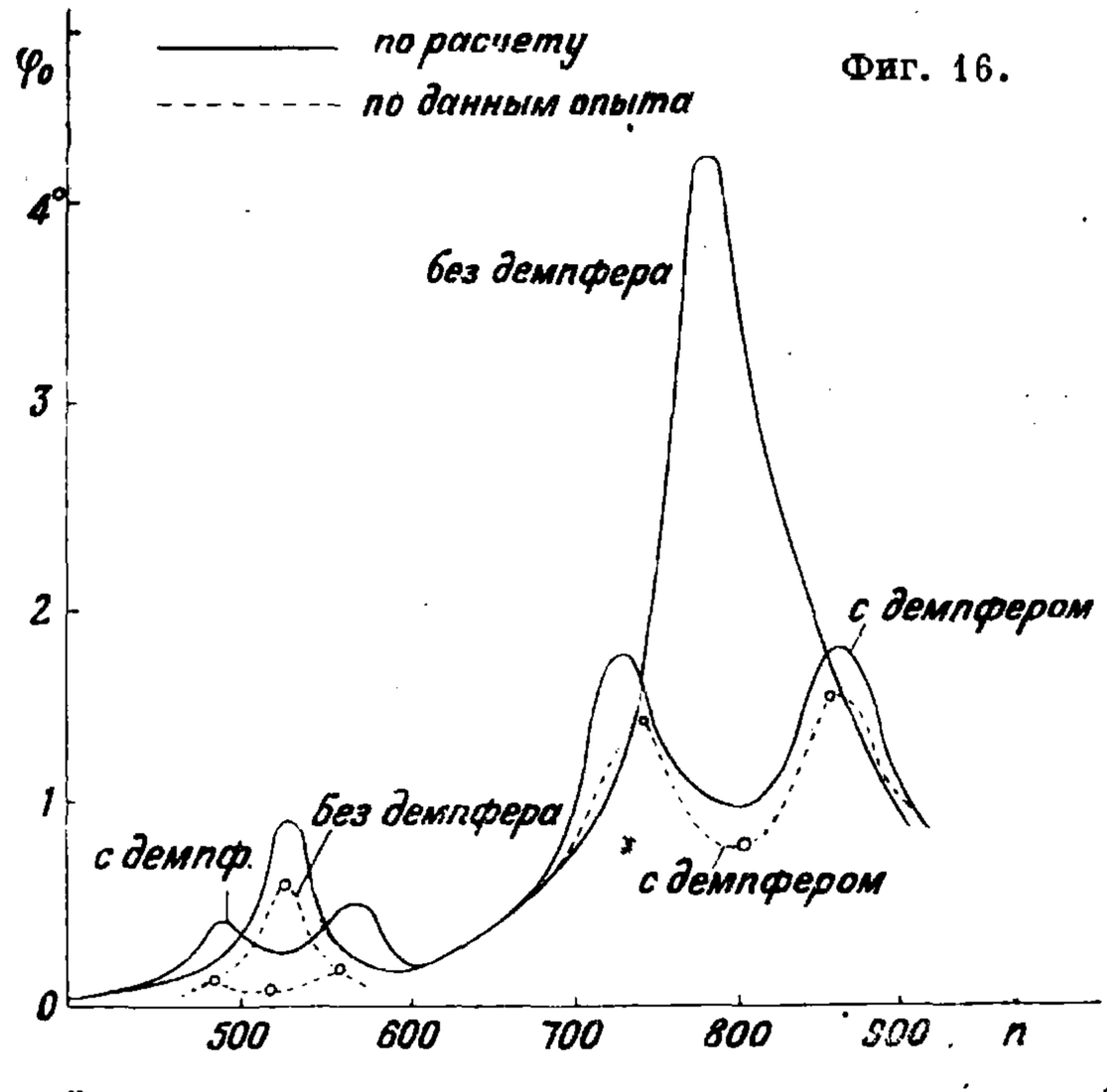
$$\varkappa = 1 + \frac{k/m\omega\ \text{вала}}{\psi/2\pi},\qquad c'_d = \frac{c\psi^2}{2\pi^2\varkappa},$$

$$m_d = \frac{m\pi^2}{4}\cdot\frac{c'_d}{c} = \frac{m\psi^2}{8\varkappa},\qquad m_d = \mu I_0 l. \qquad (40)$$

Если при m_d демпфер нагревается очень быстро и выше нормы, работа его в консонансе с валом невозможна, и размеры демпфера д. б. установлены по ур-ию (37), причем амплитуда колебаний определяется по ур-ию (39) для известного пульсирующего момента M_e. Последний отыскивается гармонич. анализом кривой моментов двигателя. На фиг. 16 сделано сравнение кривых амплитуд двигателя — одной, полученной из опыта, другой—расчетом на основании приведенных ур-ий.



Фиг. 15.



Фиг. 16.

Лит.: Иоффе А., Физика кристаллов, М.—Л., 1932; Кузнецов В., Физика твердого тела, Томск, 1933; Moore A. and Kommers J., The Fatigue of Metalls, L., 1927; Gough H., The Fatigue of Metalls, L., 1924; Lehr E., Die Abkürzungverfahren zur Ermittelung d. Schwingungsfestigkeit von Materialen, Stg., 1925; Lehr E., Schwingungstechnik, B., 1930; Sachs G., Handbuch d. experim. Phys., hrsg. von W. Wien u. F. Harms, Band 5, B., 1932; Graf O., Die Dauerfestigkeit der Werkstoffe u. d. Konstruktionselemente, B., 1929; Warburg E. u. Heuse W., «Verh. d. deutschen Phys. Ges.», Brschw., 1915, B. 17, p. 212; Popplewell W., «Engineer», 1916, *121*, p. 339; Wartenberg H., «Verh. d. deutschen Phys. Ges.», Brschw., 1918, B. 20, p. 113; Kundsen M., «Ann. d. Phys.», Lpz., 1915, B. 47, p. 697; Bennewitz K., ibid., 1919, B. 59, p. 193; Bennewitz K., «Phys. Ztschr.», Lpz. 1920, B. 21, p. 703; Mark K. H., Polanyi M. u. Schmidt E., «Z. f. Phys.», Lpz., 1922; Volmer M.,

«Phys. Ztschr.», Lpz., 1921, B. 22, p. 646; Volmer M., «Ztschr. f. Physik», Lpz., 1921; Volmer M., ibid., 1921, 7, p. 1 u. 13; Polanyi M., «Ztschr. f. Elektrochemie», Lpz., 1922, B. 28, p. 16; Masing G., «Wiss. Veröff. aus d. Siemens-Konz.», B., 1922, H. 3; Alterthum H., «Z. f. Elektrochemie», Lpz., 1922, B. 28, p. 347; Bennewitz, «Phys. Ztschr.», Lpz., 1924, B. 25, *17*, p. 417; Mauksch W., «Mitt. d. Kais. Wilh. Inst. f. Metallkunde», B., 1922, *1*, p. 41; Feussner O. u. Ramb, «Ztschr. f. Metallkunde», B., 1927, *19*, p. 115; Pertz E., Die Bestimmung d. Baustoffdämpfung nach d. Verdrehungsausschwingverfahren, Sammlung Vieweg, Brschw., 1928, H. 91; Föppl O., «Z. d. VDI», 1928, B. 72, p. 1293; Becker E. u. Föppl O., «Forsch. Arb.», B., 1928, H. 304; Späth W., «Ztschr. f. ang. Mathem. u. Mechanik», B., 1927, p. 360; Voigt E., «Z. f. techn. Phys.», Lpz., 1928, *9*, p. 321; Geller, «Arch. f. Eisenhüttenwesen», 1928, p. 257; Jenkin C., «Engineering», 1922, *114*, p. 603; ibid., *134*, 612; Mailänder R., «Forsch. Arb.», B., 1922, H. 295; «St. u. E.», 1924, H. 21—25; Aders, «Mitt. Forsch. Inst. d. Vereinig. Stahlwerke», 1929; Boudouard M., «Bulletin de la Societé d'encouragement», P., 1910; Föppl O., Becker E., v. Heydekampf, Metallwirtschaft, 1929; Houdremont E. u. Mailänder R., «Kruppsche Monatshefte», Essen, 1929; Ros, Verh. des 2 int. Kongresses f. techn. Mechanik, Delft, 1926; Rowett F., «Proceed. of the Royal Society of London», 1924, Ser. A., v. 89; Stromeyer C., «Engin.», L., 1915; Ludwik P., Schwingungsfestigkeit, «Ztschr. d. österreich Ingen. u. Archit.-Vereins», W., 1929, B. 81, p. 403; Kuntze W., «Mitt. d. deutschen Materialprüfungsanstalten», B., 1930, Sonderheft 14; Föppl O., «Z. d. VDI», 1932, B. 76, p. 1129; Thun A., ibid., 1931, B. 75, p. 324; «Ztschr. f. angew. Mathem. u. Mechanik», B., 1928—1933.

С. Лебедев.

УПРУГОСТЬ, свойство тел, подвергнутых *деформации* (см.), после прекращения действия напряжений, вызвавших эту деформацию, возвращаться в первоначальное (недеформированное) состояние, т. е. восстанавливать свою форму и объем. Иначе У. есть способность тела испытывать обратимые деформации. В этом смысле У. противопоставляется *пластичности* (см.)—свойству твердых тел, нек-рых высоковязких жидкостей и дисперсных систем испытывать остаточные деформации, сохраняющиеся в теле и после прекращения действия напряжений. Обычные жидкости и газы являются практически вполне упругими телами, обладая однако У. лишь по отношению к деформации всестороннего сжатия. Твердые тела, вообще говоря, всегда упруги по отношению к достаточно малым деформациям, до предела упругости (фигура). Когда предел У. превзойден, тело деформируется пластично (течет). Тело называется хрупким, если предел прочности его (соответствующий разрушению тела при данной критич. деформации) лежит до предела У. и при том обычно в области малых деформаций (кварц, стекло). Хрупкие тела могут испытывать т. о. только упругие деформации вплоть до своего разрушения. В противоположность этому пластичными телами называются такие, в которых предел прочности лежит значительно дальше предела упругости, причем последний наступает обычно уже при весьма малых деформациях (свинец, воск). Такие тела обладают лишь очень малой областью упругих деформаций, уже при небольших деформациях начиная течь, давая картину пластического потока.

Характерным признаком упругих (обратимых) деформаций является применимость закона Гука независимо от рода деформаций. Напряжение p_x пропорционально вызванной им деформации:

$$p_x = K\frac{\Delta x}{x} = K\xi. \qquad (1)$$

Здесь ξ—относительная деформация. Диаграммой У. называется график, связывающий для данного тела напряжение с вызываемой им деформацией (см. фигуру). Согласно закону Гука упругая часть диаграммы является отрезком прямой линии, исходящим из начала координат и наклоненным к оси деформаций под углом ψ, тангенс к-рого графически определяет *модуль упругости* (см.) по отношению к данной деформации:

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{dp_x}{d\xi} = K.$$

Величины, обратные модулям, называются коэфициентами У.:

$$\frac{1}{K} = k = \operatorname{ctg}\psi;\ \xi = k\cdot p_x. \qquad (2)$$

3 основных модуля (всестороннего сжатия K, линейного растяжения E и сдвига N) для каждого изотропного тела связаны друг с другом основным соотношением теории У.:

$$(3K + N)E = 9KN. \qquad (3)$$

Важную роль при расчетах играет также вспомогательная величина—коэфициент Пуассона

$$\eta = \frac{l}{\varepsilon}, \qquad (4)$$

при помощи к-рого основные модули связаны следующим соотношением:

$$E = 3K(1-2\eta) = 2N(1+\eta); \qquad (5)$$

η представляет собой отношение поперечного сжатия l к продольному удлинению ε при одностороннем растяжении. При этом $0 \leqslant \eta \leqslant 0{,}5$. Т. к. по ур-ию (5)

$$\eta = \frac{1}{2}\frac{3K-2N}{3K+N}, \qquad (6)$$

то при $N=0$ для жидкостей η приобретает крайнее значение $\eta = 0{,}5$; η существенно положительно и потому $\frac{3}{2}K > N$.

Изучение упругих свойств тел или вообще их механич. свойств (и за пределом У.) составляет одну из основных задач молекулярной физики. Математич. часть этого отдела физики развилась в особую науку—теорию У., являющуюся вместе с гидродинамикой частью механики деформируемых систем и служащую основанием всех областей механич. технологии, строительной механики и учения о сопротивлении материалов. Теория У. является также основой акустики, т. к. звуковые волны представляют собой упругие колебания, распространяющиеся в данном теле, т. е. упругие деформации, периодически изменяющиеся во времени. Теория У. анизотропных тел—кристаллов—представляет большое значение для кристаллофизики.

После приложения к деформируемому телу заданного постоянного напряжения деформация принимает равновесное значение во времени не сразу, а лишь асимптотически, практически через довольно продолжительное время (несколько месяцев). Это явление называется упругим последействием. Если же задать определенную деформацию, то напряжение, необходимое для ее поддержания, падает со временем, асимптотически приближаясь к нек-рому наименьшему значению—явление *релаксации* (см.). Максвелл указал на то, что причиной явлений после-

действия (релаксации) надо считать неоднородность материала. Особенно сильны эти явления в дисперсно-гетерогенных телах—гелях, поликристаллич. агрегатах, каковы все металлы, и т. д. В физически совершенно однородных телах, напр. однородных кристаллах (кварце, металлич. монокристаллах) последействие практически отсутствует (Иоффе). Работа, потребная для обратимой изотермич. упругой деформации тела, запасается в нем в форме свободной энергии:

$$-A = \Delta F = \int_0^{\xi} p_x \, d\xi;$$

ΔF выражается площадью упругой диаграммы (см. фигуру) от 0 до ординаты, соответствующей заданному напряжению p_x (или данной деформации ξ). По закону Гука:

$$-A = \Delta F = \frac{K}{2} \xi^2 = \frac{K}{2} p_x^2,$$

при этом вообще упругая энергия является однородной квадратичной ф-ией от деформаций или напряжений. Наличие упругого последействия вызывает появление петли гистерезиса даже в упругой области диаграммы (см. фигуру), хотя эта петля и не имеет практич. значения из-за сравнительной малости последействия. При переходе же деформации за предел У. в пластич. область гистерезис приобретает огромное значение. Упругие и пластич. деформации тела могут рассматриваться как обратимые и необратимые процессы методами общей *термодинамики* (см.). При этом можно напр. найти связь между изотермич. K_i и адиабатич. K_a модулями (или коэф-тами) У.

Лит.: Хвольсон О., Курс физики, т. 1, Берлин, 1923; Иоффе А., Молекулярная физика, П., 1923; его же, Физика кристаллов, М.—Л., 1929; Кузнецов В., Физика твердого тела, Томск, 1932; Брандт А., Основания термодинамики, ч. 1, М., 1923; Сборн. Ин-та инж. путей сообщ., П., 1915, вып. 90; Тимошенко С. и Лессельс Дж., Прикладная теория упругости, пер. с англ., 3 изд., Л., 1931; Шиллер Н., «Ж», часть физич., СПБ, 1879, т. 55; Handb. d. Phys. u. techn. Mechanik, hrsg. v. F. Auerbach u. W. Hort, B. 1—4, Lpz., 1926—32; Mathematical a. Physical Papers of Lord Kelvin, v. 1, Cambridge, 1884; Voigt W., Lehrbuch d. Kristallphysik, Lpz., 1928. **П. Ребиндер.**

УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ, характеристическое уравнение, ур-ие, связывающее три основных термодинамич. параметра: объем V, давление p и темп-ру T (см. *Термодинамика*).

УРАВНИТЕЛЬНЫЕ ПРОВОДА, провода, непосредственно соединяющие между собой питательные пункты (см. *Сети электрические*), имеющие назначением выравнивать разности напряжений между различными точками электрич. сети. У. п. приходится прокладывать в целях улучшения циркуляции энергии в сети, если расчет сети показывает, что сеть недостаточно эластична. Под уравнительной способностью, или эластичностью, сети понимают способность сети при колебаниях нагрузки давать малые изменения напряжения в отдельных точках сети. Чем меньше изменения напряжения у отдельных приемников при колебаниях нагрузки, тем эластичнее сеть. Следовательно уравнительная способность сети тем больше, чем меньше допущенные при расчете максимальные падения напряжения, соответствующие полной нормальной нагрузке, и чем больше обеспечена возможность циркуляции тока в сети, иначе говоря, чем большее число питательных пунктов может подавать энергию к каждому потребителю. В основу расчета сети кладут определенные нормальные значения нагрузок. При расчете сети распределительных проводов напряжения питательных пунктов принимают постоянными. Однако в действительности нагрузки в различных точках сети подвержены значительным колебаниям. В связи с этим и напряжения питательных пунктов изменяются: если некоторые части сети нагружены полностью, а остальные окажутся разгруженными, то разности напряжения между отдельными питательными пунктами могут значительно повыситься. Правильно рассчитанная сеть должна обладать способностью уравнивать эти разности напряжения в такой мере, чтобы они оставались в известных пределах постоянными и не превосходили определенного максимального значения. Поэтому, рассчитав провода сети на падение напряжения, необходимо произвести контрольный расчет сети, чтобы убедиться в том, что она в достаточной мере «эластична». Относительно расчета на эластичность для простейшего случая сети с двумя питательными пунктами—см. *Сети электрические*. При наличии нескольких питательных пунктов принимают определенный случай нагрузки, напр.: только один питательный пункт нагружен, все остальные разгружены. Затем, рассматривая все питательные пункты как узлы, а концы питательных проводов на центральной станции как питательные пункты, составляют уравнения узловых точек. Решив эти последние, получают падение напряжения в питательных пунктах и следовательно разницу их напряжений. Подобный расчет повторяют для всех питательных пунктов, принимая поочередно каждый из пунктов за единственный нагруженный. Для других случаев нагрузки можно найти разности напряжений путем пропорционального вычисления и суперпозиции отдельных результатов. При этом можно ограничиться рассмотрением тех лишь из соединительных проводов, к-рые могут принять существенное участие в выравнивании напряжений. Сеть упрощают, заменяя несколько проводов одним, обладающим эквивалентной проводимостью. Иногда можно обойтись без прокладки специальных У. п., возложив их функции на соответствующие распределительные провода, сечение к-рых в этом случае надлежит должным образом увеличить.

Вопрос об У. п. представляет для современных условий электрохозяйства СССР особый практич. интерес. Вследствие перенаселенности многих из наших городов и бурного роста потребления электрич. энергии в СССР многие даже из сравнительно недавно спроектированных сетей работают в условиях сильной перегруженности. Во многих случаях в целях экономии металла на провода при проектировании сети были допущены очень высокие расчетные значения падений напряжения. Поэтому при эксплоатации сетей необходимо чаще контролировать их эластичность. Своевременное добавление У. п. или усиление сечения соответствующих распределительных проводов может значительно улучшить качество электроснабжения потребителей даже от сравнительно сильно перегруженной сети.

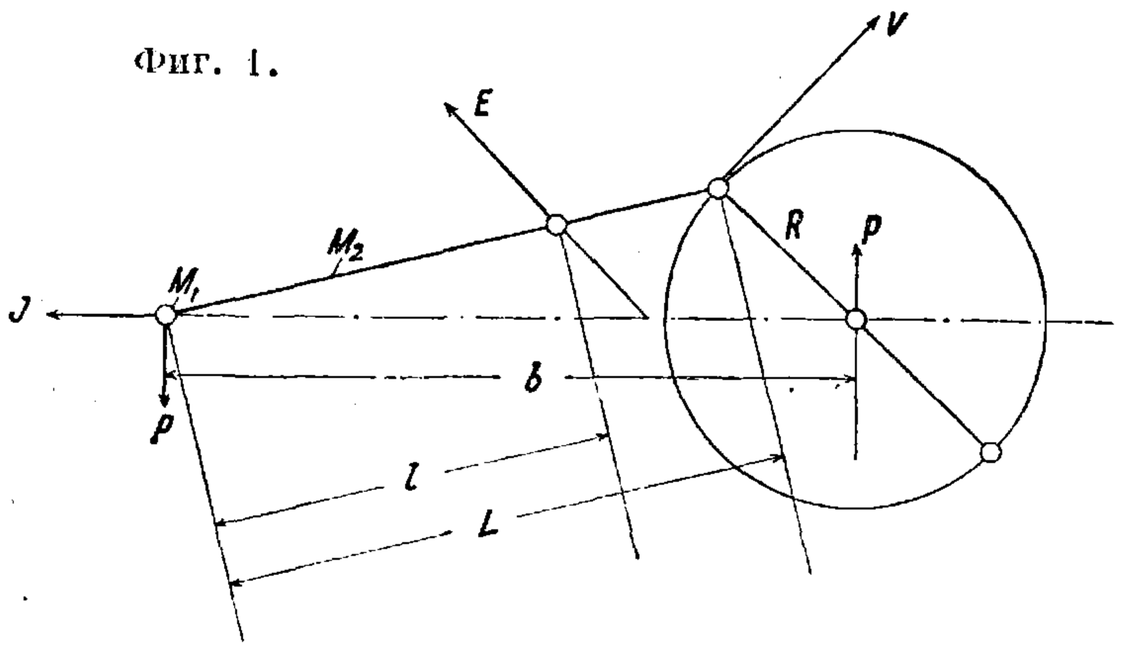
Лит.: СЭТ, Справочная книга для электротехников, т. 3, Л., 1928; Фаульль Ф., Справочник по электротехнике, т. 3, Л., 1929; Хащинский В., Канализация электрической энергии, Сети, ч. 1, Электрич. расчет, 3 изд., Л., 1931; Herzog-Feldmann, Die Berechnung elektr. Leitungsnetze in Theorie u. Praxis, 4 Aufl., B., 1927; Revessi G., La trasmissione e la distribuzione dell'energia elettrica, Brescia, 1926; Rziha E. u. Seidner J., Starkstromtechnik, Taschenbuch für

Elektrotechniker, B. 2, 7 Aufl., B., 1931; Strecker K., Hilfsbuch für die Elektrotechnik, Starkstromausgabe, 10 Aufl., B., 1925. **В. Хащинский.**

УРАВНОВЕШИВАНИЕ МАШИН имеет целью устранение вредного влияния на работу последних центробежных и других сил инерции, развивающихся в машине.

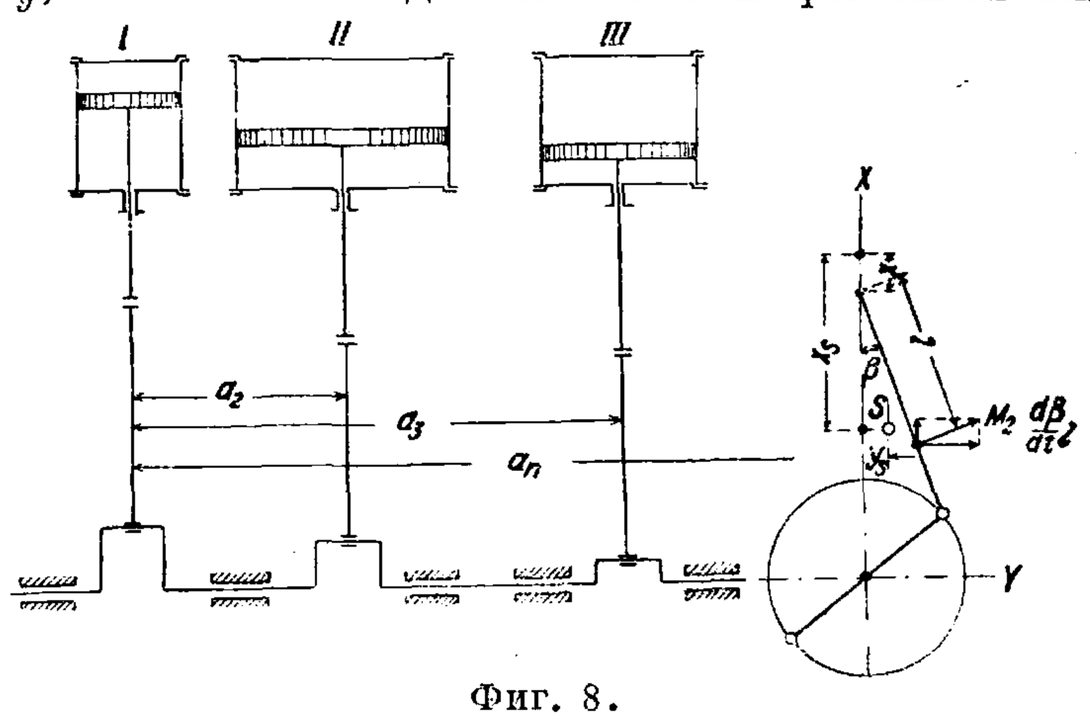
I. Уравновешивание поршневых двигателей. Предполагая коленчатый вал двигателя уравновешенным, мы можем свести действие всех сил инерции движущихся масс двигателя к двум переменным силам J и E (см. *Динамика поршневых двигателей*), показанным на фиг. 1. Для того чтобы устранить влияние этих сил на двигатель, необходимо ввести в последний другие силы, равные по величине и направленные в сторону, противоположную направлению сил J и E. Наиболее простым способом получения таких сил является введение в систему двигателя центробежных сил вращающихся масс. Таблица, помещенная на стб. 583—84, показывает расположение и направление вращения таких масс, с помощью которых возможно уравновесить силы инерции первого и второго порядков, развивающихся в двигателях с различным числом цилиндров. Предполагается, что как ход и вес поршней, так и длины и веса шатунов одинаковы для всех цилиндров каждого из рассматриваемых двигателей. В первом и втором рядах таблицы указывается тип двигателя и даются ф-лы для ΣJ и ΣE. В третьем и четвертом рядах показаны схемы расположения уравновешивающих масс

Фиг. 1.



и даются ф-лы для расчета этих масс в предположении, что радиус их вращения равен радиусу кривошипа двигателя.

В многоцилиндровых паровых двигателях с многократным расширением пара как размеры, так и массы шатунов, поршней и пр. для каждого из цилиндров таких двигателей отличаются от размеров и масс ходовых частей всех других цилиндров. Инж. Шлик предложил разработанную им теорию самоуравновешивания таких двигателей. Согласно этой теории многоцилиндровый двигатель не требует каких-либо специальных мер для уравновешивания движущихся масс, если этот двигатель при данных весах и ходах поршней будет иметь цилиндры, расположенные на соответствующих расстояниях друг от друга, и кривошипы, расположенные под соответствующими углами друг к другу. При этом такой двигатель будет самоуравновешивающимся. Такое самоуравновешивание требует прежде всего выполнения следующего условия: количество движения всех частей кривошипных механизмов данного двигателя и момент этого количества движения должны всегда равняться нулю. Обозначив через A'_x, A''_x, ... количества движения кривошипного механизма первого, второго и т. д. цилиндров по направлению оси X и через A_y, A''_y, ... количество движения этих кривошипных



Фиг. 8.

механизмов по направлению оси Y (фиг. 8), мы для выполнения этого условия имеем:

$$\Sigma A_x = 0; \quad \Sigma A_y = 0.$$

Как не трудно видеть, A_x состоит из количеств движения всех поршней вместе с крейцкопфами и штоками, а также из количеств поступательного движения шатунов; A_y состоит из количеств движения всех шатунов при их качании около средней линии. Т. о.

$$A'_x = (M'_1 + M'_2)\frac{dx}{dt} - M'_2 l' \frac{d\beta}{dt}\sin\beta =$$

$$= (M'_1 + M_2)c' - M'_2 l' \frac{d\beta}{dt}\sin\beta;$$

$$A''_x = (M''_1 + M''_2)c'' - M''_2 l'' \frac{d\beta}{dt}\sin\beta;$$

$$A'''_x = (M'''_1 + M'''_2)c''' - M'''_2 l''' \frac{d\beta}{dt}\sin\beta;$$

. . . . . .

Здесь

$$c' = \frac{dx}{dt} = v\left(\sin\alpha + \frac{R}{2L}\sin 2\alpha\right);$$

$$\frac{d\beta}{dt} = \frac{R}{L}\frac{\cos\alpha}{\cos\beta}\cdot\frac{d\alpha}{dt} = \frac{v}{L}\frac{\cos\alpha}{\cos\beta}; \quad \sin\beta = \frac{R}{L}\sin\alpha;$$

$$c'' = v\left[\sin(\alpha+\gamma) + \frac{R}{2L}\cdot\sin 2(\alpha+\gamma)\right];$$

$$c''' = v\left[\sin(\alpha+\gamma') + \frac{R}{2L}\sin 2(\alpha+\gamma')\right];$$

$$A'_y = M'_2 l'\cdot\cos\beta\frac{d\beta}{dt} = M'_2\frac{l'}{L}v\cos\alpha;$$

$$A''_y = M''_2\frac{l''}{L}v\cos(\alpha+\gamma);$$

$$A'''_y = M'''_2\frac{l'''}{L}v\cos(\alpha+\gamma');$$

. . . . . .

здесь γ—угол между первым и вторым кривошипами, γ'—угол между первым и третьим кривошипами и т. д. Суммы количества движения A_x и A_y можно представить т. о. в следующем виде (приняв R, L и l для всех кривошипных механизмов двигателя одинаковыми, а кривошипы уравновешенными):

$$A_x = v\sin\alpha\,\Sigma(M_1+M_2)\cos\gamma +$$
$$+ v\cos\alpha\,\Sigma(M_1+M_2)\sin\gamma +$$
$$+ \frac{R}{2L}v\sin 2\alpha\,\Sigma(M_1+M_2)\cos 2\gamma +$$
$$+ \frac{R}{2L}v\cos 2\alpha\,\Sigma(M_1+M_2)\sin 2\gamma -$$
$$- \frac{R}{2L}\frac{l}{L}v\sin 2\alpha\,\Sigma M_2\cos 2\gamma -$$
$$- \frac{R}{2L}\frac{l}{L}v\cos 2\alpha\,\Sigma M_2\sin 2\gamma;$$

$$A_y = v\frac{l}{L}\cos\alpha\,\Sigma M_2\cos\gamma - v\frac{l}{L}\sin\alpha\,\Sigma M_2\sin\gamma.$$

Условием того, что данный двигатель самоуравновешивающийся, является $A_x = 0$ и $A_y = 0$.

Схемы расположения и формулы для расчета уравновешивающих масс двигателей различного типа.

Одноцилиндровый двигатель *	Четырехцилиндровый двигатель	Двухцилиндровый двигатель	Восьмицилиндровый двигатель	Трехцилиндровый звездообразный двигатель	Многоцилиндровые звездообразные двигатели с числом n цилиндров
$J = J' + J'' = M \cdot \frac{v^2}{R}\left(\cos\alpha \pm \frac{R}{L}\cos 2\alpha\right)$, $E = M_2 \frac{l}{L} \cdot \frac{v^2}{R}$	$\sum J = 4M \cdot \frac{v^2}{R} \cdot \frac{R}{L}\cos 2\alpha$, $\sum E = 0$	Равнодействующая сил инерции первого порядка: $\sum J' = M \cdot \frac{v^2}{R}$; направление этой силы вдоль кривошипа. Равнодействующая сил инерции второго порядка $\sum J'' = \sqrt{2} \cdot M \cdot \frac{v^2}{R} \cdot \frac{R}{L} \cdot \cos 2\alpha$, $\sum E = 2 M_2 \cdot \frac{l}{L} \cdot \frac{v^2}{R}$	$\sum J = S = 4\sqrt{2} \cdot M \cdot \frac{v^2}{R} \cdot \frac{R}{L} \cdot \cos 2\alpha$, $\sum E = 0$	$\sum J' = \frac{3}{2} \cdot M \cdot \frac{v^2}{R}$; направление $\sum J'$ вдоль кривошипа. $\sum J'' = \frac{3}{2} M \cdot \frac{R}{L} \cdot \frac{v^2}{R} \cdot \cos 2\alpha$, $\sum E = 3 M_2 \cdot \frac{l}{L} \cdot \frac{v^2}{R}$	$\sum J' = \frac{n}{2} \cdot M \cdot \frac{v^2}{R}$; направление $\sum J'$ вдоль кривошипа. $\sum J'' = 0$, $\sum E = n \cdot M_2 \cdot \frac{l}{L} \cdot \frac{v^2}{R}$
$m_1 = \frac{1}{4} M$, $m_2 = M_2 \frac{l}{L}$, $m_3 = \frac{1}{8} M \cdot \frac{R}{L}$	$m_3 = \frac{1}{2} M \cdot \frac{R}{L}$	$m_1 = M$, $m_2 = 2 M_2 \cdot \frac{l}{L}$, $m_3 = \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot M \cdot \frac{R}{L}$	$m_3 = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot M \cdot \frac{R}{L}$	$m_1 = \frac{3}{2} M$, $m_2 = 3 M_2 \cdot \frac{l}{L}$, $m_3 = \frac{3}{8} \frac{R}{L} \cdot M$	$m_1 = \frac{n}{2} \cdot M$, $m_2 = n \cdot M_2 \cdot \frac{l}{L}$
Фиг. 2.	Фиг. 3.	Фиг. 4.	Фиг. 5.	Фиг. 6.	Фиг. 7.

* $M = M_1 + M_2 \cdot \frac{L-l}{L}$.

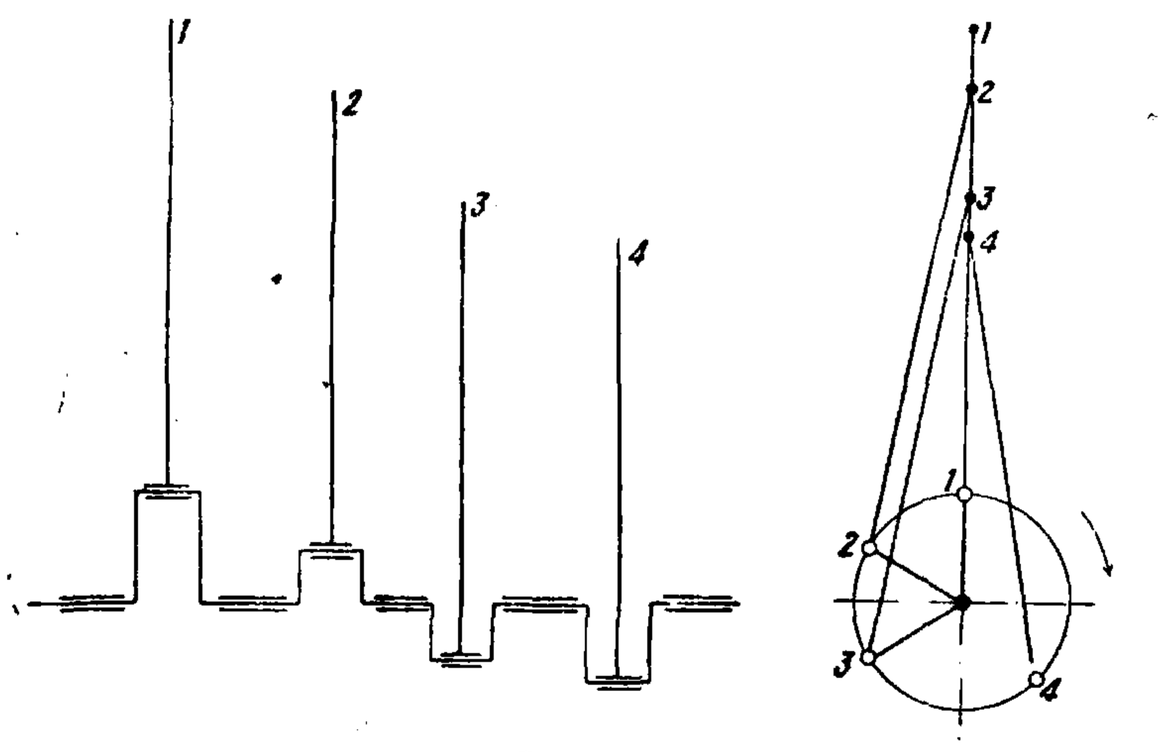
Это условие может быть выполнено только в том случае, если

$$\Sigma(M_1+M_2)\cos\gamma=0;\ \Sigma(M_1+M_2)\sin\gamma=0;$$
$$\Sigma(M_1+M_2)\cos 2\gamma=0;\ \Sigma(M_1+M_2)\sin 2\gamma=0;$$
$$\Sigma M_2\cos\gamma=0;\ \Sigma M_2\sin\gamma=0;$$
$$\Sigma M_2\cos 2\gamma=0;\ \Sigma M_2\sin 2\gamma=0. \quad (1)$$

Для того чтобы моменты количеств движений A_x и A_y были также равны нулю, необходимо выполнение следующих условий:

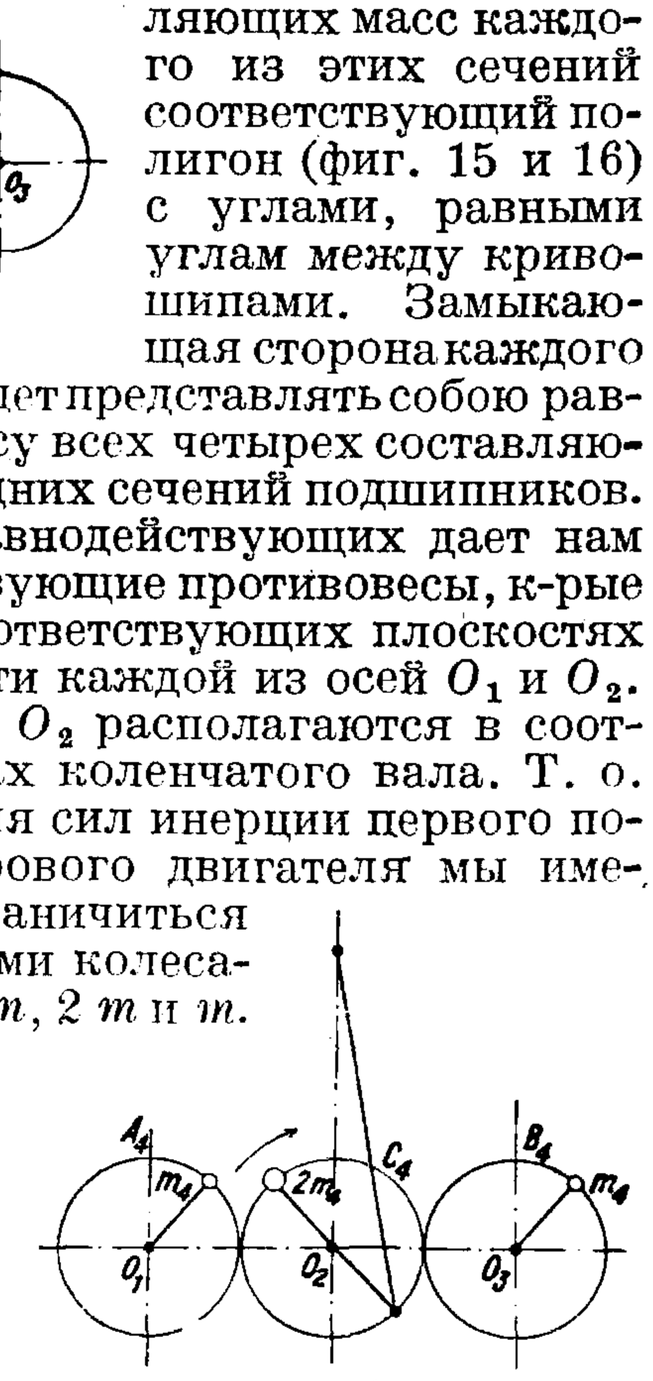
$$\Sigma a(M_1+M_2)\cos\gamma=0;\ \Sigma a(M_1+M_2)\sin\gamma=0;$$
$$\Sigma a(M_1+M_2)\cos 2\gamma=0;\ \Sigma a(M_1+M_2)\sin 2\gamma=0;$$
$$\Sigma a M_2\cos\gamma=0;\ \Sigma a M_2\sin\gamma=0;$$
$$\Sigma a M_2\cos 2\gamma=0;\ \Sigma a M_2\sin 2\gamma=0; \quad (2)$$

Здесь a, соответственно равное a', a'', a''', ... есть расстояния средней линии первого, второго и т. д. цилиндров от некоторой точки,



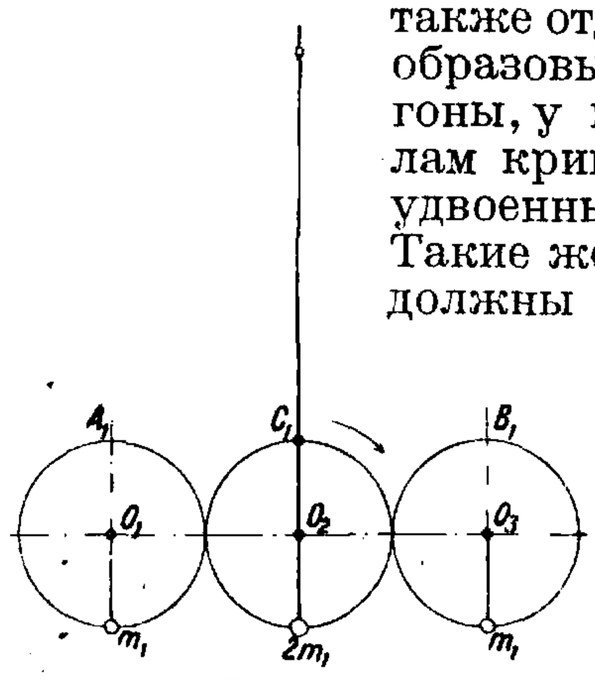
Фиг. 9.

по отношению к которой берутся эти моменты количеств движения. Все шестнадцать вышеприведенных условий можно формулировать сл. образом: для самоуравновешивания кривошипных механизмов многоцилиндровых двигателей необходимо, чтобы массы этих механизмов (поршней, крейцкопфов, шатунов), а также отдельно массы шатунов образовывали замкнутые полигоны, у к-рых углы равны углам кривошипа двигателя или удвоенным углам между ними. Такие же замкнутые полигоны должны образовывать и произведения этих масс на расстояние их от некоторой произвольно взятой точки. Выполнение этих условий возможно для двигателей с количеством цилиндров не менее пяти. При этом взаимно уравновешиваются все силы инерции первого и второго порядка. На практике допускается дальнейшее упрощение, заключающееся в игнорировании условий, касающихся масс шатунов и содержащихся в последних четырех ур-иях каждого из условий (1) и (2). Остальные условия м. б. выполнены в четырехцилиндровом двигателе. Дальнейшее уменьшение числа цилиндров позволяет лишь частичное выполнение остающихся восьми условий. Вследствие своей сложности описанный способ уравновешивания сил инерции многоцилиндровых двигателей дает достаточную степень точности лишь при количестве цилиндров не менее пяти. При меньшем количестве цилиндров этот способ лишь грубо приблизителен. Вполне достаточной для всех практич. целей степени точности возможно достигнуть помощью принятого нами следующего способа уравновешивания сил инерции. Мы можем применять этот способ для двигателей с любым количеством цилиндров, находящихся в любом положении по отношению друг к другу и имеющих различные массы M_1 и M_2, а также различные ходы поршней и длины шатунов. Допустим, мы имеем четырехцилиндровый двигатель (фиг. 9). Будем уравновешивать каждый из кривошипных механизмов двигателя соответствующими противовесами. Мы получим для уравновешивания сил инерции первого порядка следующую серию зубчатых колес с противовесами, изображенную на фиг. 10, 11, 12 и 13. Зубчатые колеса с этими противовесами можно расположить на трех осях: O_1, O_2 и O_3 (фиг. 14). Равнодействующую массу всех четырех противовесов на осях O_1 и O_3 легко определить, разложив каждую из этих масс на две массы, расположенные в среднем сечении F_1 и F_2 (фиг. 17) каждого из подшипников, в которых покоятся эти оси, и построив для составляющих масс каждого из этих сечений соответствующий полигон (фиг. 15 и 16) с углами, равными углам между кривошипами. Замыкающая сторона каждого такого полигона и будет представлять собою равнодействующую массу всех четырех составляющих в каждом из средних сечений подшипников. Сумма этих двух равнодействующих дает нам искомые равнодействующие противовесы, к-рые д. б. помещены в соответствующих плоскостях D и E в средней части каждой из осей O_1 и O_2. Противовесы на оси O_2 располагаются в соответствующих коленах коленчатого вала. Т. о. для уравновешивания сил инерции первого порядка многоцилиндрового двигателя мы имеем возможность ограничиться лишь тремя зубчатыми колесами с противовесами m, $2m$ и m.

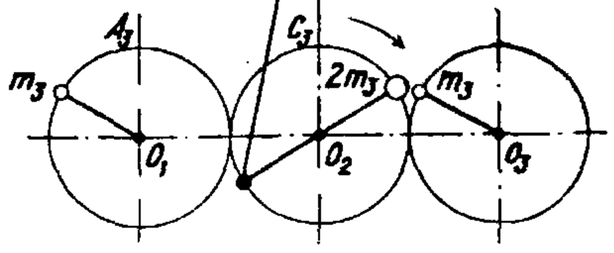


Фиг. 13.

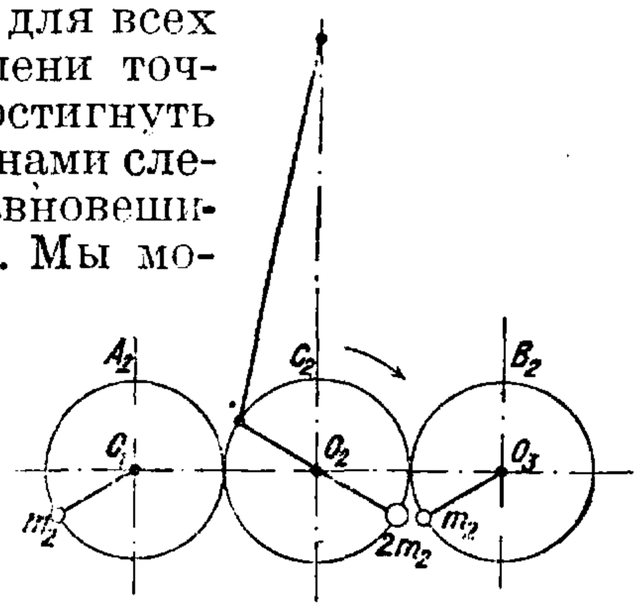
Так же мы должны поступить и при уравновешивании центробежных сил E (фиг. 18). В виду малых отличий в длинах кривошипов и шатунов, встречающихся на практике в кривошипных механизмах многоцилиндровых двигателей (в большинстве случаев длины всех кривошипов и длины всех шатунов равны друг другу), можно принять, что все силы E действуют на одну ось. При помощи полигона этих сил можно найти их равнодействующую E и уравновесить ее соответствующим



Фиг. 10.

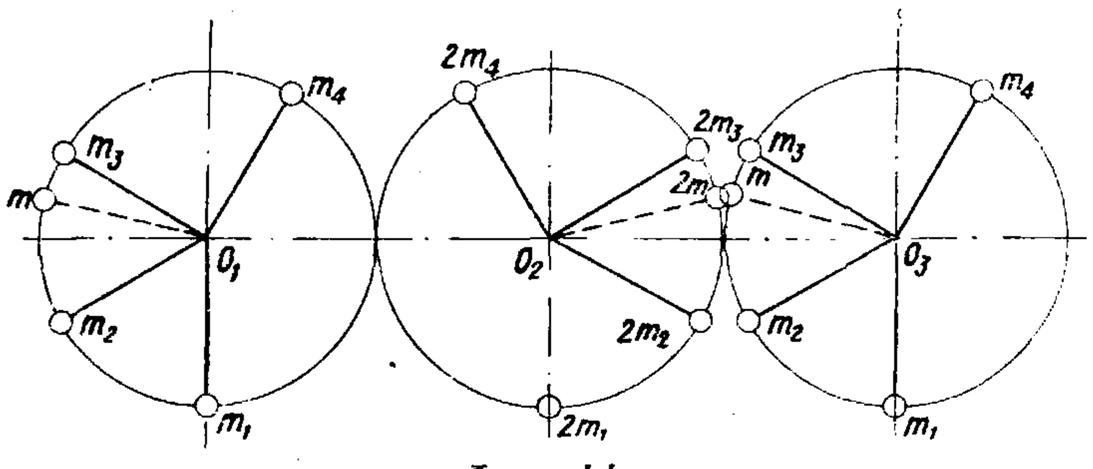


Фиг. 12.



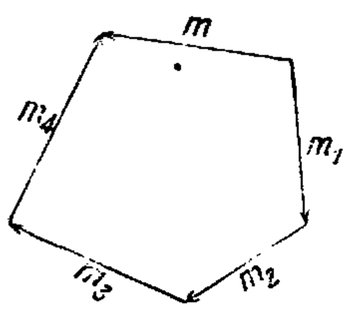
Фиг. 11.

противовесом. Расположение этого противовеса можно выбрать также в одной из плоскостей в средней части двигателя, наиболее удобной из конструктивных соображений. Что касается

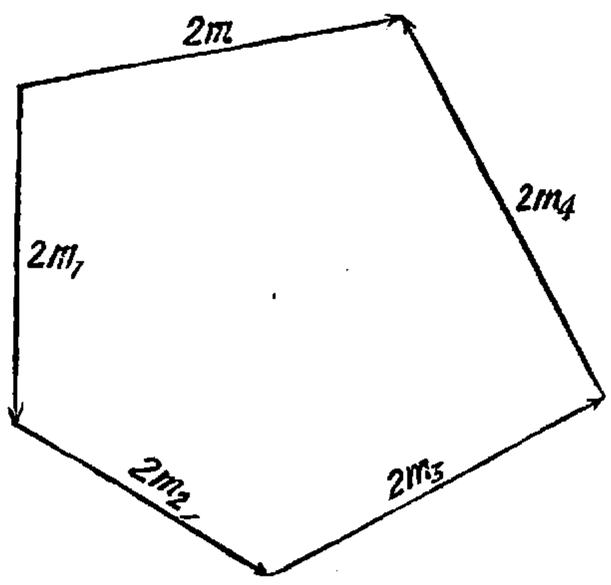


Фиг. 14.

уравновешивания сил инерции J второго порядка, то и здесь мы можем расположить на осях I и II (фиг. 19) противовесы $1, 2, 3$ и 4, вращающиеся с количеством оборотов, превышающим вдвое количество оборотов главного вала



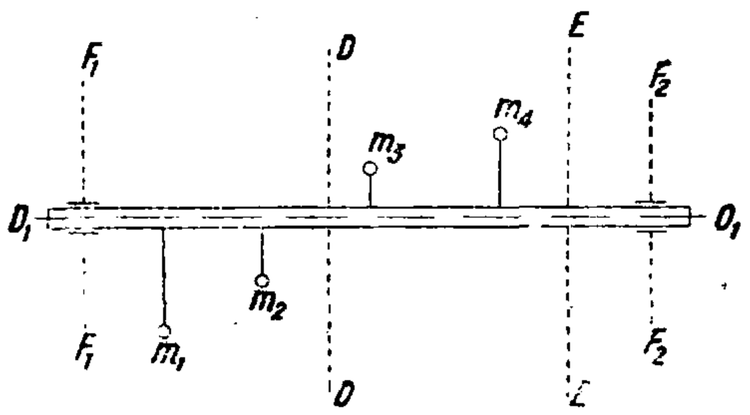
Фиг. 15.



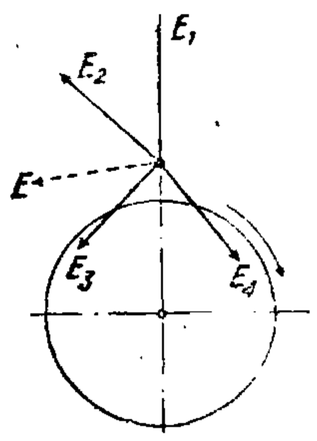
Фиг. 16.

и уравновешивающие силы инерции J второго порядка. Слагая при помощи полигона сил эти массы для каждой из осей I и II, мы получим две равнодействующие массы m, способные уравновесить силы инерции J второго порядка всех кривошипных механизмов данного двигателя. Расположение этих противовесов м. б. выбрано также наиболее удобным из конструктивных соображений.

II. Выравнивание вращательных моментов. К уравновешиванию поршневых двигателей необходимо отнести и выравнивание их вращательных моментов. Периодически изменяющиеся тангенциальные силы, действующие на валу двигателя, могут явиться источником самых разнообразных вибрационных явлений, из которых прежде всего отметим крутильные колебания вала или связанных с ним частей двигателя, колебания изгиба таких частей двигателя, как напр. пропеллер, а также все те колебания двигателя, которые

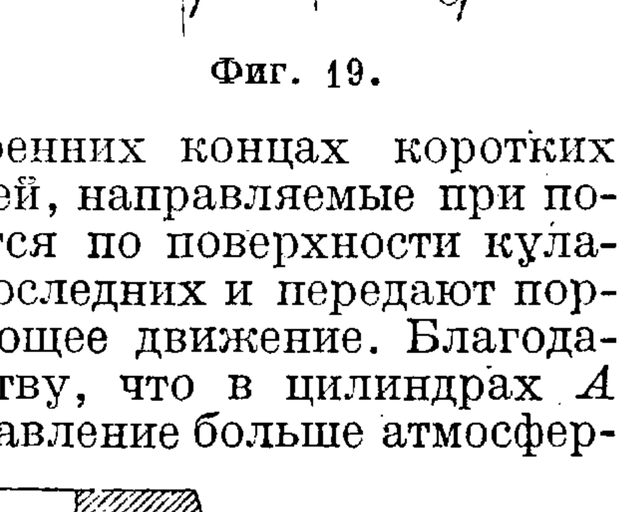


Фиг. 17.



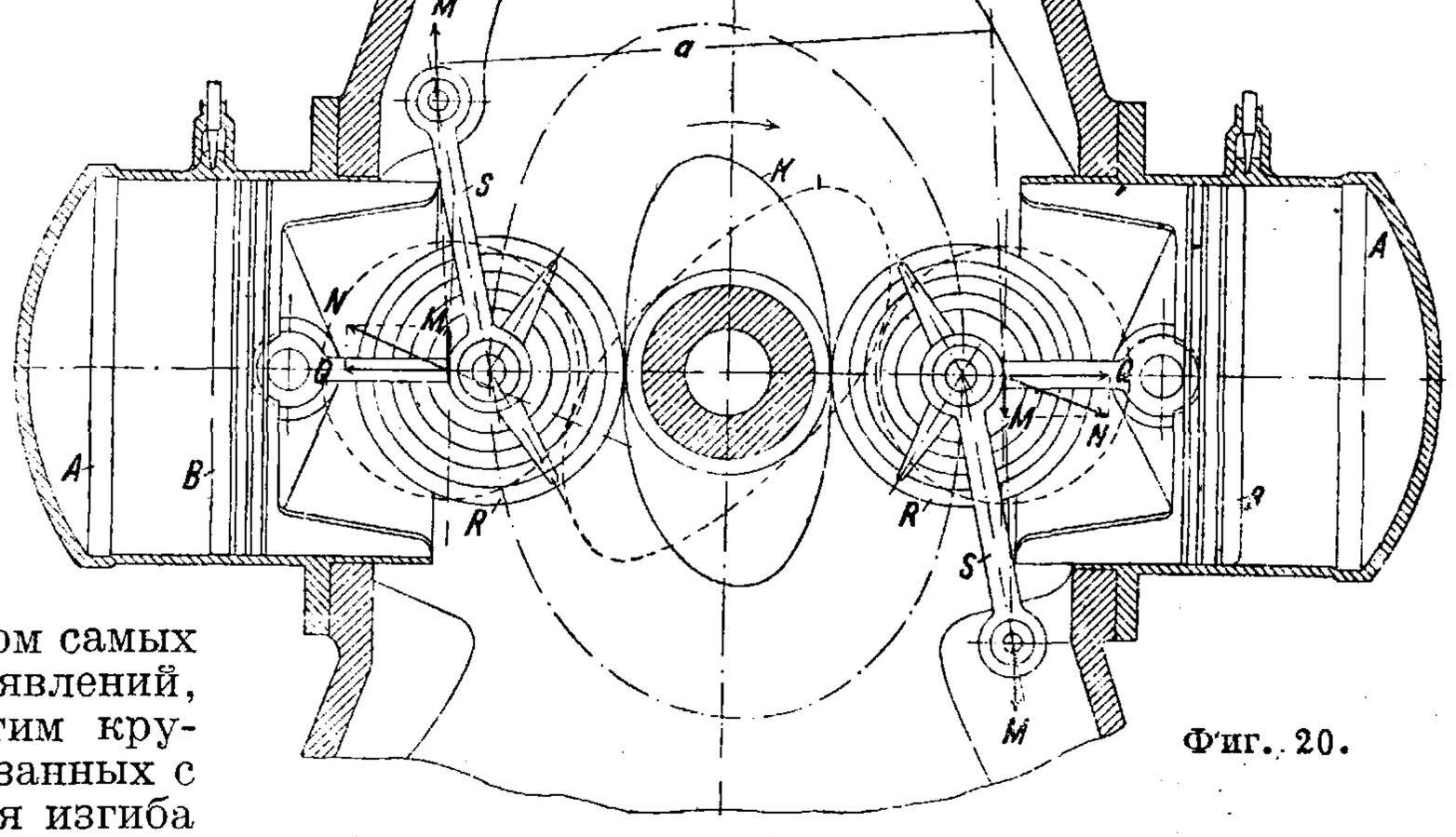
Фиг. 18.

могут возникать под влиянием пар сил Pb (фиг. 1). Как было установлено экспериментальным путем, эти вибрации могут явиться причиною значительных потерь в мощности двигателя, доходящих до 10 и более %. Для устранения этих вибраций существует способ выравнивания вращательных моментов и их реакций в поршневых двигателях. Сущность этого способа состоит в следующем. В центральной части коленчатого вала двигателя между двумя средними коренными подшипниками устанавливается кулачковый диск K (фиг. 20) с количеством кулаков, равным количеству цилиндров для двухтактных двигателей и половине этого количества для четырехтактных двигателей. Назначение этих кулаков—приводить в движение поршни B буферных цилиндров A, в которых при этом попеременно сжимается и расширяется заключенный в них воздух.



Фиг. 19.

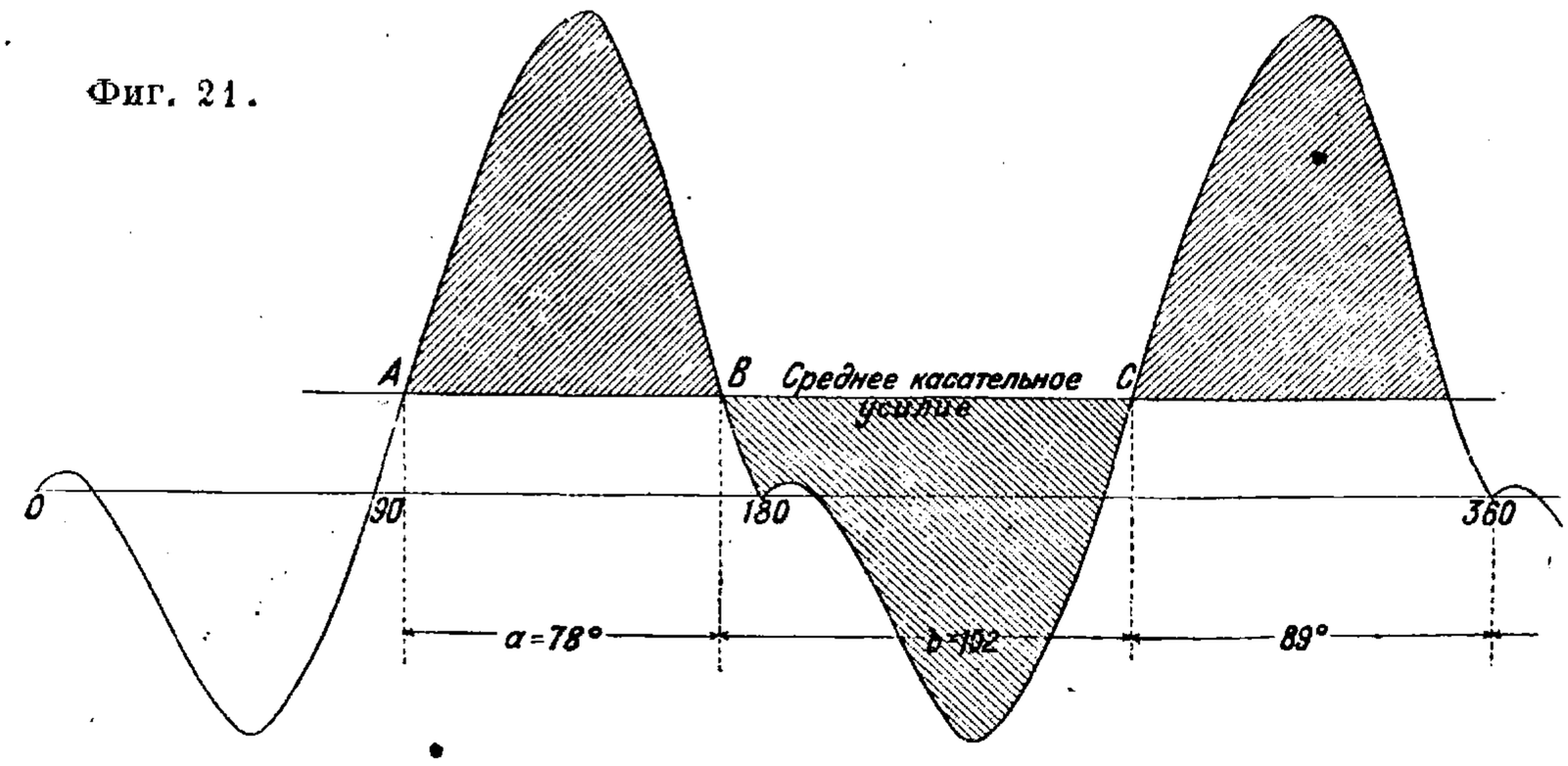
Ролики R на внутренних концах коротких шатунов этих поршней, направляемые при помощи серег S, катятся по поверхности кулаков при вращении последних и передают поршням B соответствующее движение. Благодаря тому обстоятельству, что в цилиндрах A господствует всегда давление больше атмосферного, а также благодаря силам инерции поршней B ролики R всегда прижаты к поверхности кулаков, и движение поршней происходит точно в соответствии с очертанием этих кулаков. Это очертание делается т. о., чтобы работа сжатия и расширения заключенного в цилиндрах A воздуха совершалась соответственно очертанию диаграммы тангенциальных сил двигателя (фиг. 21) и притом так, чтобы избыточная работа P данной диаграммы поглощалась сжатием воздуха в буферных цилиндрах и недостаточная работа Q возмещалась обратно коленчатому валу работою расширения воздуха в этих цилиндрах. Начало сжатия воздуха в последних должно совпадать с положением первого кривошипа двигателя в точке A диаграммы; конец сжатия—в точке B этой диаграммы. На-



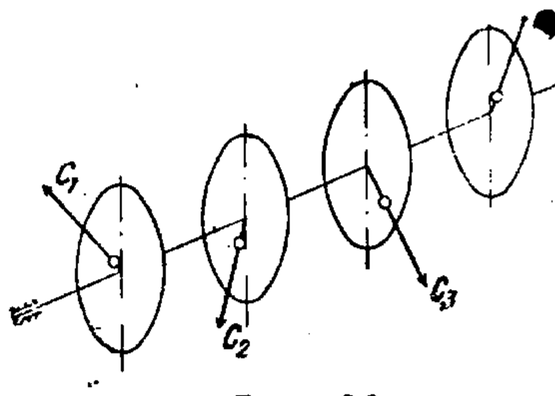
Фиг. 20.

чало и конец расширения воздуха в буферных цилиндрах должны соответствовать точкам B и C диаграммы. Очертание кулаков K необходимо сделать таким, чтобы аккумулирование избыточной энергии и возвращение этой энергии коленчатому валу происходило так, чтобы

Фиг. 21.

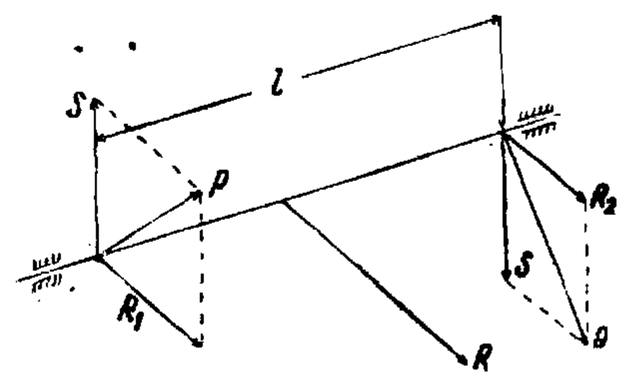


равнодействующий вращательный момент двигателя превратился в постоянную величину соответственно постоянному среднему касательному усилию S. Т. о. мы получаем двигатель с равномерным вращательным моментом. В таком двигателе все те вибрационные явления, о к-рых мы упомянули, должны отсутствовать. Предложенное устройство выравнивает одновременно и момент пары сил Pb (фиг. 1), появляющейся в двигателе в качестве реакции по отношению к вращательным моментам. В самом деле, как не трудно видеть, давления кулаков K (фиг. 20) на ролики R создают пары сил Ma, равные соответственно избыточным или недостаточным вращательным моментам двигателя и направленные в сторону действия этих последних. Благодаря этому пары сил Ma, слагаясь с парами сил Pb, выравнивают последние, уничтожая т. о. все вибрационные явления, связанные с возникновением периодически изменяющихся пар сил Pb.

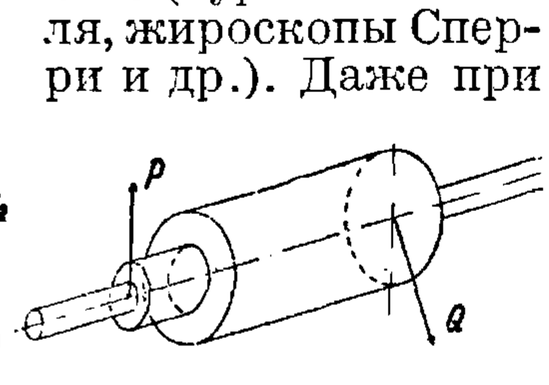


Фиг. 22.

III. Уравновешивание вращающихся масс. Уравновешивание вращающихся масс приобрело особо важное значение в современных быстроходных машинах, в к-рых количество оборотов вращающихся частей достигает 30 000 и больше в мин. (турбины Лаваля, жироскопы Сперри и др.). Даже при

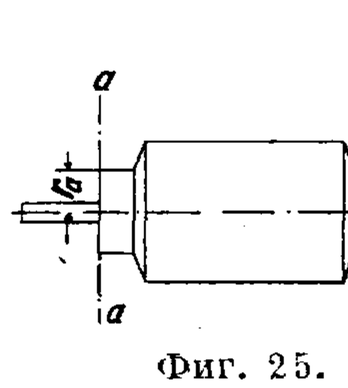


Фиг. 23.

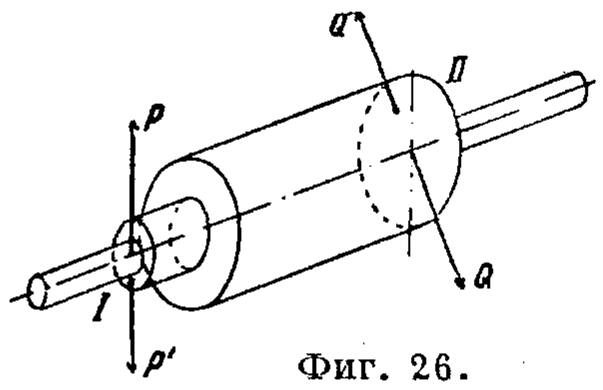


Фиг. 24.

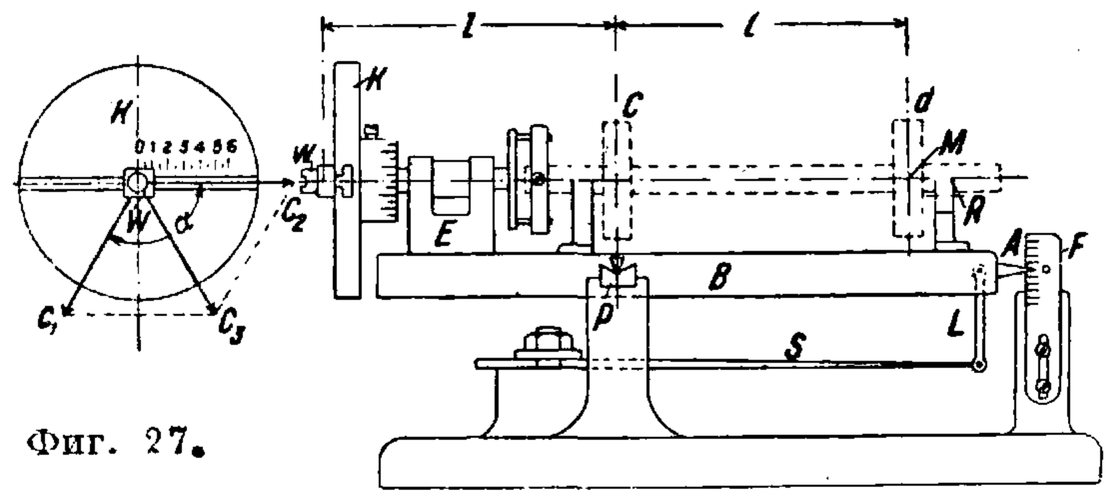
количествах оборотов, значительно меньших, чем вышеуказанные, небольшие отклонения в расположении ц. т. вращающейся массы относительно центра вращения вызывают весьма большие центробежные силы, сопровождаемые целым рядом нежелательных явлений, как то: вибрации самой машины или ее частей, вибрации фундаментов и т. д. Уравновешивание вращающихся масс с целью избежать эти вредные явления заключается в определении вышеуказанных отклонений ц. т. вращающейся массы от оси вращения и в приведении этого ц. т. к совпадению с этой осью и притом так, чтобы при вращении массы не могло появиться пар центробежных сил. Представим себе вращающуюся массу (фиг. 22), разделенную на бесконечно большое количество тонких дисков, из которых на фигуре даны только четыре. Каждый такой диск не является точно уравновешенным, т. е. центр тяжести его не лежит на оси вращения, а находится от последнего на некотором расстоянии, как показано на фигуре. Происходит это, с одной стороны, из-за неточности обработки и, с другой стороны, вследствие неравномерного расположения материала вращающейся массы. При вращении последней каждый такой диск обладает вследствие этого нек-рой центробежной силой C_1, C_2, C_3, C_4,... По законам механики все эти силы можно геометрически сложить, в результате чего мы получим нек-рую силу R и пару сил $S \cdot l$ (фиг. 23). Разложив силу R на две силы R_1 и R_2, расположенные в точках приложения сил S, и сложив геометрически эти силы, мы получим т. н. силовой крест P—Q, причем, как это не трудно видеть, точки приложения этих сил (P и Q) м. б. расположены в любых точках оси вращения в зависимости от мест расположения тех масс, при помощи к-рых д. б. уравновешена данная масса. При уравновешивании какой-либо вращающейся массы (напр. изображенной на фиг. 24),



Фиг. 25.



Фиг. 26.

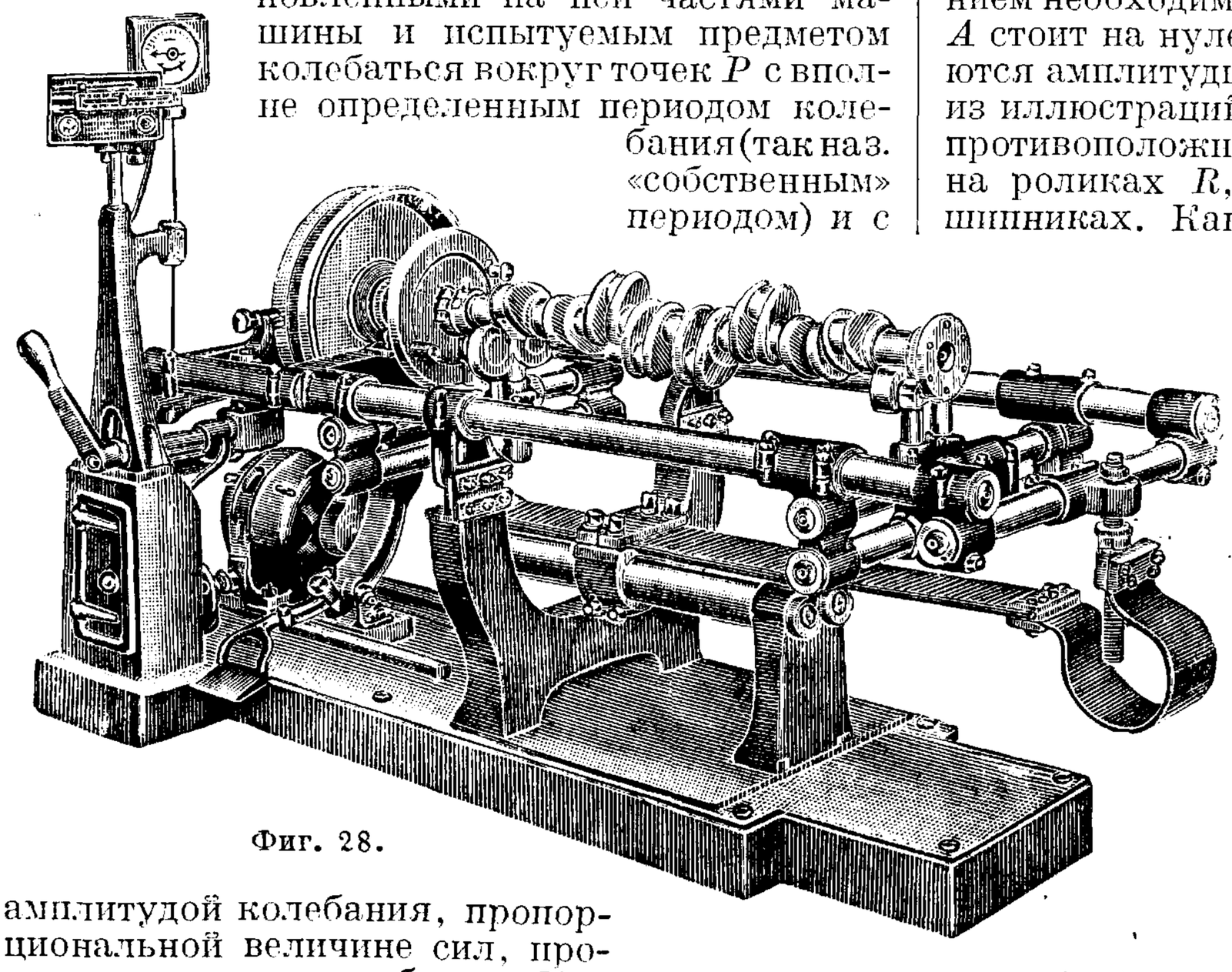


Фиг. 27.

неуравновешенность к-рой изображается подобным же силовым крестом (P—Q), можно заранее наметить расположение противовесов в сечениях aa и bb (фиг. 25) с расположением этих противовесов на расстояниях r_a и r_b от оси вращения. Уравновешивая каждую из сил P и Q в заданных плоскостях соответствующими противовесами, производящими центробежные силы P' и Q' (фиг. 26), равные силам P и Q и направленные в стороны, противоположные направлению последних, мы таким образом уравновесим данную массу.

Для такого уравновешивания, получившего название динамического, существует целый ряд различных машин, позволяющих производить это уравновешивание с большой

степенью точности. Одной из таких машин является америк. машина сист. Гишольта, изображенная схематически на фиг. 27. Фиг. 28 показывает эту машину, предназначенную для уравновешивания коленчатых валов. Конструкция этих машин и принцип их действия явствуют из нижеследующего. Легкая рама B (фиг. 27) покоится с одной стороны на призмах P из закаленной стали, подобных призмам обыкновенных рычажных весов. С другой стороны эта рама связана при помощи серьги L с длинной пружиной S, к-рая позволяет раме B со всеми установленными на ней частями машины и испытуемым предметом колебаться вокруг точек P с вполне определенным периодом колебания (так наз. «собственным» периодом) и с



Фиг. 28.

амплитудой колебания, пропорциональной величине сил, производящих эти колебания. Как нетрудно видеть, период колебания рамы B зависит прежде всего от величины колеблющихся масс и от жесткости пружины S. От величины сил, возбуждающих эти колебания, период последних не зависит. Бабка E, помещенная на этой раме, несет на себе шпиндель, на одном конце к-рого помещается тяжелый диск K с противовесом W, а на другом конце патрон, в к-ром закрепляется один конец испытуемого предмета. Противовес W можно передвигать в радиальном направлении и закреплять в соответствующем положении на требуемом расстоянии от оси вращения. Это расстояние отсчитывается на соответствующей шкале на диске K при помощи нониуса, помещенного на противовесе. Диск K, патрон и шпиндель являются вполне уравновешенными динамически, когда нониус противовеса W стоит на нуле шкалы на диске K. При помощи педали, показанной на фиг. 28, фрикционный ролик, получающий свое вращение от электромотора, помещенного внизу машины, м. б. прижат к диску K. Последний т. о. приводится во вращательное движение с желаемой скоростью вращения. После того как эта скорость будет достигнута, фрикционная связь между диском K и электромотором прекращается, и диск вместе со шпинделем, патроном и испытуемым предметом продолжает по инерции вращаться дальше, постепенно замедляя свою скорость вращения. Испытуемый предмет, обозначенный пунктиром на фиг. 27, обладает нек-рой неуравновешенностью, выражаемой силовым крестом с силами в сечениях d и c. Необходимо определить эти силы или, другими словами, необходимо определить те массы, к-рые необходимо прибавить или отнять в сечениях c и d, и положение этих поправочных масс в этих сечениях, для того чтобы получить вполне уравновешенный предмет M. В положении этого предмета, показанном на фиг. 27, определяется поправочная масса для сечения d. После определения этой массы предмет M вынимается из патрона и закрепляется в последнем т. о., чтобы сечение d пришлось над призмами P, после чего определяется поправочная масса и для другого сечения c. Перед испытанием необходимо убедиться в том, что указатель A стоит на нуле шкалы F, на к-рой отсчитываются амплитуды колебаний рамы B. Как видно из иллюстраций, конец испытуемого предмета, противоположный патрону, покоится свободно на роликах R, вращающихся на шарикоподшипниках. Как уже было сказано в статье о критич. скоростях (см. *Скорость критическая*), даже ничтожные по величине периодич. силы могут вызвать очень большие колебательные движения тяжелых масс, если период изменения периодич. сил совпадает с периодом собственных колебаний этих масс. Для описываемой системы силами, возбуждающими эти колебательные движения, являются вертикальные составляющие центробежных сил неуравновешенных масс. Если количество оборотов испытуемого предмета в единицу времени совпадает с количеством собственных колебаний рамы B, то произойдет чрезвычайное усиление колебательных движений этой рамы, причем амплитуда этих колебаний будет прямо пропорциональной величине возбуждающих сил, т. е. величине поправочной массы в сечении испытуемого предмета. Определение этой поправочной массы производится следующим образом. Как уже было указано выше, шпиндель машины вместе с испытуемым предметом приводится при помощи электромотора в быстрое вращательное движение с количеством оборотов в единицу времени бо́льшим, нежели число собственных колебаний рамы B в ту же единицу времени. Когда желаемая скорость будет при этом достигнута, связь диска K с электромотором прерывается, и диск вместе с шпинделем и испытуемым предметом продолжает по инерции вращаться и дальше, постепенно замедляя свое вращение. По мере этого замедления скорость вращения шпинделя постепенно приближается к скорости критической для рамы B, т. е. такой, при к-рой происходит синхронизация периода сил, возбуждающих колебания рамы B, и собственного периода колебания последней. При этом происходит постепенное увеличение амплитуды колебания рамы B, пока размах не достигнет максимума при достижении шпинделем указанной критич. скорости. При дальнейшем уменьшении скорости вращения шпинделя колебания рамы начинают постепенно уменьшаться. Указанная максимальная амплитуда колебания рамы B, наблюдаемая при помощи указателя A на шкале F, дает возможность определить поправочную массу сначала в сечении d, а затем и в сечении c. Амплитуда колебания рамы B пропорциональ-

на этим массам. Одному делению шкалы F соответствует определенная масса в $г$ на расстоянии в 1 $см$ от оси вращения. Так напр., одному делению этой шкалы может соответствовать масса 100 $г$ на расстоянии в 1 $см$ от оси вращения. Тогда n делениям шкалы F будет соответствовать масса 100 n $г$ на расстоянии в 1 $см$ от оси вращения или напр. 4,n $г$ на расстоянии 25 $см$ от оси вращения и т. д. Определив т. о. при помощи колебательного движения рамы B величину поправочной массы в сечении d, мы должны теперь определить положение поправочной массы в этом сечении, т. е. тот угол, под к-рым эта масса должна находиться по отношению к прорезу диска K, в к-ром передвигается противовес W. Для определения этого угла передвинем противовес W также на n делений шкалы диска K от оси вращения. Каждому делению шкалы диска K соответствует также масса в 100 $г$ на расстоянии 1 $см$ от оси вращения. При этом для упрощения рассуждения принято, что плечо l между испытуемым сечением d и призмами P равно плечу l между противовесом W и этими призмами. После установки противовеса W диск вместе со шпинделем и испытуемым предметом снова приводится в быстрое вращательное движение и так же, как и в первый раз, при замедлении этого вращательного движения, когда скорость последнего становится равной критич. скорости, рама снова начнет резко колебаться, причем указатель A покажет нек-рую амплитуду колебания, выражаемую напр. m делениями шкалы F. Нетрудно видеть, что эти колебания возникают в результате действия центробежной силы C_1 неуравновешенной массы в сечении d и центробежной силы C_2 противовеса W. Эти центробежные силы равны друг другу и м. б. определены из ур-ия:

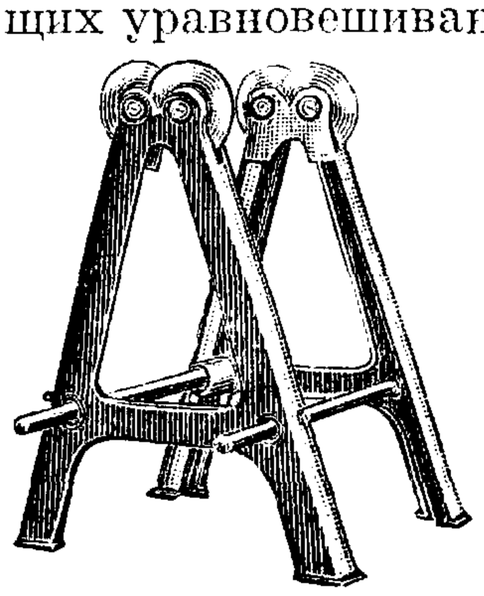
$$C_1 = C_2 = \frac{100n \cdot \omega^2}{9810} 0{,}01 = \frac{n\omega^2}{9810} кг.$$

Равнодействующая C_3 этих двух сил производит, как показано, колебания рамы B с амплитудой в m делений шкалы F, т. е. эта равнодействующая равна $\frac{m\omega^2}{9810}$ $кг$. Имея эти данные, можно определить теперь искомый угол α. Как не трудно видеть,

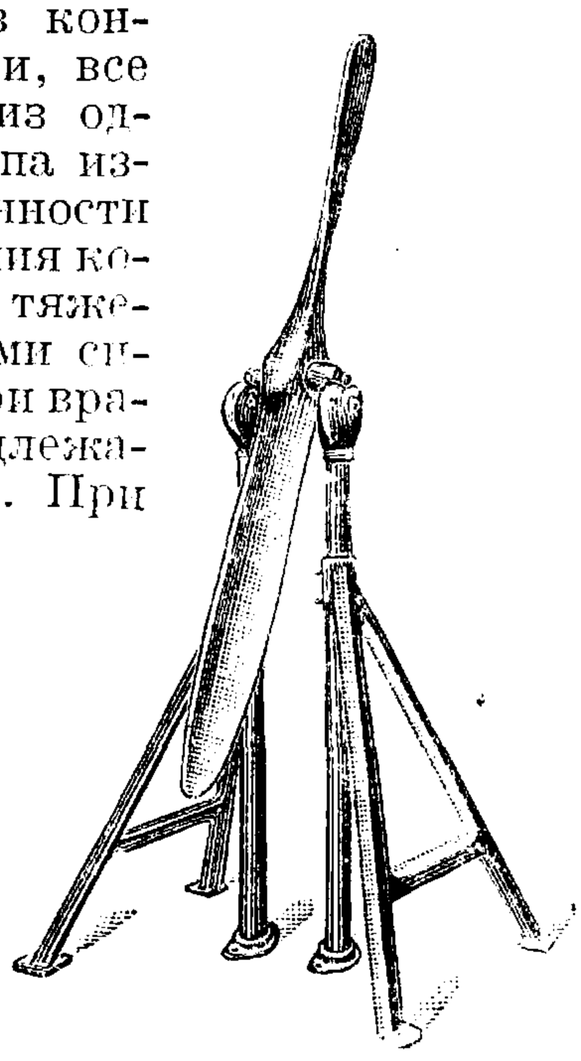
$$\cos\frac{\alpha}{2} = \frac{C_3}{2} : C_1 = \frac{m}{2n}.$$

Угол α определяет т. о. положение поправочной массы в сечении d. Для проверки полученного результата диск K поворачивается на своей оси на угол α по отношению к патрону, так чтобы центробежная сила C_2 противовеса W была направлена в ту же сторону, что и центробежная сила C_1. После этого диск K вместе со шпинделем снова приводится во вращательное движение. При правильном определении угла α и правильном отсчете количества делений m и n никаких колебательных движений рамы B не должно при этом появляться. Отметив после этого в M (фиг. 27) соответствующее положение поправочной массы, ее удаляют путем высверливания или другим каким-либо способом, уравновешивая т. о. правую часть испытуемого предмета. Вместо удаления этой поправочной массы можно на противоположной стороне последнего добавить соответствующую массу, способную уравновесить полученную поправочную массу. Повторив те же действия и для левой части уравновешиваемого предмета, мы получим полное статич. и динамич. уравновешивание последнего. Максимальная амплитуда колебания рамы машины регистрируется специальным индикатором, показанным на фиг. 28 слева от машины. Этот индикатор имеет две стрелки, из к-рых одна колеблется около своего среднего положения соответственно колебаниям рамы, в то время как другая стрелка, увлекаемая первой только в одном направлении, остается неподвижной в крайнем положении, указывающем максимальную амплитуду колебания рамы.

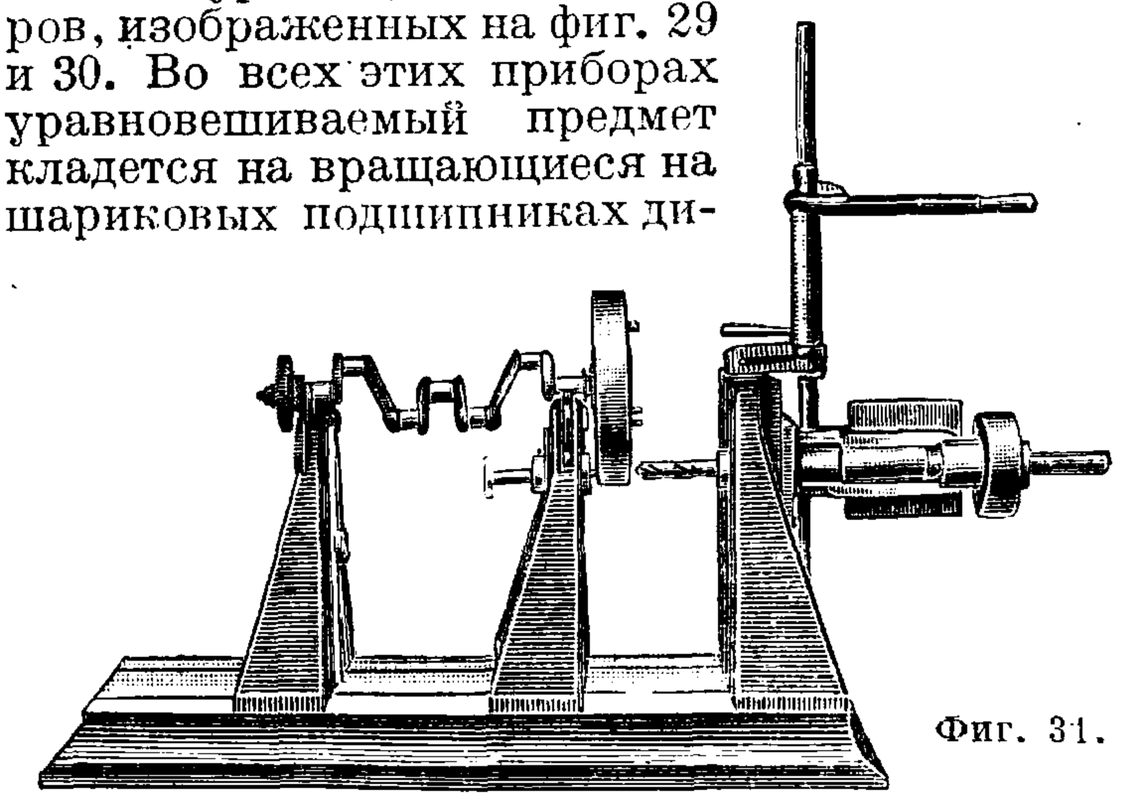
Существует еще целый ряд конструкций машин для динамич. уравновешивания. Таковы напр. машины Нортона, Олсена и др. Отличаясь друг от друга в конструктивном отношении, все эти машины исходят из одного основного принципа измерения неуравновешенности при помощи возбуждения колебательных движений тяжелых масс центробежными силами, возникающими при вращении предметов, подлежащих уравновешиванию. При помощи описанных машин возможно определять расстояния ц. т. проверяемых деталей от оси вращения в 0,003 до 0,001 $мм$ и исправлять такие неточности. Очень часто вместо динамич. уравновешивания прибегают к т. н. статич. уравновешиванию при помощи приборов, изображенных на фиг. 29 и 30. Во всех этих приборах уравновешиваемый предмет кладется на вращающиеся на шариковых подшипниках диски с каленою поверхностью, расположенные попарно с каждой стороны прибора. Медленно поворачивая испытуемый предмет на этих дисках, можно легко определить ошибку в расположении его ц. т. С более тяжелой части этого предмета снимается излишняя часть материала, и его ц. т. приводится т. о. к совпадению с осью вращения. Благодаря ничтожно малому трению дисков при их вращении уравновешивание многих деталей машин удается производить с значительной степенью точности. Такие приборы употребляются для узких деталей, каковы напр. воздушные пропеллеры, маховики и т. д. Существуют конструкции таких приборов в соедине-



Фиг. 29.



Фиг. 30.



Фиг. 31.

нии с сверлильным станком, при помощи которых из проверяемых деталей (например маховика, показанного на фиг. 31) высверливается в соответствующих местах излишек металла. Как не трудно видеть, такой способ уравновешивания пригоден только для таких деталей, в которых пару сил $S \cdot l$ (фиг. 23) можно не принимать во внимание. **Л. Мартенс.**

Лит.: см. *Динамика поршневых двигателей, Скорость критическая.*

УРАВНОВЕШИВАНИЕ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ, см. *Уравновешивание машин.*

УРАН, U, радиоактивный химич. элемент шестой группы периодической системы (аналог хрома, молибдена и вольфрама). Ат. в. 238,14; порядковое число 92 (среди всех известных элементов У. обладает наиболее высоким ат. в. и порядковым числом). Данные о двух радиоактивных изотопах У. приведены ниже:

Изотопы У.	Символ	Ат. вес	Период полураспада
Уран I (Уран) . . .	U I (U)	238,1	$4{,}5 \cdot 10^9$ лет
Уран II	U II	234	$2 \cdot 10^6$ »

В процессе радиоактивного распада (см. *Радиоактивность*) UI превращается через ряд менее долговечных элементов в *радий* (см.). А так как один из промежуточных элементов этого ряда превращений—UII—является изотопом исходного элемента—урана I, то практически «смешанный элемент уран» состоит всегда из UI с практически ничтожной (ок. 0,1%) примесью UII. Элементарный У. (полученный напр. путем восстановления окиси У. углем)—серебристобелый, не очень твердый парамагнитный металл, уд. в. 18,7; $t°_{пл.}$ чистого У. ~1 850°, но она сильно снижается вследствие примесей (карбиды). Соответственно высокому ат. в. У. обладает очень низкой уд. теплоемкостью—0,028. При нагревании в кислороде или в воздухе сгорает с образованием закиси-окиси U_3O_8. Непосредственно соединяется также с азотом, углеродом, галоидами, серой. В минеральных к-тах растворяется относительно легко с выделением водорода.

Как и его аналоги (молибден и вольфрам), У. существует во всех степенях валентности от 2 до 6. Самыми постоянными являются однако соединения шестивалентного У., за ними следуют четырехвалентные; соединения прочих степеней валентности менее постоянны и в силу этого большого значения не имеют. С кислородом У. образует чернобурую двуокись У. UO_2, оранжево-красную трехокись У. UO_3 и тяжелую (уд. в. 8,3) черно-зеленую закись-окись У. U_3O_8 ($UO_2 \cdot 2UO_3$); последняя является наиболее постоянным из окислов У. Все прочие его соединения с кислородом, как и все соединения с летучими к-тами и основаниями, при слабом прокаливании на воздухе превращаются в U_3O_8, к-рая однако при более высоких $t°$ (в вакууме уже при 600°) теряет кислород и частично превращается в UO_2. Полностью U_3O_8 и UO_3 восстанавливаются до UO_2 при нагревании в токе водорода. U_3O_8 встречается в природе как минерал—урановая смолка.

Трехокись У. UO_3 получается при осторожном нагревании соединений шестивалентного У. с летучими к-тами и основаниями. Обладает амфотерными свойствами: образует соли и с кислотами и с основаниями. С основаниями UO_3 образует простые уранаты $Me^I_2UO_4$ или более постоянные диуранаты $M^Ie_2U_2O_7$ (аналогичные дихроматам). Все уранаты, в том числе и щелочные, практически нерастворимы в воде. Уранат натрия $Na_2U_2O_7 \cdot 6U_2O$ осаждается в виде красивого желтого осадка при добавлении едкого натра к растворам солей уранила (см. ниже); при нагревании обезвоживается; применяется как краска для живописи. Уранат аммония $(NH_4)_2U_2O_7$, также яркожелтый, получается аналогично путем осаждения аммиаком. Легко растворяется в растворах углекислого аммония; при упаривании таких растворов кристаллизуется углекислый уранил-аммоний $(NH_4)_4UO_2(CO_3)_3 \cdot 2H_2O$. Аналогичные соли образуются и из щелочных уранатов. В этих соединениях У. входит в состав двухвалентного положительного радикала уранила $UO_2^{\cdot\cdot}$. Соли уранила обнаруживают большую склонность к образованию двойных и комплексных соединений. Большинство солей уранила, окрашенных обычно в желтый цвет с зеленой флуоресценцией, хорошо кристаллизуется. Важнейшая из них, азотнокислый уранил $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, получается (в результате окисления) при растворении всех окислов У. в азотной к-те. Хорошо растворяется в воде (при 21° 127 ч. в 100 ч. воды), спирте и эфире. На влажном воздухе расплывается. Плавится при 59,5°. Является обычно исходным продуктом для производства всех остальных соединений У. Уксуснокислый уранил $UO_2(CH_3 \cdot COO)_2 \cdot 2H_2O$ получается путем растворения UO_3 в уксусной к-те. При 110° обезвоживается, при 275° разлагается с образованием UO_3. В воде растворяется легко: при 15° 7,7 ч. дигидрата в 100 ч. воды. Легко образует двойные очень хорошо кристаллизующиеся соли с уксуснокислыми щелочами, напр. $NaUO_2(CH_3 \cdot COO)_3$. Хлористый уранил UO_2Cl_2 получается при воздействии хлора на UO_2 или же при растворении UO_3 в соляной к-те. В последнем случае кристаллизуется в виде тригидрата. Легко образует двойные соли типа $Me^I_2UO_2Cl_4$. Сернокислый уранил $UO_2SO_4 \cdot 3H_2O$ образуется при нагревании азотнокислого уранила с серной к-той. Обезвоживается при 175°. При 16° 100 ч. воды растворяют 17,5 ч. соли. С сернокислыми щелочами образует двойные соли типов $Me^I_2UO_2(SO_4)_2 \cdot 2H_2O$ и $Me^I_4UO_2(SO_4)_3$. Сульфид уранила UO_2S получается в виде бурого осадка при осаждении солей уранила сернистым аммонием.

Двуокись У. UO_2 получается в виде бурого порошка уд. в. 11,0 при нагревании UO_3 или U_3O_8 в токе водорода. Плавится при 2 176°. В минеральных к-тах медленно растворяется с образованием соответствующих солей четырехвалентного У. (азотная к-та растворяет быстро с окислением до $UO_2^{\cdot\cdot}$). Почти все они зеленого цвета и легко растворимы в воде (за исключением оксалата). Щелочи осаждают из их растворов красно-бурый гидрат двуокиси У. Соли четырехвалентного У. могут быть также получены из солей уранила путем восстановления, напр. водородом in statu nascendi. Соли четырехвалентного У. очень непостоянны, легко гидролизуются и легко окисляются на воздухе. Особый интерес представляет оксалат У., кристаллизующийся в темнозеленых призмах, нерастворимый в воде, но растворимый в оксалатах щелочей с образованием двойных солей, очень характерно окрашенных; так например, двойная соль с калием $K_4U(C_2O_4)_4 \cdot 5H_2O$—серого цвета; двойная соль с барием

$Ba_2U(C_2O_4)_4 \cdot 6H_2O$ — красно-фиолетового цвета. При добавлении перекиси водорода к растворам солей уранила выпадает осадок так наз. надурановой к-ты $UO_4 \cdot 2H_2O$, образующей с щелочами соли, надураната, напр. $(K_2O_2)_2UO_4 \cdot 10H_2O$. Все растворимые соединения У. сильно ядовиты.

Распространение У. в земной коре определяется цифрой $2 \cdot 10^{-5}$. Специфич. урановые минералы являются сырьем для добычи *радия* (см.). Незначительные количества У. входят часто в состав ториевых (см. *Торий*) и редкоземельных (например самарскита, см. *Редкие земли*) минералов. Для извлечения У. из руд пользуются чаще всего тем обстоятельством, что щелочи осаждают из содержащих У. растворов щелочные уранаты вместе с гидроокисями тяжелых металлов. При последующей обработке этого смешанного осадка раствором углекислого аммония щелочные уранаты растворяются с образованием двойных карбонатов щелочей и уранила, к-рые потом м. б. очищены кристаллизацией. Соединения У. являются в настоящее время побочными продуктами при добыче радия, и масштабы их производства определяются масштабами его добычи. Элементарный уран практич. применений не имеет. Соединения У. применяются для окрашивания стекла, к-рому они придают красивую желто-зеленую флуоресценцию; также как краски для живописи по фарфору и для керамич. глазурей и эмалей (окрашивают в цвета: желтый, бурый, зеленый, черный, в зависимости от степени окисления). Некоторые соединения У. светочувствительны. В фотографии широко применяется азотнокислый уранил для усиления негативов и окрашивания позитивов в бурый цвет. Карбид У. применяется иногда в качестве катализатора при синтезе аммиака (см. *Катализ* в технике). Уксуснокислый уранил—один из наиболее распространенных реактивов в микрохимическом анализе.

Лит.: Башилов И., Технология радиоактивных руд, Л., 1927; Шеллер В. и Поуэлл А., Анализ минералов и руд, содержащих редкие элементы, Л., 1928; см. также *Радий* и *Радиоактивность*. **Е. Кронман.**

УРАНОВЫЕ РУДЫ, минералы, содержащие уран в количествах, достаточных для рентабельной добычи и переработки их. Главной У. р. является урановая смолка (см. таблицу), минерал черного цвета со смоляным блеском. Этот минерал имеет две разности—кристаллическую (уранинит) и землистую (настуран),—очень близкие по составу. Урановая смолка растворяется в к-тах, всегда радиоактивна, при разрушении образует оболочки оранжево-красного урангуммита, содержащего кроме окисла урана еще кремнезем, окись железа, окись кальция и др., желтого ламбертита ($UO_3 \cdot H_2O$) и различные другие окислы, гидроокислы, гидрофосфаты и гидрокарбонаты урана. Встречается в рудных жилах вместе с рудами кобальта, серебра, висмута или в оловянно-каменных жилах и в пегматитах. Известные месторождения урановой смолки следующие: 1) Иохимсталь, где она встречается вместе с Co, Ag, Bi; 2) Корнуоль в Англии—в оловянно-каменных жилах; 3) в Бельгийском Конго; 4) в Швеции и Норвегии—в пегматитовых жилах, 5) в СССР—в Карелии; здесь руда обнаружена так же в пегматитовых жилах, но она настолько рассеяна в массе горной породы, что не имеет промышленного значения. Из других минералов, имеющих значение в качестве У. р., следует отметить: 1) карнотит, хорошо известный в Америке и СССР (на западном склоне Урала и в Закавказьи—Ганджинский район); 2) тюя-муюнит, обнаруженный в Узбекистане близ Андижана (в СССР является главной промышленной У. р.); 3) урановые слюдки, известные в Чехо-Словакии, Саксонии и СССР (в Табаширском месторождении Карамазарского района). Все эти руды являются вторичными и приурочены к поясу выветривания. Месторождения мало исследованы, но имеются данные думать, что они связаны с залежами первичных У. р.

У. р. добываются для приготовления препаратов урана, металлич. урана и для извлечения из них радия. Промышленными считаются руды, содержащие не менее 0,5% U_3O_8. Для получения солей урана руду сплавляют с содой и азотнокислым натрием и растворяют в воде. Самый металл идет на изготовление ферроурана и карбидурана. Ферроуран широко приме-

Таблица главнейших минералов, содержащих уран.

Название	Формула	Содержание UO_3, %	Цвет	Твердость	Уд. вес	Форма нахождения	Местонахождение
Уранинит *1	$(UTh)O_2(0-0,5)UO_3mPbO$	60	Смоляно-черный до серовато-черного	6	7,5—11	Кристаллы, вросшие в породу, или зернистые сплошные массы	В рудных жилах и пегматитах
Настуран *1	$(UTh)O_2(0-0,5)UO_3mPbO$		Смоляно-черный до зеленовато-черн.	5	5—9	Сплошные натечки массы	
Карнотит	$K_2O \cdot 2UO_3 \cdot V_2O_5 \cdot nH_2O$	до 63	Лимонно-желтый	мягк.	—	Порошкообр. землистые массы	Пластовое месторождение
Тюя-Муюнит	$CaO \cdot 2UO_3 \cdot V_2O_5 \cdot nH_2O$	до 58	Желтый	1	3,6	Сходен с карнотитом	В пустотах, в известняке
Отенит (кальккуранит) *2	$CaO \cdot 2UO_3 \cdot P_2O_5 \cdot 8H_2O$	55—62	»	2,5	3,1	Листоватые кристаллы, похожие на слюду	
Торбернит (купферуранит) *2	$CuO \cdot 2UO_3 \cdot P_2O_5 \cdot 8H_2O$	61	Яркозеленый	2,5	3,4—3,6		
Зейнерит *2	$CuO \cdot 2UO_3 \cdot As_2O_5 \cdot 8H_2O$	56	Зеленый	2—2,5	3,2		
Ураноцирцит *2	$BaO \cdot 2UO_3 \cdot P_2O_5 \cdot 8H_2O$	57	Желто-зеленый	—	3,5		
Ураноспинит *2	$CuO \cdot 2UO_3 \cdot As_2O_5 \cdot 8H_2O$	57	Зеленый	2,3	3,4	Таблитчатые кристаллы	
Самарскит (уранотанталит)	$R''_3R'''_2(Ta, Nb)_6O_{21}$, где R''=Ca, Fe, UO_3, R'''=Y, Cr, Er, и др.	—	Черный	5—6	5,6—5,8	Кристаллический	

*1 Урановая смолка. *2 Урановые слюдки.

няется в металлургич. пром-сти, т. к. повышает качество стали. Карбидуран находит себе очень ограниченное применение в автоматич. зажигалках и в качестве катализатора при производстве мышьяка. Кроме того соли урана применяются в медицине, в керамической, стекольной и текстильной пром-сти и в фотографии.

Лит.: Федоровский Н., Минералы в пром-сти и сел. хоз-ве, 2 изд., Л., 1927; Рабочая книга по минералогии, под ред. А. Болдырева, ч. 1, Л.—М., Новосибирск, 1932, ч. 2, Л.—М., 1932; «Труды IV Всесоюзной геологической конференции по цветным металлам», М.—Л., 1932, вып. 1—5.

Н. Федоровский.

УРЕИДЫ, см. *Мочевина.*

УРЕТАНЫ, $RO\cdot CO\cdot NH_2$, сложные эфиры карбаминовой к-ты $HO\cdot CO\cdot NH_2$. Получаются действием аммиака и аминов на эфиры хлоругольной к-ты (I) или на средние эфиры угольной к-ты (II) при обыкновенной $t°$:

I. $Cl\cdot CO\cdot O\cdot C_2H_5+NH_3=NH_2\cdot CO\cdot O\cdot C_2H_5+HCl$,

II. $C_2H_5O\cdot CO\cdot OC_2H_5+NH_3=NH_2\cdot CO\cdot OC_2H_5+C_2H_5OH$

или нагреванием мочевины со спиртами:

$$CO(NH_2)_2+C_2H_5OH=NH_2\cdot CO\cdot OC_2H_5+NH_3$$

или кипячением азидов к-т со спиртами:

$$R\cdot CON_3+C_2H_5OH=R\cdot NH\cdot CO\cdot OC_2H_5+N_2.$$

У.—бесцветные, прекрасно кристаллизующиеся вещества, перегоняющиеся без разложения, растворяющиеся в спирте, эфире и воде. При омылении они расщепляются на угольную к-ту, аммиак и спирт. Эта реакция служит для получения первичных аминов из органич. к-т:

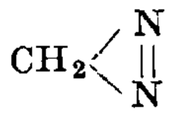
$$R\cdot NH\cdot CO\cdot OC_2H_5+H_2O=R\cdot NH_2+CO_2+C_2H_5OH.$$

Этиловый эфир карбаминовой к-ты $NH_2\cdot CO\cdot OC_2H_5$, обычно называемый У., представляет листочки, $t°_{пл.}$ 48,5°, $t°_{кип.}$ 180°. Он легко растворим в воде, также в спирте. Действием крепкой азотной к-ты получается нитроуретан $NO_2\cdot NH\cdot CO\cdot OC_2H_5$, при омылении последнего получается нитрамид $NH_2\cdot NO_2$. При действии азотистой к-ты на моноалкилированные при азоте У. получаются нитрозоуретаны:

$$CH_3\cdot NH\cdot CO\cdot OC_2H_5+HONO=H_2O+$$
$$+CH_3\cdot N(NO)\cdot CO\cdot OC_2H_5.$$

нитрозометилуретан

При омылении его получается диазометан

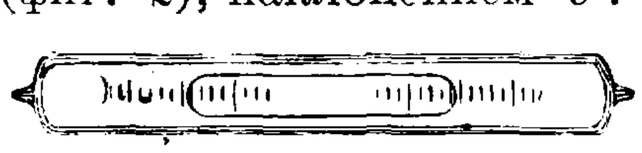


Многие У., кроме обыкновенного У.—У. этилового спирта, являются снотворными средствами и имеют применение в медицине, напр. гедонал—У. метилпропилкарбинола $NH_2\cdot CO\cdot O\cdot CH(CH_3)\cdot C_3H_7$, аponал—У. амиленгидрата $NH_2\cdot CO\cdot O\cdot C(CH_3)_2\cdot C_2H_5$; алеудрин—У. α, α'-дихлоризопропилового алкоголя $NH_2\cdot CO\cdot O\cdot CH(CH_2Cl)_2$, эйфорин—фенилуретан $C_6H_5NH\cdot CO\cdot OC_2H_5$.

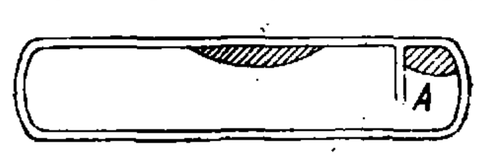
Лит.: Fränkel J., Die Arzneimittel-Synthese, 3 Aufl., B., 1912; Meyer V. u. Jacobson P., Lehrbuch der organischen Chemie, 2 Aufl., B. 1, T. 2, B.—Lpz., 1923.

М. Кацнельсон.

УРОВЕНЬ, прибор, служащий для приведения линий и плоскостей инструментов и приборов в горизонтальное положение, а также для определения небольших уклонений линий от горизонтального положения. Простейший из уровней—*ватерпас* (см.). Более точный прибор для определения угла наклона линии или плоскости к горизонту называется собственно уровнем. У. бывают цилиндрические и круглые. Цилиндрич. У. состоит из стеклянной, заключенной в металлич. оправу трубки, наполняемой спиртом или этиловым эфиром и запаиваемой с обоих концов. Изготовление У. производится сл. образом: запаянную с одного конца стеклянную цилиндрическую трубку наполняют при обыкновенной $t°$ этиловым эфиром почти до краев и затем нагревают, вследствие чего жидкость расширяется и достигает краев трубки. В этот момент запаивают второй конец трубки; по охлаждении жидкости в трубке образуется беззоздушный пузырек, наполненный парами эфира (фиг. 1). Такой пузырек более подвижен, чем воздушный, кроме того при повышении $t°$ устраняется возможность разрыва трубки от расширения жидкости. Для регулирования длины пузырька У., к-рый при изменении $t°$ увеличивается или уменьшается, делают У. с запасной камерой A (фиг. 2); наклонением У. можно в нее влить

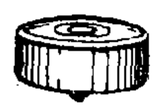


Фиг. 1.



Фиг. 2.

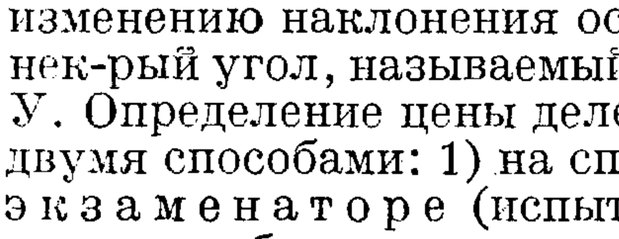
или из нее вылить жидкость, отчего безвоздушный пузырек будет увеличиваться или уменьшаться. Стеклянная трубка У. в продольном разрезе представляет криволинейное очертание поверхности, образовавшейся от вращения дуги круга большого радиуса около хорды, как около оси. Поперечные сечения поверхности У. плоскостями представляют собой окружности, центры к-рых находятся на одной прямой линии. Снаружи трубка У. строго цилиндрическая. Линия, проходящая внутри У., относительно к-рой все точки его внутренней поверхности расположены симметрично, называется осью цилиндрического У. Внутреннюю кривизну трубки получают шлифовкой стальными стержнями с шероховатой поверхностью. Снаружи, на верхней части поверхности трубки, нарезают в обе стороны от середины трубки поперечные и равностоящие черточки (деления У.), по к-рым отсчитывают положение пузырька. Круглый У. состоит из небольшой цилиндрич. коробки, герметически закрытой стеклянной крышкой, внутренняя поверхность которой представляет часть поверхности шара весьма большого радиуса, наружная поверхность—плоскость. Коробка наполняется спиртом или эфиром так же, как в цилиндрическом У.; положение пузырька оценивается сравнением положения его краев с концентрич. кругами, награвированными на стеклянной крышке (фиг. 3). Радиус шаровой поверхности, проведенный в среднюю точку шарового сегмента внутренней поверхности круглого У., называется осью уровня.



Фиг. 3.

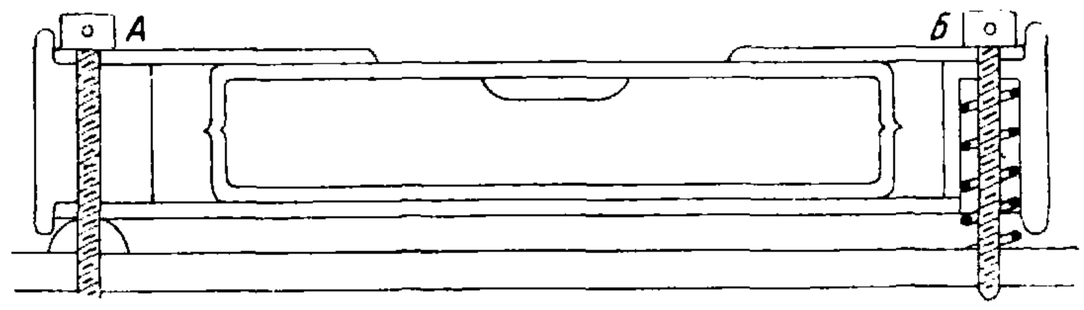
У. различаются между собой по чувствительности, т. е. способности обнаруживать малейшие перемены в наклонении его оси, если У. цилиндрический, или в отклонении оси от вертикальной линии, если У. круглый. Чувствительность У. зависит главным образом от радиуса кривизны внутренней поверхности, а также от величины пузырька, свойств жидкости, тщательности шлифовки внутренних стенок и материала трубки. При изменении угла наклона У. пузырек как легчайший всегда занимает высшую часть трубки, но только тогда, когда разность давлений на концах пузырька преодолеет прилипание жидкости к стенкам. Поэтому чувствительность У. при прочих равных условиях прямо пропорциональна длине пузырька. Остальные причины, от к-рых зависит чувствительность У., объясняются степенью прилипания жидкостей. Эфир прилипает к стеклу мень-

ше, чем спирт; отсюда У., наполненный эфиром, чувствительнее У., наполненного спиртом. Грубая шлифовка внутренней поверхности способствует прилипанию пузырька. Исследование чувствительности производится путем перегона пузырька на некоторую дугу трубки и возвращения его на прежнее место, причем наблюдают, получаются ли те же отсчеты по краям пузырька У. Малочувствительные У. негодны для применения в точных инструментах. Передвижение середины пузырька цилиндрич. У. на одно деление трубки соответствует изменению наклонения оси У. к горизонту на нек-рый угол, называемый ценой деления У. Определение цены деления У. производится двумя способами: 1) на специальном приборе—экзаменаторе (испытателе) и 2) на инструменте, снабженном тремя подъемными винтами (теодолит, пантометр, нивелир и т. п.). Экзаменатор состоит из металлич. доски, снабженной (фиг. 4) двумя подвижными подставками *А* и *Б*, на к-рые укладывается испытуемый У. Вращающийся винт *В* позволяет поднимать или опускать весь прибор, для чего он снабжен нарезкой, рассчитанной т. о., что поворот винта на одно деление диска соответствует 1″ дуги. Для определения цены деления У. экзаменатор устанавливают на прочное основание. У. кладут на подставки *А* и *Б* так, чтобы черточки его делений были обращены вверх. Когда пузырек успокоится, записывают до десятых долей деления у его концов и деления диска винта *В*. Поворачивая винт *В*, передвигают тем самым пузырек в другой конец трубки и снова записывают деления у его концов и деления диска винта *В*. Если число делений, на к-рое передвинулся конец пузырька, обозначить через n, а разность отсчетов, сделанных по диску винта *В*,—через m, то цена деления уровня $t=\frac{m}{n}$. Для наиболее точного определения цены деления описанные наблюдения над пузырьком У. повторяют несколько раз в разных частях его трубки и по обоим его краям, а затем выводят наивероятнейшую величину одного деления уровня. Инструмент, имеющий 3 подъемных винта, возможно рассматривать как экзаменатор, следовательно определение цены деления У., имеющегося на инструменте, производится одинаково с определением на экзаменаторе.—Цена делений разных У. неодинакова. В геодезич. инструментах она колеблется от 15″ до 0,5″ и менее.



Фиг. 4.

В геодезических инструментах У. служит для: 1) приведения лимба или планшета инструмента или какой-нибудь другой части инструмента в горизонтальное положение, 2) установки алидады вертикального круга в положение, близкое к горизонтальному, и 3) измерения небольших углов наклонения. У. на инструментах заключается в металлический цилиндр, к-рый имеет в верхней части продолговатый прорез, через к-рый и виден пузырек. Металлич. трубка с У. соединяется с подставкой У.: цилиндр оканчивается двумя рукавами, в к-рые входят 2 винта *А* и *Б* (фиг. 5), называемые исправительными. Назначение их—наклонять ось У. относительно нижней плоскости его подставки. На ось винта *Б* одета пружинка, от действия которой зависит плавность опускания или поднимания оси У. В некоторых У. имеются и боковые исправительные



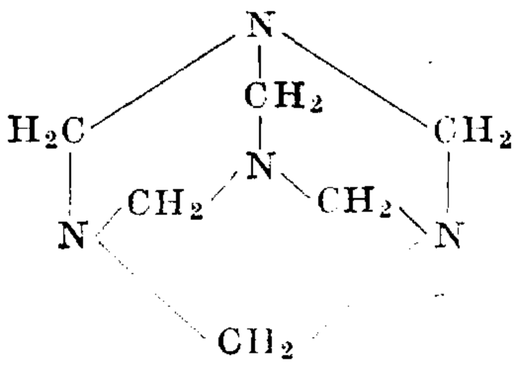
Фиг. 5.

винты для перемещения оси уровня в горизонтальной плоскости. О поверках У. см. *Поверки геодезических приборов*.

Лит.: Красовский Ф., Руководство высшей геодезии, ч. 1, М., 1926; Орлов П., Курс геодезии, 2 изд., М., 1929; Денизин П., Геодезия для строителей, М.—Л., 1931; Андросов И., Теория геодезич. инструментов, Одесса, 1928; Соловьев Є., Курс низшей геодезии, 3 изд., М., 1914; Пословский М., Низшая геодезия, 6 изд., М.—Л., 1929; Бик А. и Чеботарев А., Учебник низшей геодезии, 9 изд., М.—Л., 1928; Витковский В., Топография, 3 изд., М., 1928.

В. Платон.

УРОТРОПИН, гексаметилентетрамин $C_6H_{12}N_4$, продукт конденсации формальдегида с аммиаком, открытый А. М. Бутлеровым в 1860 году. Кристаллическое бесцветное вещество сладковатого вкуса, без запаха; при нагревании возгоняется, не плавясь; $t^{\circ}_{кип.}$ (возгонки) 263°; горюч. Кристаллы У. гигроскопичны; с водой он дает гидрат состава $C_6H_{12}N_4 \cdot 6H_2O$. У. хорошо растворим в воде (в холодной лучше, чем в горячей)—81,3 ч. в 100 ч. H_2O при 12°; умеренно растворяется в хлороформе (8 : 100), мало—в холодном спирте (3,2 : 100) и почти нерастворим в эфире; реакция водных растворов щелочная. По химич. свойствам У. представляет слабое основание (третичный амин); в качестве такого он образует соли только с сильными кислотами (HCl, $HClO_4$, H_2SO_4, HNO_3); У. присоединяет 2 или 4 атома галоидов и дает большое количество разнообразных двойных соединений с солями и органич. веществами. При нагревании с разбавленными к-тами (HCl, H_2SO_4) У. разрушается с выделением формальдегида. С раствором $AgNO_3$ он дает белый осадок состава $C_6H_{12}N_4 \cdot AgNO_3$, растворяющийся в избытке У.



Строение молекулы У. (см. ф-лу) в настоящее время точно установлено с помощью рентгенографич. анализа. Пространственно молекула построена т. о., что 6 атомов С находятся в вершинах октаэдра с длиной ребра 2,58 Å, а 4 атома N—в вершинах тетраэдра с ребром 1,72 Å; тетраэдр вписан в октаэдр т. о., что вершины первого находятся в середине соответствующих граней второго; расстояние между атомами N и С равно 1,48 Å. Элементарная ячейка кристалла У. имеет форму куба с ребром 6,99 Å и содержит 9 молекул (по углам и в центре куба); расстояние между внешними вершинами двух смежных молекул равно 3,36 Å.

Получение У. основывается на взаимодействии аммиака с формальдегидом или параформальдегидом в водной среде. Реакция протекает по ур-ию

$$6CH_2O + 4NH_4OH = (CH_2)_6N_4 + 10H_2O.$$

Теоретически для получения 140 ч. У. требуется 180 ч. газообразного CH_2O и 68 ч. NH_3, но на практике последнего надо брать несколько больше, чтобы предотвратить образование триметиламина, загрязняющего продукт. При производстве У. (по герм. способу) реакцию проводят в керамиковых двугорлых туриллах емкостью по 250 *л*, соединенных параллельно по 10 и более штук в батареи и охлаждаемых

снаружи проточной водой; в них загружают 30%-ный формалин и пропускают газообразный аммиак (из баллонов) в течение ~12 ч.; при этом $t°$ жидкости не д. б. выше 20°, во избежание потерь. Полученный раствор обесцвечивается активным углем, фильтруется и подвергается упариванию в вакуум-аппарате, после чего идет на кристаллизацию. Кристаллы У. отделяют от маточного раствора, прибавляют небольшое количество 25%-ного аммиака, центрифугуют, промывают, сушат на рамах при $t°$ 50° и просеивают. Выход достигает 96% теоретич. Препарат У. для медицинских целей должен содержать не больше 0,1% зольных веществ (минеральных солей) и быть абсолютно лишенным запаха. Другие методы получения У., например обработка раствора NH_4Cl (отходов аммиачно-содового процесса) газообразным или растворенным формальдегидом или нагревание в автоклаве хлористого метила (CH_3Cl) с избытком водного аммиака при 80—120°, с последующим извлечением уротропина спиртом, хлороформом или CCl_4, в промышленности пока не привились.

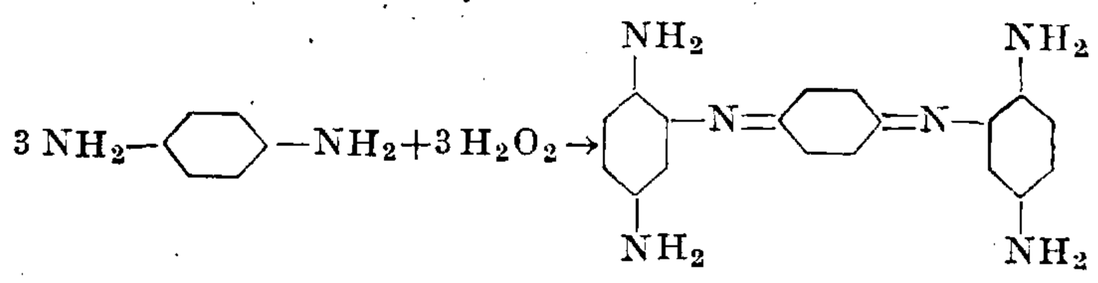
Применение. У. широко применяется как ускоритель вулканизации каучука (гл. обр. в производстве мягкой резины, приводных ремней и кабелей), ценный в особенности тем, что он не вызывает преждевременной вулканизации смеси на горячих вальцах и может вводиться совместно с Sb_2S_5; в качестве активатора обычно добавляется ZnO. В медицине У. применяют как внутреннее дезинфицирующее средство, одновременно способствующее удалению продуктов белкового распада из организма. В производстве синтетич. смол и пластмасс У. используется для ускорения твердения фенольно-альдегидных продуктов конденсации; сам У. способен конденсироваться с фенолом (при сплавлении), образуя твердую желтую смолу. В технологии взрывчатых веществ У. вводится как добавка (до 4%) к смесям типа аммоналов, составляемым на основе NH_4NO_3, для повышения их чувствительности к детонации, причем чувствительность к трению и удару не увеличивается. Переработкой У. может быть получен ряд сильно взрывчатых продуктов, напр. триметилентринитрамин $C_3H_6N_3(NO_2)_3$ и другие, еще не вошедшие в практику. В химич. анализе У. предложен как реактив для разделения и колич. определения некоторых катионов: из кислых растворов благодаря гидролизу У. по ур-ию $(CH_2)_6N_4+6H_2O \rightleftarrows 6CH_2O+4NH_3$ осаждаются ионы Fe, Al, Ti, Zr, Th, Cr и U, но не осаждаются (в присутствии солей NH_4) двухвалентные Mg, Zn, Co, Ni и Mn. В микроанализе У. употребляется (в виде насыщенного раствора его сульфата, в присутствии NH_4CNS) как качественный реактив на Cu, Zn, Fe, Co, V и In, дающий с этими катионами характерные цветные осадки. В военнохимич. деле У. применялся в составе пропиток для противогазов влажного типа, где он играл роль поглотителя для фосгена и хлоругольных эфиров. Некоторое количество уротропина расходуется пищевой промышленностью как консервирующее средство для икры и других рыбных продуктов, в пиротехнике—для горючих смесей и т. д.

Анализ уротропина обыкновенно основывается на его гидролизе серной кислотой по уравнению $(CH_2)_6N_4+6H_2O+2H_2SO_4=6CH_2O+2(NH_4)_2SO_4$. Препарат гидролизуют кипячением с избытком $^1/_1N$ серной кислоты (около 30 минут) до полного улетучивания CH_2O, затем разбавляют водой, охлаждают и титруют свободную серную кислоту щелочью.

Лит.: Кацнельсон М., Приготовление синтетич. химико-фармацевтич. препаратов, 2 изд., М., 1923; Altpeter J., Hexamethylentetramin u. seine Verwendung, Halle a/S., 1931; Butlerow A., «Ann. d. Chemie», Lpz., 1860, B. 115, p. 322. Строение У.: Duden P. u. Scharff M., ibid., 1895, B. 288, p. 218, u. «B», B., 1895, B. 28, p. 936; Pummerer R. u. Hofmann J., «B», 1923, B. 56, p. 1255; Mark H., Weissenberg K., Gonell H., «Ztschr. f. Elektrochemie», Halle a/S., 1923, B. 29, p. 364. Получение У.: Chemnitius F., «Chemiker-Ztg», Cöthen, 1928, Jg. 52, p. 735; Ан. П. 235015 (1924) и 286730 (1928). Применение У.: Ullm. Enz., 2 Aufl., B. 6, p. 136 (обширная лит. по применению У.); Harvey M. a. Backeland L., «Ind. a. Eng. Chem.», Washington, 1921, v. 13, p. 135; Ray P., «Ztschr. f. analytische Chemie», Wiesbaden, 1931, B. 86, p. 13; Ам. П. 1720459 (1929). Испытание препаратов У.: Rosenthaler L., «Apotheker-Ztg», Berlin, 1918, B. 43, p. 653.

В. Янковский.

УРСОЛЫ, урзолы, группа красителей, применяемых в крашении мехов. Большинство этих красителей относится к классу хинонимидных красителей, к-рые образуют на окрашиваемом волокне окраску только после окисления, причем окислителем чаще всего служит перекись водорода. Предполагается, что при этом происходит конденсация, в результате к-рой получаются тела с более уплотненной молекулой, т. е. что процесс образования окраски подобен образованию черного анилина на волокне. Например установлено, что простейший У. — *n*-фенилендиамин (см. *Фенилендиамины*) при окислении конденсируется с уплотнением трех молекул, связанных двойной связью:



(основание Бондровского). Многие из У. являются чистыми органич. полупродуктами; другие—построены на смешении некоторых полупродуктов в определенных отношениях. В этом легко убедиться, если рассмотреть состав наиболее ходовых марок У.: У. черный DB—плав *n*-фенилендиамина и *м*-толуилендиамина, У. коричневый NZ — смесь фенилендиамина и резорцина, У. SA — смесь *n*-фенилендиаминхлоргидрата и 2,4-диаминоанизолсульфата. Характерным для состава урсолов является наличие амидной группы, причем у большинства У. имеются две амидные группы, б. ч. в *n*-положении. Полупродукты, из к-рых образованы красители, входят в состав У. в форме оснований (напр. У. черный D) или солей, б. ч. солянокислых (У. коричневый P). У. обладают большим сродством к животному волокну и, напротив, почти не окрашивают растительных волокон. Животное волокно, в частности волос мехов, они окрашивают уже на холоду, а при $t°$ 30—35° они красят в темные цвета, вплоть до черного. Свойство У.—красить при низкой $t°$—обусловливает специфич. их использование в качестве красителей мехов, т. к. меховые шкуры не переносят высоких темп-р (сваривается кожа). У. красят как непосредственно, так и на обычных протравах (солях железа, меди, хрома и алюминия), давая в этом случае более интенсивные и более прочно связанные с волокном окраски. Повидимому в этом случае имеет место одновременное окисление У. и образование лаков, цветность к-рых зависит как от катиона, так и от аниона протравы, т. е. от рода металла и к-ты протравы. Колористич. свойства У. зависят также от того, применяются ли они в форме оснований, или солей; например У. черный D красит без протравы в

Цветные реакции наиболее употребительных урсолов.

Наименование урсолов и их химич. состав	Реакции	
	хлорной известью	хлорным железом
Черный D (*n*-фенилендиамин)*1	обесцвечивается и выпадает осадок	зеленое окрашивание, переходящее в красно-коричневое или фиолетовое
Коричневый P (хлоргидрат *n*-аминофенола)	желтеет, затем зеленеет и обесцвечивается, после чего выпадает осадок	красно-коричневое окрашивание
Желтый 2G (хлоргидрат *o*-аминофенола)*2	обесцвечивается	оранжевое окрашивание, переходящее в красно-коричневое
Желтый 4G (4-нитро-1, 2-фенилендиамин)	желтый раствор, постепенно осветляющийся	оранжевое окрашивание
Серый AL (хлоргидрат или сульфат *n*-аминодиметиланилина)	вишнево-красное окрашивание, сразу исчезающее; выпадает осадок	малиновое окрашивание
Серый B (хлоргидрат *n*-аминодифениламина)	красно-коричневое окрашивание	оранжево-коричневое окрашивание
SA (смесь *n*-фенилендиамина и сульфата *м*-диаминоанизола)	коричнево-красное окрашивание, исчезающее при стоянии	красно-оранжевое окрашивание

*1 При реакции формалином дает белый осадок.
*2 При реакции формалином дает осадок.

темнокоричневый, а У. DS (сульфат *n*-фенилендиамина)—в серый цвет. При действии некоторых химич. веществ (формалина, хлорной извести, хлорного железа) растворы У. дают характерные цветные реакции (см. таблицу).

Лит.: Георгиевич Г. и Гранмужен Е., Химия красящих веществ, пер. с нем., 3 изд., М., 1922; Якобсон А., Урзолы, их химическая расшифровка и методы качественного анализа, «Труды центральной научно-исследовательской лаборатории Союзмехтреста», 1933, Сб. 1.

Н. Булгаков.

УСАДКА ТКАНЕЙ, сокращение размеров их как по длине, так и по ширине. У. т. происходит при различных процессах обработки их. Нити основы и утка, вытягиваемые при размотке, шлихтовании и тканье, стремятся благодаря упругости волокна принять первоначальное состояние, как только действующие на них силы перестают оказывать свое влияние, если только при обработке тканей не нарушены природные свойства волокна благодаря воздействию на него пара, горячей воды и т. д. При отделке особенно значительная У. т. получается при валке шерстяных тканей: по ширине она ~ 30%, по длине доходит до 10% и более. Ткань при отделке должна получить правильную усадку как по утку, так и по основе, и дальнейшая ее усадка при пошивке одежды или во время носки ее недопустима. Большинство тканей при отделке дает усадку по ширине и длине, хотя некоторые хл.-бум. и полушерстяные ткани дают притяжку по длине при усадке по ширине.

Н. Арманд.

УСИЛЕНИЕ, в фотографии, процесс, применяемый для исправления недостатков негатива, получившихся в результате неправильной экспозиции при съемке или неправильного проявления, гл. обр. в случае слишком «тонких» изображений с большим количеством деталей, но недостаточно контрастных от недопроявления или передержки. У. увеличивает плотность фотографич. изображения или гл. обр. в темных местах («светах») негатива или б. или м. равномерно по всему негативу. Принцип У. сводится к тому, что на зернышках металлич. серебра, составляющих видимое изображение, наращивается либо другой металл (преимущественно ртуть) либо какое-либо нерастворимое соединение, сильно поглощающее свет (железистосинеродистые соли меди, уранила, свинца, хромовые соединения и др.).

При У. солями ртути (хлористой, бромистой или иодистой) серебряное изображение сначала отбеливается путем образования соответствующего галоидного соединения серебра при одновременном восстановлении соли ртути, например:

$$Ag+HgCl_2=AgCl+HgCl,$$

а затем чернится каким-либо восстановителем: сульфитом, аммиаком или просто проявителем. Проявитель и сульфит восстанавливают галоидные соли до металлов, а аммиак дает комплексное соединение, мало прочное на свету. В некоторых усилителях и отбеливающее и чернящее действие производятся в одном и том же растворе.

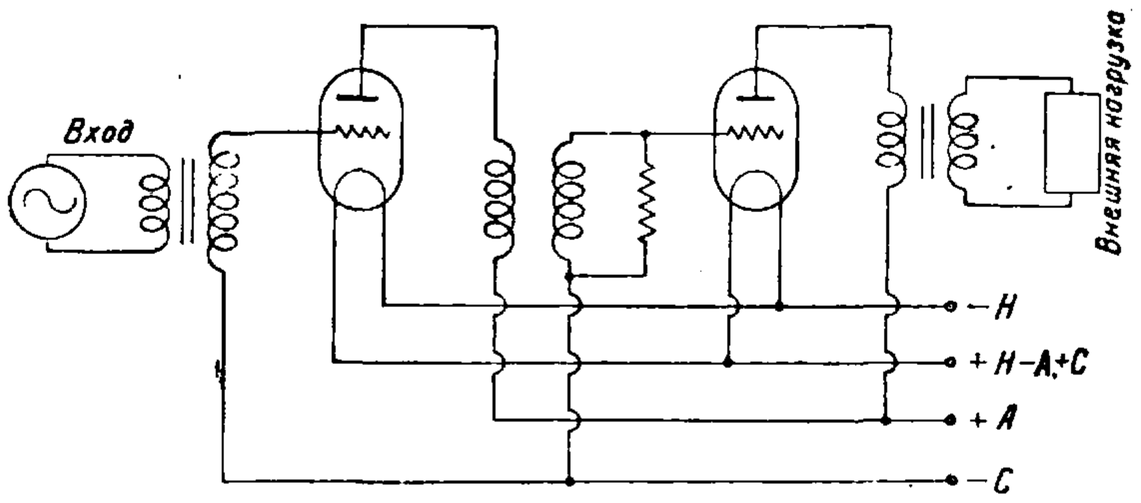
Наиболее употребительны следующие рецепты усилителей. I.—Сулемы $HgCl_2$ 10 *г*, бромистого калия KBr 10 *г*, воды 500 *см*³. Хорошо отфиксированный негатив тщательно отмывается от следов гипосульфита и отбеливается в указанном растворе до полного побеления изображения с обратной стороны; тщательно промывается (не менее 20 мин. в проточной или 50 мин. в часто сменяемой воде) и чернится в одном из следующих растворов: 10%-ном растворе сульфита (сернистокислого натрия); 10%-ном растворе аммиака; железном (органическом) или каком-нибудь другом проявителе (на свету). Аммиак дает наиболее заметное, но непрочное У. и увеличивает размер зерен, что неудобно для увеличений; аммиак и сульфит усиливают гл. обр. света негатива. При чернении проявителями У. получается более равномерным и м. б. повторено до получения нужного эффекта. II.—Усилитель Андрезена в одном растворе: воды 100 *см*³, сулемы 10 *г*, роданистого калия KCNS 8 *г* или роданистого аммония NH_4CNS 6 *г*. Для употребления берут 1 ч. усилителя на 10 ч. воды. Изображение не белеет, за ходом У. легко следить. Этот усилитель особенно пригоден для негативов, не требующих большого У. Через 10 мин. У. сменяется ослаблением. III.—Урановый усилитель: раствор А—воды (дистил.) 100 *см*³, азотнокислого уранила $UO_2(NO_3)_2$ 1 *г*, и раствор В—воды 100 *см*³, красной кровяной соли 1 *г*. Для употребления берут 50 *см*³ раствора А, 12 *см*³ уксусной к-ты (ледяной) и к ним прибавляют 50 *см*³ раствора В. Урановый усилитель значительно увеличивает контрастность, но и вызывает появление многих деталей, а потому является наиболее пригодным в тех случаях, когда нужно извлечь возможно больше из недодержанного или недопроявленного негатива.

Лит.: Неблит К., Общий курс фотографии, перевод с английского, 2 изд., кн. 2, Москва, 1933; Энглиш Е., Основы фотографии, пер. с нем., 3 изд., Москва—Ленинград, 1931.

А. Рабинович.

УСИЛИТЕЛЬ, электротехнич. прибор, имеющий назначением повысить мощность источника электрической энергии переменного тока или пульсирующего постоянного, не меняя при

этом частоты тока, а во многих случаях и формы кривой тока (в случае несинусоидального тока). Область применения У. крайне обширна, гл. обр. в технике связи: 1) в дальней телефонии и телеграфии по проводам (усилительная трансляция), 2) в аппаратах (передатчик-приемник), предназначенных для радиотелеграфных и радиотелефонных связей, 3) в радиовещании (усиление микрофонных токов, усиление в радиовещательном передатчике и приемнике, мощные усилители в радиотрансляционных узлах), 4) в приборах для передачи и приема изображений на расстоянии (усиление фототоков), 5) в приборах для записи и воспроизведения звука (звуковое кино, электрозапись для граммофона) и т. д. В зависимости от характера усиливаемого тока различают У. постоянного тока и У. переменного тока. У. постоянного тока имеют назначением усиливать импульсы постоянного тока при телеграфировании, при передаче изображений и т. д. У. переменного тока разбиваются на две основные группы: а) У., имеющие назначением усиливать токи в широком диапазоне частот; б) У., имеющие назначением усиливать ток одной какой-либо частоты (в узком диапазоне частот). К первой



Фиг. 1.

группе относятся все типы У., применяемые в телефонии (проволочная и радиотелефония), в широковещании, в приборах для записи звука, в приборах для передачи движущихся изображений. Здесь требуется особенно широкая полоса частот усиления (10—1 000 kHz). Ко 2-й группе относятся У. высокой частоты в передающих устройствах, У. высокой частоты в приемниках, У. низкой частоты в телеграфных приемниках. [Под низкой *частотой* (см.) понимают диапазон частот, слышимых человеческим ухом, т. е. от 30 Hz до 14—16 kHz; все частоты выше мы называем высокими частотами.] В У. этой группы в целях выделения той частоты, которая подлежит усилению, применяют резонансные контуры, поэтому эта группа У. называется также иногда р е з о н а н с н о й. У. первой группы в отличие от второй называются иногда а п е р и о д и ч е с к и м и (электрические цепи этого типа У. обладают большим затуханием и апериодичны).

К о э ф ф и ц и е н т у с и л е н и я. Основные величины, характеризующие У.: его коэф. усиления и полоса частот, им усиливаемая. Коэф. усиления K равен корню квадратному из отношения мощности $P_{вых.}$, отдаваемой усилителю, к мощности $P_{вх.}$, подводимой к усилителю от усиливаемого источника энергии:

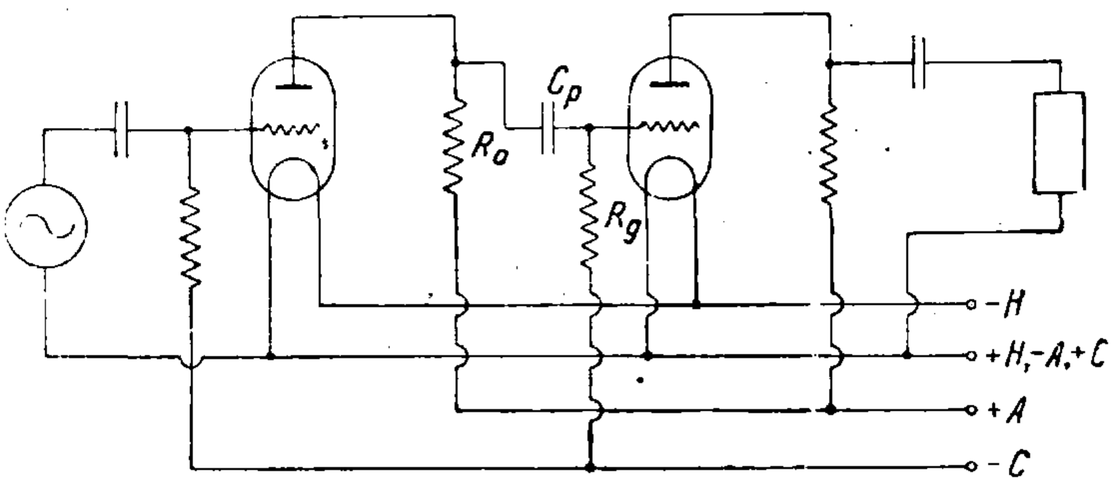
$$K = \sqrt{\frac{P_{вых.}}{P_{вх.}}}. \qquad (1)$$

При одинаковой величине входного сопротивления У. и сопротивления нагрузки коэф. усиления равен отношению напряжения на выходе к напряжению на входе:

$$K = \frac{E_{вых.}}{E_{вх.}}. \qquad (2)$$

Иногда под коэф-том усиления понимается отношение напряжений независимо от соотношения сопротивлений входа и нагрузки У. K_e (к о э ф ф и ц и е н т у с и л е н и я п о н а п р я ж е н и ю). Коэф. усиления измеряется в децибелах или неперах:

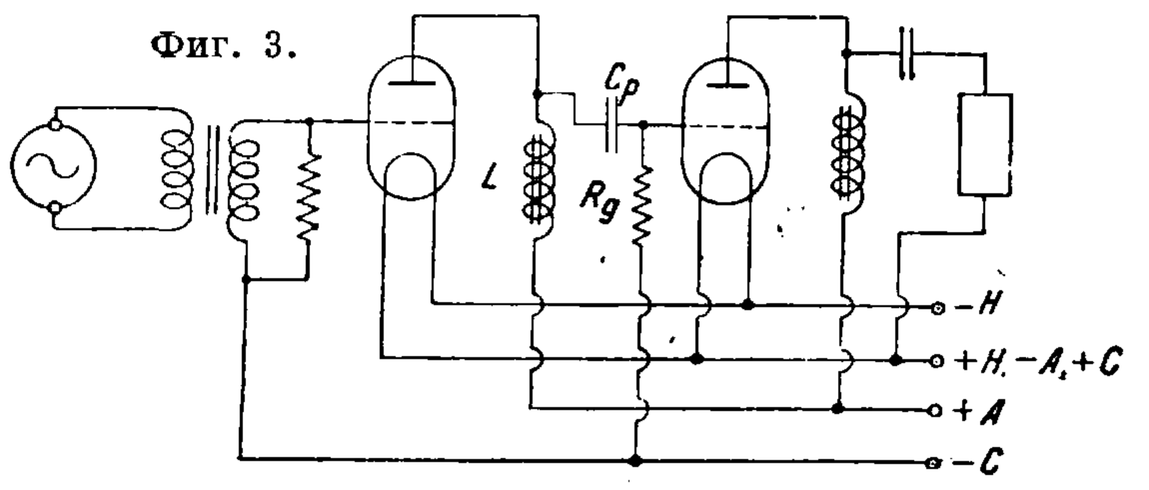
$$\left.\begin{aligned} K &= 10 \lg \frac{P_{вых.}}{P_{вх.}} \text{ децибел}, \\ K &= \frac{1}{2} \ln \frac{P_{вых.}}{P_{вх.}} \text{ непер}. \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$



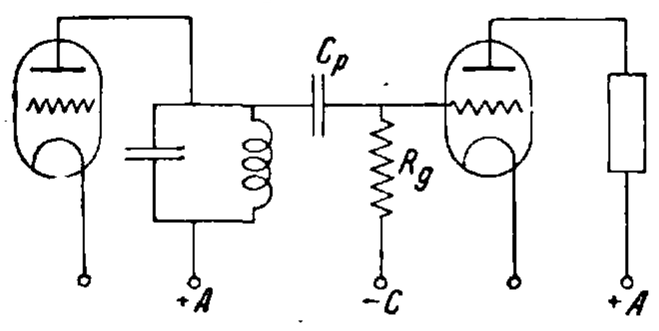
Фиг. 2.

Т и п о в ы е с х е м ы у с и л и т е л е й. Основным составным элементом усилителя является электронная лампа. У. состоит из одной или нескольких электронных ламп, соединенных параллельно или каскадно, и из элементов анодной нагрузки лампы (сопротивление, дроссель, контур, трансформатор), служащих

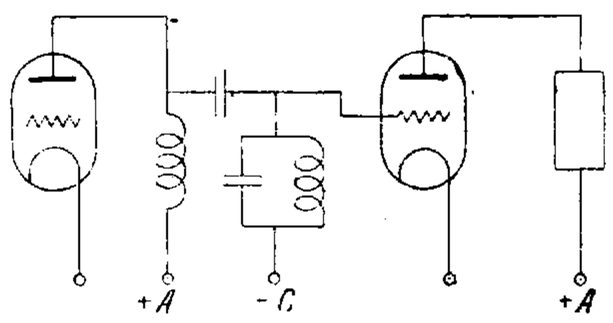
Фиг. 3.



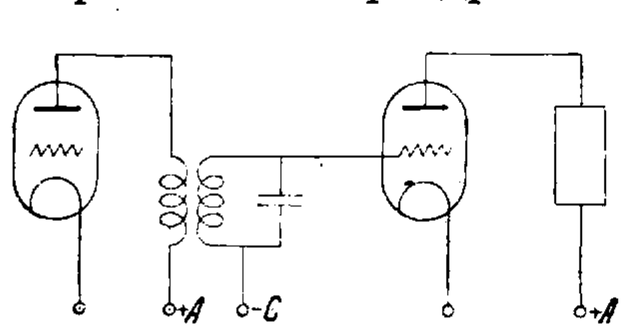
связью между отдельными каскадами У. На фиг. 1—6 даны схемы двухкаскадных У. с трансформаторной (фиг. 1), реостатной (фиг. 2), дроссельной (фиг. 3) связью и связью через резонансные контуры (фиг. 4, 5, 6). В целях экономии в источниках энергии питание ряда каскадов У. производится от одного источника анодного напряжения и одного источника накала. При этом приходится при дроссельной и реостатной связи ставить разделительный конденсатор C_p (фиг. 2 и 3) и сопротивление утечки R_g. В противном случае на сетку последующей лампы попадет анодное напряжение предыдущей лампы, т. е. высокий положительный потенциал; на сетку же как правило надо



Фиг. 4.



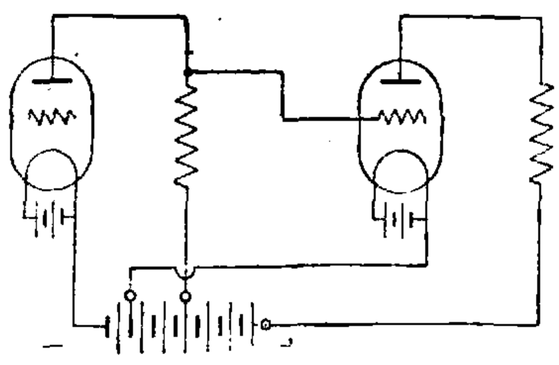
Фиг. 5.



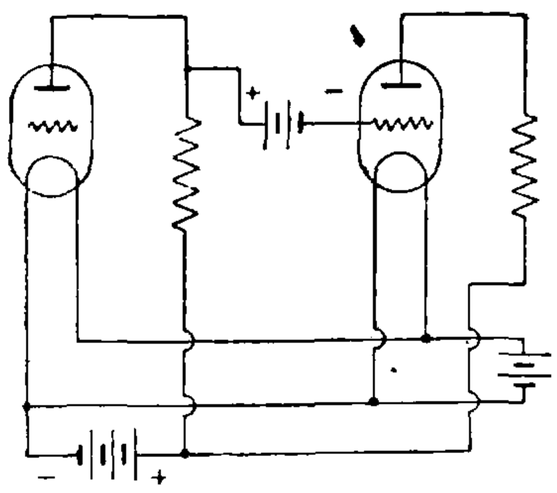
Фиг. 6.

подавать отрицательное напряжение по отношению к нити. В У. постоянного тока можно использовать лишь реостатную связь; разделительных конденсаторов применять нельзя—благодаря этому У. постоянного тока требуют большего количества источников энергии. На фиг. 7 и 8 даны схемы У. постоянного тока: на фиг. 7—с раздельными батареями накала, на фиг. 8—со специальной батареей в цепи сетки.

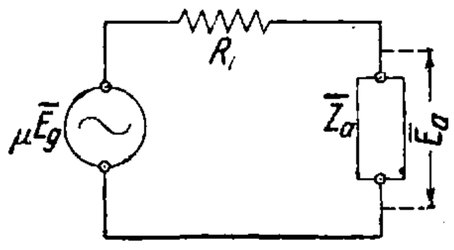
Определение коэфициента усиления и отдачи (кпд) У. Электронную лампу, работающую в качестве У., можно заменить нек-рым эквивалентным генератором (фиг. 9) с эдс $\mu\bar{E}_g$ (μ — коэф. усиления ламп, $\bar{E}_g$—переменное напряжение, подаваемое на сетку — нить лампы) и с внутренним сопротивлением R_i. Переменное напряжение $\bar{E}_a$ на анодной нагрузке $\bar{Z}_a$ лампы, коэф. усиления по напряжению K_e и кажущаяся мощность P_a, отдаваемая усилителем во внешнюю цепь, равны:



Фиг. 7.



Фиг. 8.



Фиг. 9.

$$\bar{E}_a = \mu\bar{E}_g \frac{\bar{Z}_a}{R_i+\bar{Z}_a}, \qquad (4)$$

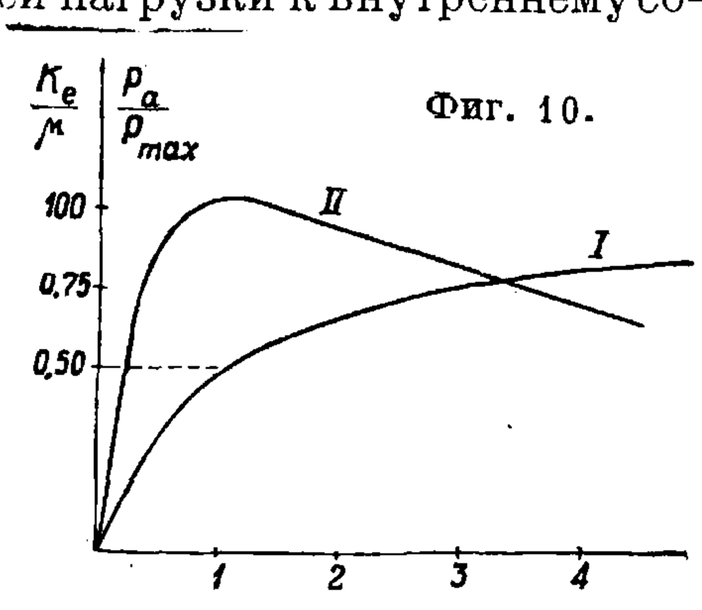
$$K_e = \frac{\bar{E}_a}{\bar{E}_g} = \mu \frac{\bar{Z}_a}{R_i+\bar{Z}_a}, \qquad (5)$$

$$P_a = \mu S \frac{\bar{E}_g}{2} \frac{R_i\bar{Z}_a}{(R_i+\bar{Z}_a)^2}, \qquad (6)$$

где S—крутизна характеристики лампы в A/V, $\bar{E}_g$—амплитуда напряжения на сетку. Эти соотношения получаются непосредственно из анализа схемы фиг. 9. Максимум отдачи мы имеем при $R_i = Z_a$ (если Z_a—активное сопротивление); мощность, отдаваемая при этом, равна

$$P_{a\,max} = \mu S \frac{E_g^2}{8}. \qquad (7)$$

Зависимость коэф-та усиления K_e (относительно μ) и мощности P_a (относительно $P_{a\,max}$) от отношения внешней нагрузки к внутреннему сопротивлению $\left(\frac{Z_a}{R_i}\right)$ даны на фиг. 10. Для определения коэф-та усиления согласно формуле (1) эквивалентная схема фиг. 9 не пригодна, т. к. входное сопротивление У. в ней не отражено. Входное сопротивление Z_g определяется током сетки и действующей емкостью сетка—нить. Коэф. усиления по ф-ле (1):



Фиг. 10.

$$K = \sqrt{\frac{P_{вых.}}{P_{вх.}}} = \frac{E_a}{E_g}\sqrt{\frac{Z_g}{Z_a}} = K_e\sqrt{\frac{Z_g}{Z_a}} \qquad (8)$$

или, подставляя (5), имеем

$$K = \mu \frac{\sqrt{Z_g Z_a}}{|R_i+Z_a|}. \qquad (9)$$

В целях повышения величины входного сопротивления необходимо использовать электронную лампу на том участке ее характеристики, на к-ром нет тока сетки, т. е. в отрицательной области характеристики лампы. Емкостная составляющая Z_g для усилительной лампы средней величины соответствует $C = 100 \div 200$ *см*; активная составляющая при отрицательном смещении на сетку, бо́льшем 1 V,—порядка нескольких миллионов и даже десятков миллионов Ω; при нуле на сетку она равна $50 \div 100$ тыс. Ω. Основное практич. значение для расчетов имеет коэф. усиления по напряжению K_e.

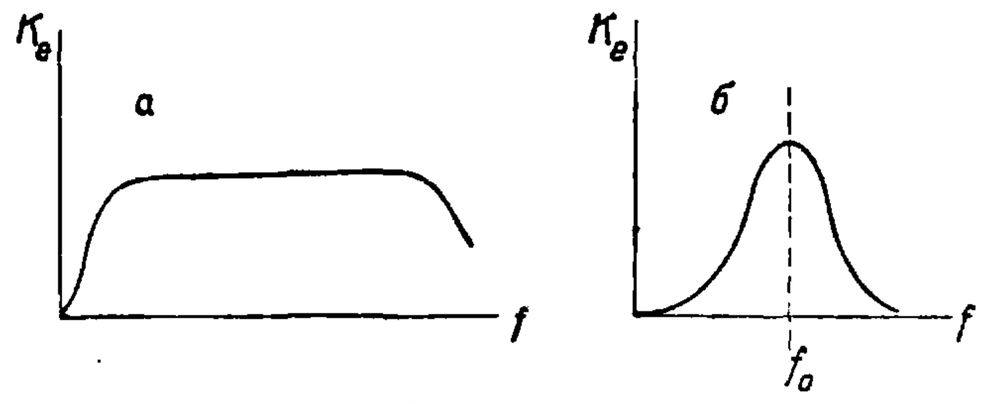
Кпд У. определяется сл. образом. Основным источником энергии, питающим У., является анодная батарея (или выпрямитель). Под кпд У. мы понимаем отношение отдаваемой У. мощности P_a к мощности, расходуемой батареей, P. Эта последняя равна постоянному току $I_=$, проходящему через лампу и батарею, помноженному на напряжение $E_=$ батареи. Мощность, отдаваемая У. во внешнюю цепь, равна

$$P_{a=} = \frac{I_a \cdot E_a}{2};$$

здесь I_a—амплитуда перемен. тока, проходящего через сопротивление нагрузки. Кпд равен

$$\eta = \frac{P_a}{P} = \frac{1}{2}\frac{I_a}{I_=}\frac{E_a}{E_=} = \frac{1}{2}\frac{I_a}{I_=}\xi. \qquad (10)$$

Величина ξ называется коэфициентом использования анодного напряжения, она в У. всегда меньше единицы. В У., усиливающих токи не синусоидальной формы (У. телефонного типа), имеющих назначением сохранить форму кривой тока, величина I_a д. б. меньше $I_=$. Кпд в таких У.—порядка 5—10% и лишь в последних каскадах—порядка 20%.

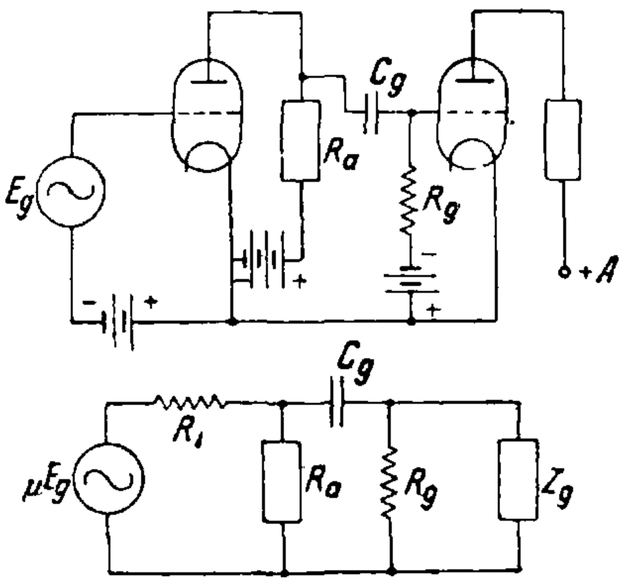


Фиг. 11.

Частотная характеристика апериодического и резонансного У. Кривую, характеризующую зависимость коэф-та усиления по напряжению от частоты, называют частотной характеристикой У. (на фиг. 11 кривая *а*—частотная характеристика апериодического и *б*—резонансного У.). В резонансных У. надо, чтобы коэф. усиления при всех частотах был возможно меньше по сравнению с коэф-том усиления в области той узкой полосы частот, которая подлежит усилению. Качество частотной характеристики резонансного У. определяется его *избирательностью* (см.). Наоборот, в апериодич. У. важнейшим требованием, предъявляемым к нему, является одинаковость величины коэф-та усиления на всем диапазоне усиливаемых частот. Допустимая норма отклонения коэф-та усиления в У. высокого качества не выше 2 децибел (0,23 непера, 25%).

Расчет частотной характеристики в апериодических У. Из ф-лы (6) и из кривой *I* на фиг. 10 видно, что постоянства

коэф-та усиления при разных частотах можно достичь двумя методами: 1) сохраняя величину сопротивления внешней нагрузки, одинаковой на всем диапазоне усиливаемых частот, или 2) подбирая сопротивление внешней нагрузки т. о., чтобы оно на всем диапазоне частот было значительно выше (2—3 раза) внутреннего сопротивления лампы R_i. В этом участке кривая I (фиг. 10) идет почти горизонтально; следовательно коэфициент усиления почти не меняется даже при резких изменениях величин внешней нагрузки. В промежуточных каскадах усиления входное сопротивление лампы последующего каскада является анодной нагрузкой лампы данного каскада (фиг. 12). Входное сопротивление лампы имеет всегда емкостную составляющую. Поэтому анодное сопротивление промежуточного каскада всегда зашунтировано емкостью порядка 100 — 200 *см*. К емкости входного сопротивления лампы прибавляется еще распределенная емкость анодной нагрузки (дроссель, проволочное сопротивление, вторичная обмотка трансформатора).



Фиг. 12.

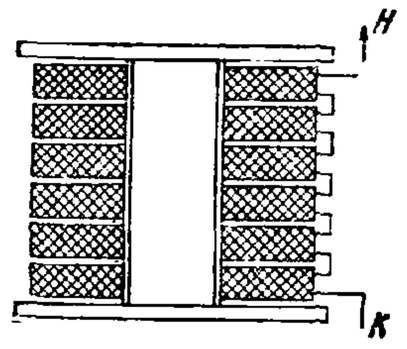
В реостатном и дроссельном У. всегда можно так подобрать сопротивление утечки или сопротивление в аноде лампы (в реостатном У.), чтобы активная проводимость анодной нагрузки была на всем диапазоне усиливаемых частот значительно выше емкостной и индуктивной составляющих проводимости. Для этого надо взять сопротивление достаточно малым. Напр.: полоса усиливаемых частот $\omega = 300 \div 100\,000$, емкость входного сопротивления $C = 180$ *см*, тогда при $\omega = 100\,000$ емкостная составляющая проводимости $\omega C = 0{,}2 \cdot 10^{-4}$. Если сопротивление утечки взять равным 10^4 Ω, то проводимость ее (10^{-4}) будет в 5 раз больше емкостной. Ясно, что при этом емкость мало будет влиять на величину анодного сопротивления. Т. о., шунтируя анодную нагрузку малыми активными сопротивлениями, всегда можно добиться относительного постоянства анодной нагрузки при разных частотах, а следовательно и коэф-та усиления. Но это ведет к общему снижению коэфициента усиления, что видно из ф-лы (5). Этот метод неэкономичен и к нему прибегают лишь в случае необходимости усиливать очень широкую полосу частот, напр. в У. для *телевидения* (см.). Обычно в основу расчета апериодич. У. низкой частоты кладут второй метод, т. е. делают сопротивление внешней нагрузки бóльшим, чем сопротивление лампы на всем диапазоне усиливаемых частот. Наибольшую трудность это представляет при низшем и при высшем пределе частот. В области низших частот сопротивление анодной нагрузки в У. с дроссельной или трансформаторной связью падает пропорционально уменьшению частоты, т. к. в первом приближении оно равно ωL (L—коэф. самоиндукции дросселя или первичной обмотки трансформатора). Очевидно величина L д. б. таковой, чтобы $\omega_н L$ было больше, чем R_i ($\omega_н$—низший предел усиливаемых частот). Чем больше L, тем меньше частотных искажений вносит У. в области низших частот. Необходимая величина L дросселя или трансформатора определяется из следующей формулы:

$$\frac{\omega_н L}{R_i} \geqslant \frac{R_ш}{R_i + R_ш} \frac{1}{\sqrt{M_н^2 - 1}}. \qquad (11)$$

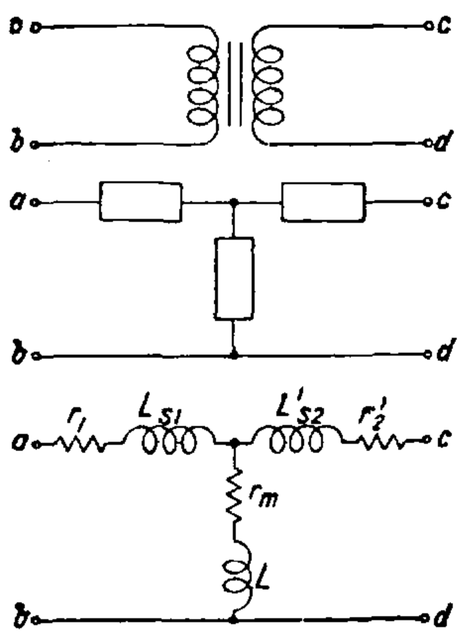
Здесь $R_ш$ — величина омич. сопротивления, шунтирующего дроссель или трансформатор, $M_н$—коэф. частотного искажения на низких частотах, $M_н = \frac{K_0}{K_н}$, где K_0—максимальн. коэф. усиления по напряжению, $K_н$—коэф. усиления в низшем пределе частот. Величины $\omega_н$, $M_н$ задаются условиями проектирования. В области высших частот сопротивление анодной нагрузки снижается благодаря емкости входного сопротивления лампы и распределенной емкости обмоток (дросселя, трансформатора, проволочного сопротивления). В целях уменьшения емкости делают обмотку дросселя, трансформатора или проволочного сопротивления секционированной (фиг. 13). Допустимая величина емкости, шунтирующей анодную нагрузку, C_0 для дроссельного и реостатного усилителя определяется из следующей ф-лы:

$$R_i \omega_в C_0 \leqslant \frac{R_ш + R_i}{R_ш} \sqrt{M_в - 1}. \qquad (12)$$

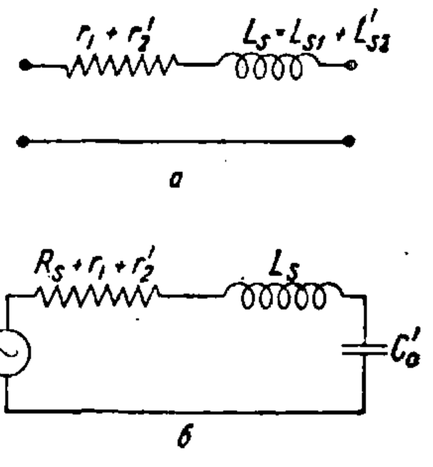
Здесь $\omega_в$—высший предел усиливаемых частот, $M_в$ — коэф. частотных искажений при высшей частоте, $R_ш$—омич. сопротивление шунтирующей анодной нагрузки (в дроссельном У. это сопротивление утечки R_g, фиг. 3); в реостатном У. это—сумма двух параллельных сопротивлений: сопротивления анода R_a и утечки R_g (фиг. 2). Несколько иначе обстоит дело в области высших частот с У., имеющими трансформаторную связь. Эквивалентная схема трансформатора представляет собою Т-образный четырехполюсник (фиг. 14), т. е. электрич. цепь, имеющую 2 конца входа и 2 конца выхода. Вертикальная ветвь состоит из самоиндукции первичной обмотки трансформатора и из сопротивления, эквивалентного потерям в железе. Горизонтальные ветви содержат самоиндукцию рассеяния и активное сопротивление обмоток трансформатора, причем во второй ветви надо брать приведенные к первичной цепи величины. В области более высоких частот сопротивления вертикальной ветви очень велики, поэтому ими можно пренебречь. Тогда эквивалентная схема трансформатора принимает форму двухполюсника (фиг. 15, *а*). В промежуточном каскаде трансформатор нагружен на емкость. Полная эквивалентная схема У. с трансформаторной связью изображена на фиг. 15, *б*. При определенной частоте ω_p наступает резонанс напряжения между емкостью C_0' и самоиндукцией $L_s = L_{s1} + L_{s2}'$



Фиг. 13.



Фиг. 14.



Фиг. 15.

(резонанс рассеяния); $C_0'=\frac{C_0}{n^2}$, где C_0—приведенная к первичной обмотке емкость, а $n=\frac{W_1}{W_2}$, где n—коэф. трансформации, W_1 и W_2—числа витков первичной и вторичной обмоток трансформатора. При этом величина внешней нагрузки становится очень малой: $Z_a=r_1+r_2$; тем не менее коэф. усиления по напряжению сильно возрастает, т. к. на клеммах емкости C_0'—большое переменное напряжение. Резонанс рассеяния наступает при частоте

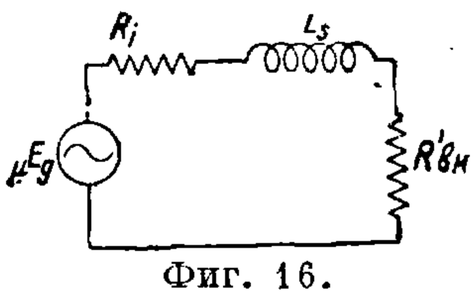
$$\omega_p=n\frac{1}{\sqrt{\sigma}\sqrt{C_0L_1}}. \qquad (13)$$

Здесь L_1—коэф. самоиндукции первичной обмотки; $\sigma=\frac{L_s}{L_1}$—коэф. рассеяния. Коэф. усиления по напряжению K_p при ω_p равен

$$K_p=\mu\frac{\sqrt{\sigma}}{R_i}\sqrt{\frac{L_1}{C_0}}; \qquad (14)$$

он не зависит от коэф-та трансформации, тогда как при всех других частотах K_p обратно пропорционален коэф-ту трансформации.

В последнем (выходном) каскаде усиления трансформатор нагружен на внешнюю нагрузку усилителя. Если эта нагрузка активная, то эквивалентная схема последнего каскада при более высоких частотах имеет вид, изображенный на фиг. 16. Чем выше частота, тем меньше будет коэф. усиления, т. к. тем бóльшая часть напряжения падет на сопротивление ωL_s. Чем меньше L_s, тем выше м. б. поднят предел усиливаемых частот. Низший предел тем ниже, чем больше величина L_1. Отсюда ясно, что ширина полосы усиливаемых частот тем больше, чем меньше коэф. рассеяния σ. Полоса усиливаемых частот для выходного каскада усиления определяется из следующей ф-лы:



Фиг. 16.

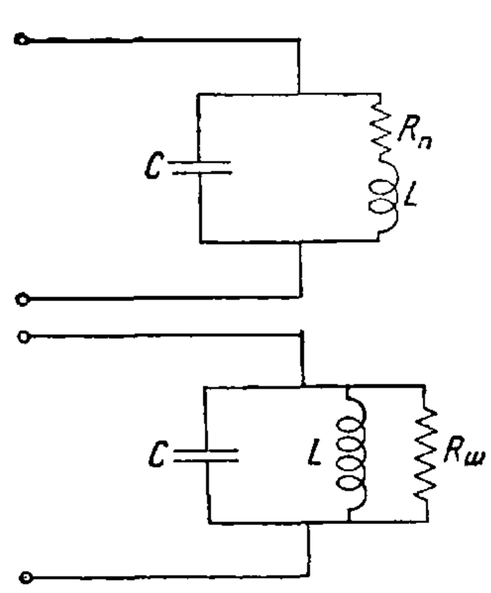
$$p=\frac{1}{\sigma}\frac{(R'_{вн}+R_i)^2}{R_iR'_{вн}}\sqrt{M^2-1}. \qquad (15)$$

Здесь $p=\frac{\omega_в}{\omega_н}$—отношение высшего предела частот к низшему; $R'_{вн}$—сопротивление внешней нагрузки, приведенное к первичной цепи трансформатора. Формулы (11), (12), (13), (14), (15) являются расчетными для определения параметров анодной нагрузки в апериодическом У. Наибольший коэф. усиления K_0 мы имеем обычно при средних частотах там, где емкостная C_0 и индуктивная L слагающие нагрузки компенсируют друг друга. Величина K_0 определяется из ф-лы:

$$K_0=\frac{\mu}{n}\frac{R_ш}{R_ш+R_i}. \qquad (16)$$

При дроссельной и реостатной связи $n=1$: $R_ш$ равно утечке при дроссельной связи, утечке и анодному сопротивлению (параллельно) при реостатной связи и приведенному к первичной цепи сопротивлению шунта вторичной обмотки при трансформаторной связи.

Расчет частотной характеристики резонансного У. В У. резонансного типа для получения наибольшей избирательности необходимо, в отличие от апериодич. У., величину сопротивления внешней нагрузки делать меньшей, чем R_i, т. е. работать на крутом участке кривой I (фиг. 10). Величина внешней нагрузки должна как можно резче меняться с частотой, т. е. логарифмич. декремент затухания системы д. б. как можно меньше. Если в апериодич. У. выгодно иметь лампы с малым R_i, т. к. $R_i<Z_a$, то в резонансном У. R_i лампы м. б. достаточно велико, так как $R_i>Z_a$. Величина Z_a при хорошем контуре с малыми потерями для частоты в 100 kHz обычно порядка 200—300 тыс. Ω, а для частоты в 1 MHz порядка $7\cdot10^4\cdot\Omega$, следовательно R_i лампы м. б. порядка нескольких сотен тысяч Ω. Если для усиления применяется лампа с экранированным анодом, имеющая большое R_i, то резонансный контур можно включать непосредственно в анод лампы (фиг. 4 и 5). В случае применения трехэлектродной лампы, имеющей R_i порядка 10—30 тыс. Ω, необходима трансформаторная связь (фиг. 6), благодаря к-рой приведенное к первичной цепи сопротивление контура м. б. значительно снижено. Индуктивное сопротивление ωL_1 первичной обмотки трансформатора должно быть значительно (7—10) меньше, чем R_i. Связь между первичной и вторичной обмоткой берется небольшая (коэф. связи порядка 0,3—0,5). Коэф. усиления по напряжению при отсутствии трансформатора (контур помещен непосредственно в аноде лампы, фиг. 4 и 5) определяется из сл. приближенной ф-лы:



Фиг. 17.

$$K_e=\mu\frac{R_ш}{R_i+R_ш}\frac{1}{\sqrt{1+4\pi^2\left(\frac{p}{\delta}\right)^2}}. \qquad (17)$$

Здесь $R_ш$—эквивалентное сопротивление всех потерь контура (потери в катушке, диэлектрич. потери и т. д.), включенное параллельно контуру, δ—логарифмич. коэф. затухания контура с учетом влияния внутреннего сопротивления лампы:

$$\delta=\pi\left(\frac{1}{R_ш}+\frac{1}{R_i}\right)\sqrt{\frac{L}{C}};$$

p—расстройка, $p=\frac{\omega_0-\omega}{\omega_0}$, ω_0—резонансная частота; ω—частота, при к-рой определяется усиление. В любом контуре сопротивление, включенное последовательно в контур, R_n мы можем заменить эквивалентным сопротивлением $R_ш$, включенным параллельно контуру (фиг. 17). Связь между ними для контуров с малыми потерями следующая:

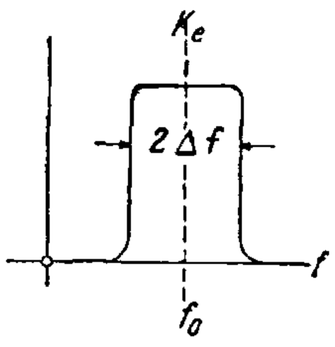
$$R_ш=\frac{(\omega L)^2}{R_n}.$$

Ф-ла (17) справедлива лишь для малых значений p (до 0,1). При резонансной частоте второй множитель ф-лы (17) превращается в единицу ($p=0$). Чем больше второй член под корнем, т. е. чем меньше δ, тем резче меняется коэф. усиления с частотой, тем избирательнее устройство. При наличии трансформаторной связи коэф. усиления по напряжению определяется из следующей ф-лы:

$$K_e=\sqrt{\frac{L_2}{C_2}}\frac{1}{\sqrt{R_iR_n}}\frac{A}{1+A^2}\frac{1}{\sqrt{1+\frac{4\pi^2p^2}{\delta_2^2(1+A^2)}}}; \qquad (18)$$

L_2, C_2, R_n—параметры контура; величина $A=\frac{\omega_0M}{\sqrt{R_iR_n}}$, где M—коэф. взаимоиндукции между первичной и вторичной обмоткой; ω_0—резонансная частота; A характеризует собой связь

контура с первичной цепью; $\delta_2 = \pi R_n \sqrt{\frac{C_2}{L_2}}$ — логарифмический декремент затухания контура. При резонансной частоте третий множитель превращается в единицу. Максимум усиления наступает при $A = 1$; это соответствует оптимальной связи $\omega_0 M = \sqrt{R_i R_n}$. Однако в целях повышения избирательности надо величину A брать меньше единицы, так как второй член под корнем в формуле (18) резко уменьшается с увеличением A. Итак с уменьшением связи (увеличением рассеяния) избирательность возрастает. Основная задача при проектировании и расчете резонансных усилителей заключается в расчете контуров (катушек) с наименьшими потерями. Для увеличения избирательности применяется несколько каскадов усиления. Если параметры всех каскадов одинаковы, то коэф. усиления и избирательность всего устройства равны коэф-ту усиления и избирательности одного каскада, возведенным в степень, равную числу каскадов. К У. высокой частоты в радиотелефонных и радиовещательных приемниках предъявляются не только требования высокой избирательности, но и равномерного усиления в полосе частот, равной 4—10 kHz. Идеальная форма частотной характеристики такого усилителя дана на фиг. 18. Получить такую форму кривой можно, применяя полосные фильтры в качестве анодной нагрузки. Наиболее простым фильтром являются два контура, связанных индуктивно или через емкость.



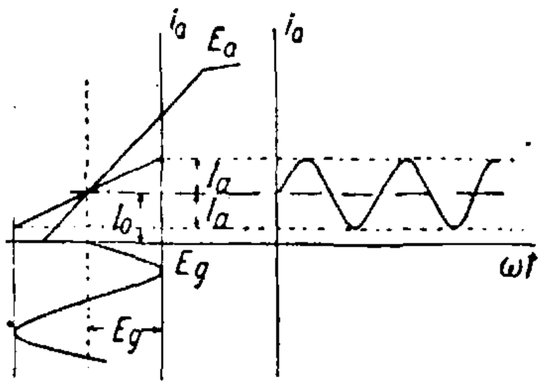
Фиг. 18.

Нелинейные искажения в У. У. телефонного и широковещательного типа не должны вносить искажение в форму кривой тока. Для того чтобы ток на выходе У. (в цепи внешней нагрузки) имел точно такую же форму, как подводимый к У. ток (напряжение), У. не должен иметь частотных, фазовых и нелинейных искажений. О частотных искажениях говорилось выше. Фазовые искажения заключаются в том, что сдвиг фаз в усилителе для различных гармонических, входящих в состав усиливаемого тока, различен; благодаря этому форма кривой тока на выходе, являющаяся суммой всех гармоник, может существенно отличаться от формы кривой на входе. Фазовые искажения тесно связаны с частотными искажениями. Если У. не дает частотных искажений, то фазовые искажения невелики. Т. к. человеческое ухо мало чувствительно к фазовым искажениям, то обычно при расчете телефонных У. фазовые искажения не принимаются во внимание. Качество воспроизведения речи или музыкальных тонов в сильной степени зависит от величины нелинейных искажений. Под этим видом искажения понимают искажение, обусловленное нелинейностью усилительной системы, отсутствием линейной зависимости (прямая пропорция) между напряжением (током) на входе и выходе У. Мерилом искажения этого рода является коэф. нелинейных искажений (клирфактор u), определяемый из следующего выражения:

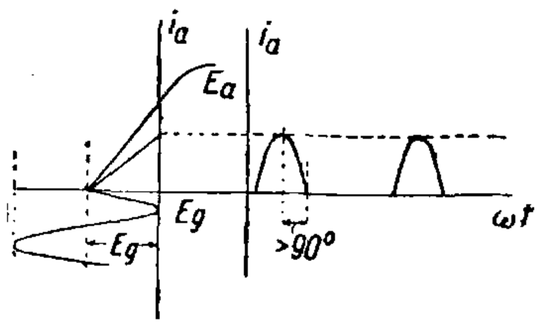
$$u = \frac{\sqrt{E_2^2 + E_3^2 + E_4^2 + \dots}}{E_1}. \qquad (19)$$

Здесь E_1—амплитуда основной частоты (первая гармоника) на выходе усилителя; $E_2, E_3, E_4, \dots$— амплитуды соответствующих высших гармоник на выходе. На вход У. при этом подается чисто синусоидальное переменное напряжение. При отсутствии нелинейных искажений $u = 0$. Точных норм для величины u не существует: от У. высокого качества требуется, чтобы его коэфициент нелинейных искажений не превышал нескольких процентов (3—5%).

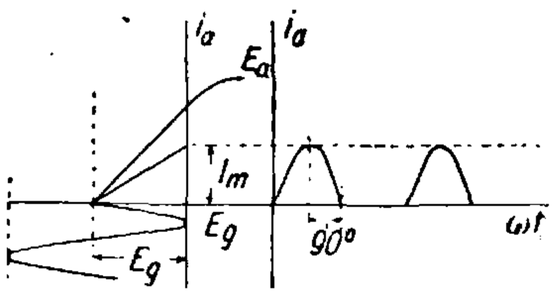
Режим ламп. На фиг. 19, 20 и 21 изображены три различных режима лампы: режим класса А (фиг. 19), режим класса В—угол отсечки равен 90° (фиг. 20) и режим класса С—угол отсечки меньше 90° (фиг. 21). Предельная величина кпд лампы в режиме класса А равна 50%, класса В—78%, класса С до 90% и выше. В мощных резонансных У. в передатчиках лампа работает в режиме класса В или С. Несмотря на несинусоидальность анодного тока напряжение на клеммах анодного контура синусоидально, т. к. для всех высших гармоник тока, кроме первой гармоники, сопротивление анодного контура ничтожно мало. (Это справедливо для случая, когда анодный контур настроен на частоту синусоидального напряжения, подаваемого на сетку лампы.) В апериодич. У., усиливающих источник энергии несинусоидальной формы, работать в режиме класса В или С нельзя, т. к. У. будет вносить значительные нелинейные искажения. Поэтому в апериодич. У. лампы во всех каскадах усиления, вплоть до мощного выходного каскада, должны работать в режиме класса А. Только применение двухтактной схемы (см. ниже) дает возможность использовать лампу в режиме класса В, не внося при этом нелинейных искажений. Дело в том, что форма кривой анодного тока при работе лампы в режиме класса



Фиг. 19.



Фиг. 20.



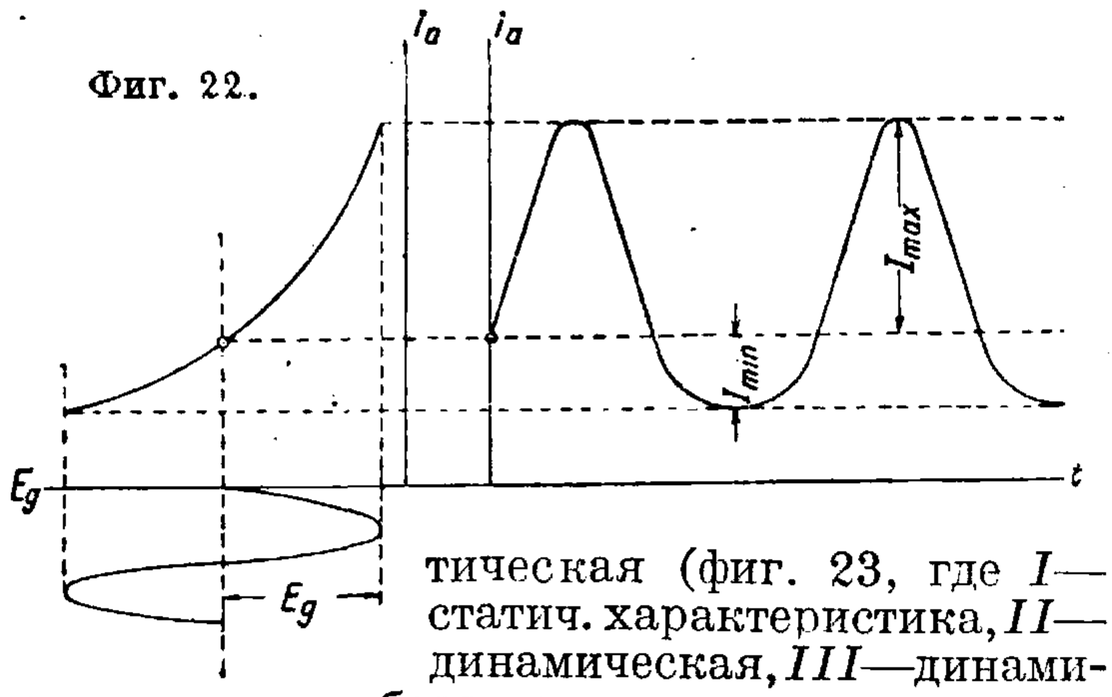
Фиг. 21.

В имеет лишь четные высшие гармоники (II, IV и т. д.). Все нечетные гармоники, начиная с III, равны нулю. В двухтактной же схеме четные гармоники тока создают на внешней нагрузке напряжение, равное нулю. Отсюда ясна возможность использования режима класса В при двухтактных схемах. Работая в режиме класса А, мы все же не освобождаемся целиком от нелинейных искажений, т. к. характеристика лампы не прямолинейна. Однако при правильном выборе режима лампы можно коэф. нелинейных искажений, вносимый лампой, свести до долей процента. Характеристика лампы имеет форму кривой, похожую на параболу; благодаря этому лампа дает ярко выраженную вторую гармонику, третья и высшие гармоники обычно невелики. Если учитывать только вторую гармонику, то коэфициент нелинейных искажений определяется крайне просто: он равен (фиг. 22)

$$u = \frac{1}{2} \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}. \qquad (20)$$

Сила тока в анодной цепи лампы меняется не по статической, а по динамич. характеристике, к-рая положе и более прямолинейна, чем ста-

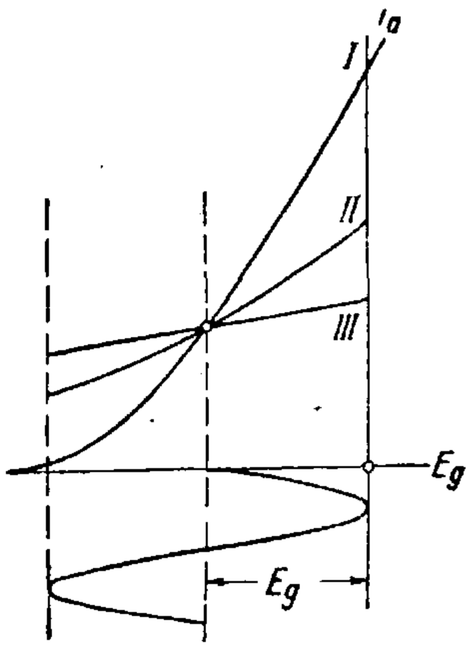
Фиг. 22.



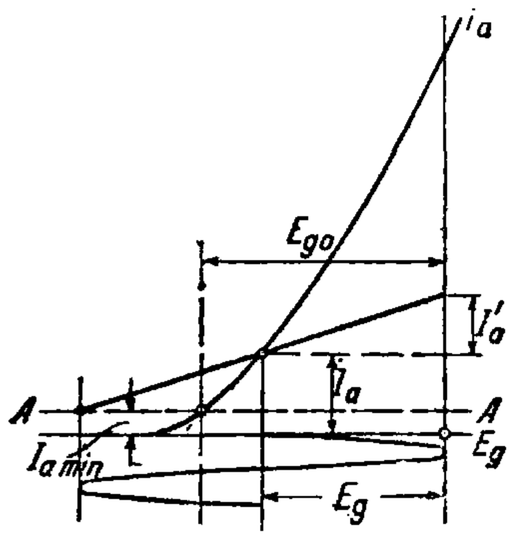
тическая (фиг. 23, где I—статич. характеристика, II—динамическая, III—динамическая при очень большом сопротивлении в аноде). Крутизна динамич. характеристики равна

$$S_d = S\frac{R_i}{R_i + R_a}. \qquad (21)$$

При весьма большой величине сопротивления анодной нагрузки R_a динамич. характеристика очень полога и коэф. нелинейных искажений крайне мал. При холостом ходе коэф. нелинейных искажений равен нулю, при коротком замыкании ($R_a = 0$) он имеет наибольшее значение. В тех каскадах усиления (выходной и предпоследний каскад), где лампа используется довольно широко (на сетку подается большое переменное напряжение), в целях уменьшения величины нелинейных искажений сопротивление анодной нагрузки д. б. по крайней мере в 3 раза больше внутреннего сопротивления лампы R_i. Выбор режима лампы в последнем и предпоследнем каскаде усиления производят следующим образом (фиг. 24). Выбираем



Фиг. 23.



Фиг. 24.

анодное напряжение E_a (для каждой лампы заводом устанавливается нормальное анодное напряжение), отрезаем горизонтальной линией AA наиболее криволинейную часть (нижний загиб) статич. характеристики. Т. к. необходимо работать в области отсутствия токов сетки, т. е. в отрицательной области, то динамическая характеристика должна целиком лежать в отрицательной области. Выбираем отношение $a = \frac{R'_a}{R_i}$ (R'_a—сопротивление внешней нагрузки, приведенное в первичной цепи трансформатора, $R'_a = R_a n^2$). Правильный подбор величины R'_a при заданной величине R_a (внешняя нагрузка) достигается соответствующим выбором коэфициента трансформации

$$n = \sqrt{\frac{R'_a}{R_a}}.$$

Это отношение a д. б. не меньше трех; особенно большим его делать невыгодно, т. к. при этом сильно снижается отдаваемая лампой мощность; поэтому его берут порядка 3—5. Амплитуда допустимого переменного напряжения на сетку равна

$$E_g = E_{g0}\frac{a+1}{a+2}. \qquad (22)$$

Зная E_g, строим динамич. характеристику (фиг. 24). Амплитуда анодного тока I'_a, напряжение на внешней нагрузке E_a, величина отдаваемой лампой мощности P_a определяются из следующих ф-л:

$$I'_a = E_{g0}\,S\,\frac{1}{a+2}, \qquad (23)$$

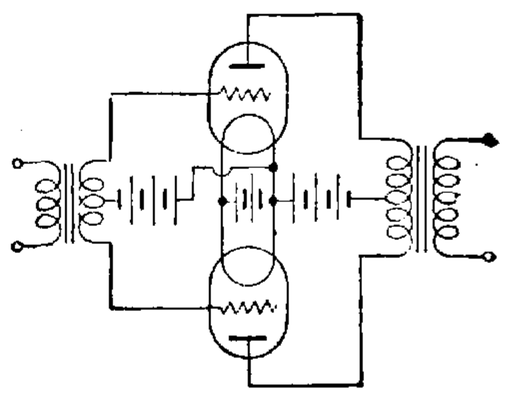
$$E_a = E_{g0}\,\mu\,\frac{a}{a+2}, \qquad (24)$$

$$P_a = \frac{E^2_{g0}}{2} S\mu\,\frac{a}{(a+2)^2}. \qquad (25)$$

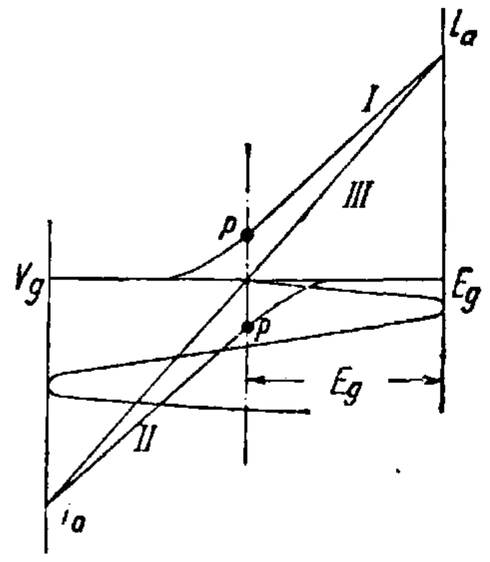
Постоянная слагающая анодного тока равна

$$I_a = I'_a + I_{a\,min}. \qquad (26)$$

Двухтактная схема (см. *Пуш-пулл*) имеет значительное преимущество перед обычными, особенно для выходных мощных каскадов усиления, поэтому широко применяется в

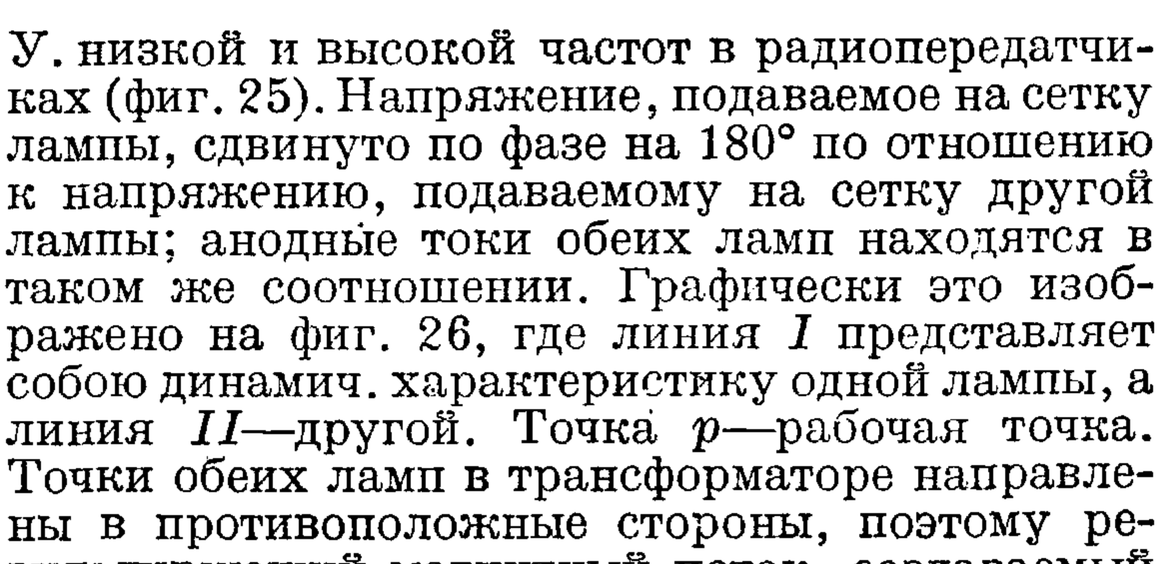


Фиг. 25.



Фиг. 26.

У. низкой и высокой частот в радиопередатчиках (фиг. 25). Напряжение, подаваемое на сетку лампы, сдвинуто по фазе на 180° по отношению к напряжению, подаваемому на сетку другой лампы; анодные токи обеих ламп находятся в таком же соотношении. Графически это изображено на фиг. 26, где линия I представляет собою динамич. характеристику одной лампы, а линия II—другой. Точка p—рабочая точка. Точки обеих ламп в трансформаторе направлены в противоположные стороны, поэтому результирующий магнитный поток, создаваемый токами обеих ламп, равен разности магнитных потоков. Так, во время отсутствия колебаний магнитный поток в железе трансформатора равен нулю, т. к. токи в обеих лампах одинаковы. Для получения величины тока, создающего результирующий магнитный поток, надо взять разность обоих токов; линия III (фиг. 26) соответствует разности токов обеих ламп. Отсюда



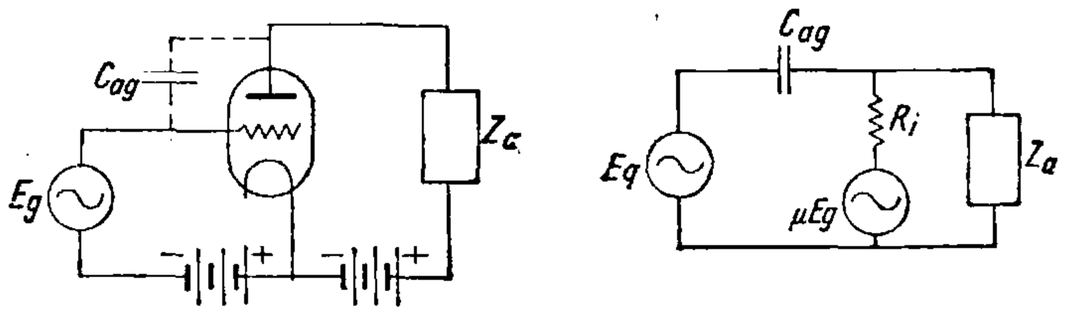
Фиг. 27.

видно, что даже при работе в области криволинейной части характеристики каждой лампы динамич. характеристика всего устройства почти прямолинейна. При двухтактной схеме уничтожаются все четные гармоники (2, 4, 6 и т. д.), это дает возможность работать в

режиме класса B с углом отсечки в 90° (фиг. 27). В этом режиме кпд лампы, равный

$$\eta = \frac{\pi}{4}\xi, \qquad (27)$$

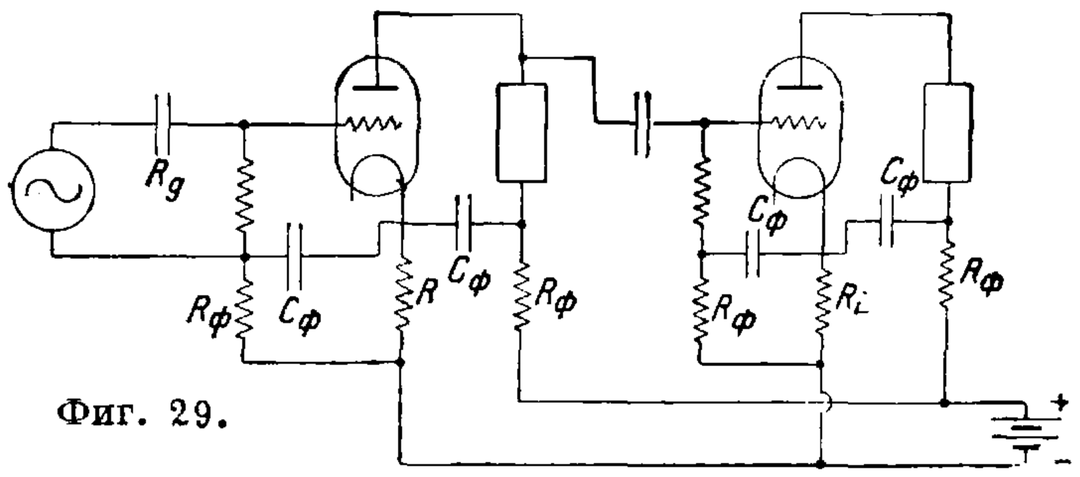
значительно выше, что дает возможность шире использовать лампу. Преимущества двухтактной схемы следующие: а) отсутствие четных



Фиг. 28.

гармоник, меньший коэф. нелинейных искажений; б) возможность работать с большим ξ; в) отсутствие постоянной слагающей магнитного потока в трансформаторе, что значительно уменьшает габариты трансформатора; г) возможность питать накал ламп переменным током.

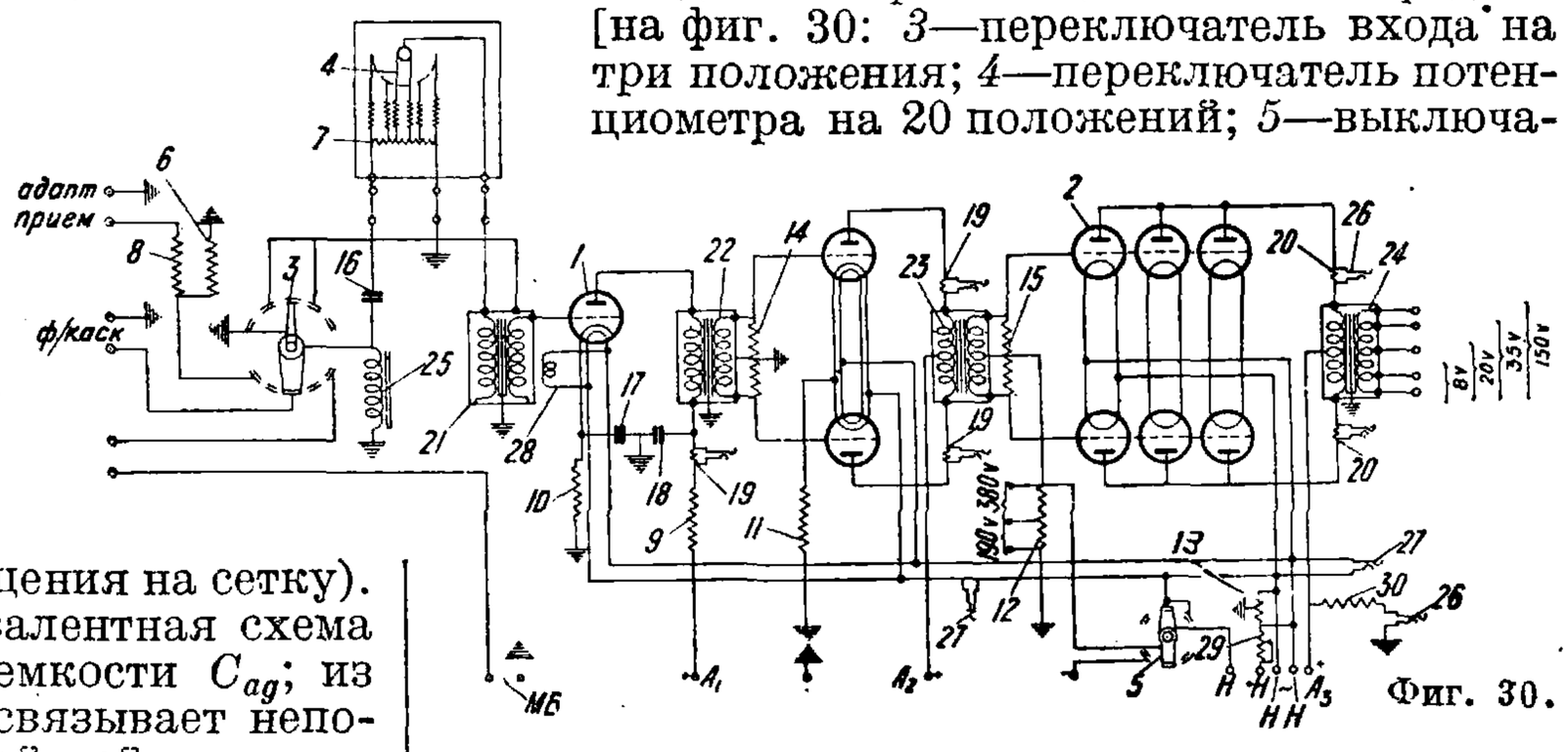
Самовозбуждение в У. Основных причин самопроизвольных колебаний в У. две: а) обратная связь через внутреннюю емкость между сеткой и анодом лампы и б) связь через общие источники питания (анодная батарея, батарея смещения на сетку). На фиг. 28 изображена эквивалентная схема лампы с учетом внутренней емкости C_{ag}; из схемы видно, что эта емкость связывает непосредственно цепь сетки, в к-рой действует ге-



Фиг. 29.

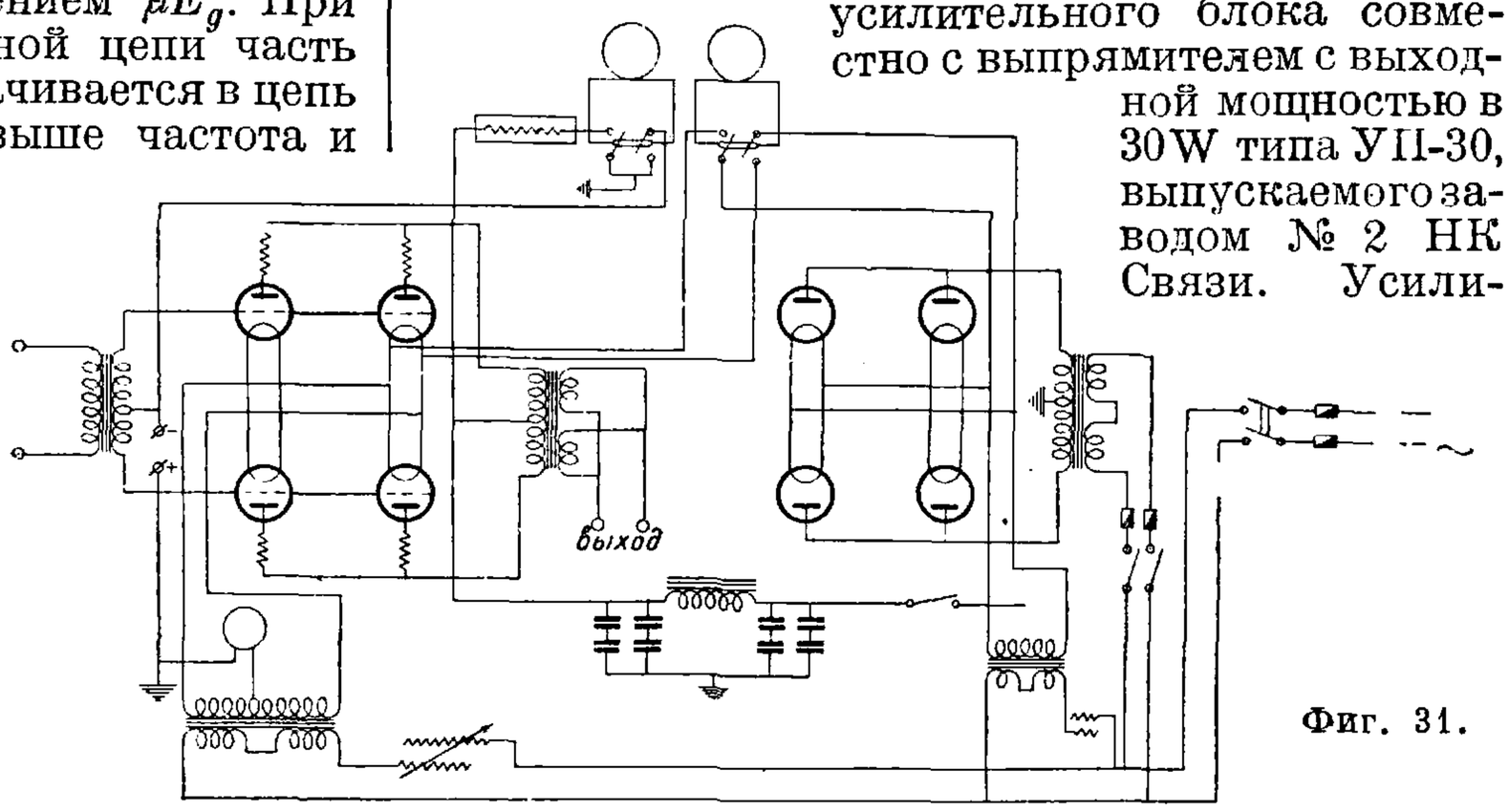
нератор E_g, с цепью анода, в к-рой действует генератор с большим напряжением μE_g. При индуктивной нагрузке в анодной цепи часть энергии из анодной цепи перекачивается в цепь сетки через емкость C_{ag}. Чем выше частота и чем больше коэф. усиления, тем больше опасность самовозбуждения через эту емкость. Устойчивое усиление на высоких частотах, особенно в области коротких волн, возможно лишь при помощи ламп с экранированным анодом, у к-рых емкость C_{ga} сведена до минимума (порядка 0,2—0,005 *см* вместо 5—10 *см* в обычной трехэлектродной лампе). Возможность возникновения самовозбуждения благодаря связям через источники питания одинакова для всех частот; чем шире полоса усиливаемых частот, тем эта возможность больше. В целях уничтожения связей между отдельными каскадами применяют фильтры (дроссель и конденсатор или сопротивление и конденсатор). На фиг. 29 изображены фильтры в цепях анода и сетки. Смещение на сетку подается за счет падения напряжения на сопротивлении R_i, через которое течет анодный ток лампы. Сопротивления R_ϕ и конденсаторы C_ϕ являются фильтрами.

Некоторые типы У. На фиг. 30 дана схема микрофонного У. с выходной мощностью в 8 W типа УП-8, *выпускаемого з-дом* № 2 НКСвязи. Анод и смещение У. питаются от выпрямителя, а накал—от переменного тока. В двух первых каскадах стоят лампы *1* с косвенным накалом типа СО-118. Последний каскад имеет 6 ламп *2* типа УО-104. У. имеет три каскада, два последних имеют двухтактную схему. На входе У. стоит регулятор усиления *4*—*7*. У. может работать от микрофона, от адаптера или от фотокаскада. У. имеет горизонтальную частотную характеристику в пределах от 60 Hz до 8 kHz, т. е. диапазон частот вполне достаточный для широковещательной передачи [на фиг. 30: *3*—переключатель входа на три положения; *4*—переключатель потенциометра на 20 положений; *5*—выключа-



Фиг. 30.

тель напряжений; *6*—сопротивление Каминского, 2 400 Ω; *7*—комбинированный потенциометр входа, 1 200 Ω; *8*—сопротивление Каминского, 10 000 Ω; *9*—*13*—проволочные сопротивления: 15 000, 1 330, 670, 570 (190 и 380), 20 Ω; *14*, *15*—сопротивление Каминского: 200 000 и 500 000 Ω; *16*—*18*—конденсаторы: 8,4 и 4 μF; *19*, *20*—шунты к прибору; *21*—*24*—трансформаторы: микрофонный, два междуламповых пуш-пуллных и выхода; *25*—дроссель; *26*, *27*—гнезда; *28*—компенсационная катушка; *29*—реостат накала; *30*—добавочное сопротивление к вольтметру]. На фиг. 31 дана схема мощного усилительного блока совместно с выпрямителем с выходной мощностью в 30 W типа УП-30, выпускаемого заводом № 2 НКСвязи. Усили-



Фиг. 31.

тель состоит из одного каскада, работающего на четырех лампах Г-5 по схеме *пуш-пулл* (см.).

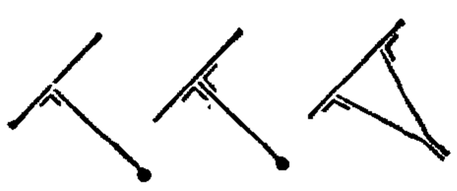
Лит.: Берг А., Основы радиотехнических расчетов, изд. 2, М., 1930; Марк М., Усилитель высокой и низкой частоты, расчет и проектирование, М.—Л., 1932; Форстман А. и Реппиш Г., Усилитель низкой частоты, теория и расчет, пер. с нем., Москва — Ленинград, 1930.

М. Марк.

УСКОРЕНИЕ, см. *Механика теоретическая*.
УСКОРЕНИЕ КОРИОЛИСА, см. *Ускорение*.
УСКОРЕНИЕ УГЛОВОЕ, см. *Ускорение*.

УСПОКОИТЕЛИ КАЧКИ, судовые установки, имеющие целью уменьшение амплитуды качки судна; целью успокоения качки для пассажирских судов является предоставление бо́льших удобств жизни пассажирам и личному составу (избавление от морской болезни), а для военных кораблей—обеспечение более надежного и длительного действия артиллерии, т. к. качающееся судно является плохой артиллерийской платформой, стрельба же крупной артиллерии при крене свыше 8° становится невозможной. Кроме того для всех без исключения судов успокоение качки уменьшает силы инерции и другие добавочные усилия, возникающие благодаря наличию качки. У. к. (стабилизаторы) должны отвечать следующим условиям, являющимся критериями пригодности различных систем их: а) возможно полнее умерять собственные колебания судна; б) возможно полнее умерять вынужденные колебания судна, особенно при условиях, близких к резонансу; в) по возможности увеличивать период колебания судна. В качестве У. к. в настоящее время применяют: боковые кили, успокоительные цистерны Фрама и жироскопические У. к. Имеется предложение использовать боковые горизонтальные рули, помещенные по бортам судна у его ц. т. Кроме того в прежнее время были предложены тяжелые маятники и перемещающиеся грузы.

Боковые кили являются наиболее простыми приспособлениями, находящими применение на коммерч. судах. Они представляют собой скрепленные угольниками с обшивкой судна полосы бульбовой или листовой стали и устанавливаются у скулы с каждого борта судна нормально к наружной обшивке. Высота их достигает 1,0 *м*, а протяженность по длине—до половины длины судна в средней его части. На фиг. 1 приведены различные конструкции боковых килей. При достаточной высоте этих килей получается значительное затухание собственных колебаний судна, особенно при больших углах наклонения. При этом незначительно увеличивается период колебаний. Вынужденные колебания умеряются лишь вблизи явления резонанса. При незначительных наклонениях действие боковых килей не сказывается. У судов с полным образованием мидель-шпангоута (близким к прямоугольнику) наличие боковых килей становится излишним. При больших скоростях судна боковые кили в значительной мере увеличивают сопротивление воды движению судна, поэтому на военных кораблях применения не имеют.

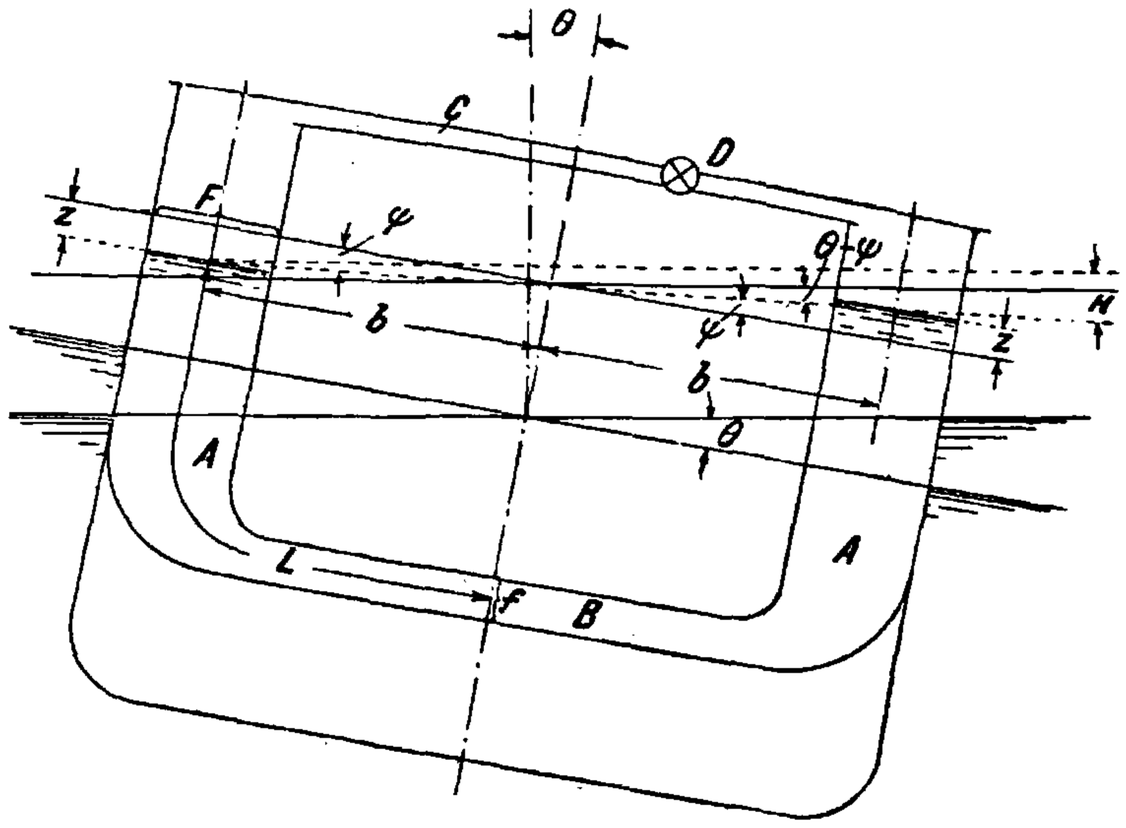


Фиг. 1.

Успокоительные цистерны Фрама представляют собою 2 боковых сосуда AA (фиг. 2), соединенных внизу водяным соединительным каналом B, а наверху — воздушным каналом C, снабженным вентилем D. Часть боковых сосудов заполнена водою. Дифференциальное ур-ие движения судна (см. также *Теория корабля*), учитывая и перемещение слоя воды высотою z из одного бокового сосуда в другой, будет

$$K\frac{d^2\theta}{dt^2}+P(\varrho_0-a)\theta-2F\gamma b^2\psi=0, \qquad (1)$$

где K—момент инерции массы корабля относительно продольной оси, проходящей через его ц. т., θ—угол крена судна, P—вес судна, (ϱ_0-a)—метацентрич. высота, F—площадь поперечного сечения бокового сосуда, b—отстояние средней линии воды в сосуде от диаметральной плоскости судна, $z=b\psi$—изменение уровня воды в сосуде относительно среднего уровня в нем при прямом положении судна, ψ—угол наклонения уровня воды в боковом сосуде, γ—вес единицы объема воды. В ур-ии движения судна моментами, сопротивляющимися наклонению судна, являются: момент силы инерции судна, равный $K\frac{d^2\theta}{dt^2}$ и восстанавливающий момент устойчивости $P(\varrho-a)\theta$, момент же объема жидкости, перелившегося из одной цистерны в другую, равный произведению веса этого объема $\gamma Fz=\gamma Fb\psi$ на плечо $2b$, т. е. $2F\gamma b^2\psi$, способствует дальнейшему крену судна и потому вводится в ур-ие со знаком минус. Ур-ие движения воды в водяном соединительном канале, считая его длину l от диаметральной плоскости при постоянном поперечном сечении f и неподвижном судне, выразится ур-ием



Фиг. 2.

$$\frac{fl\gamma}{g}\frac{d^2z}{dt^2}+f\gamma z=0,$$

где первая часть выражает собой силу инерции столба жидкости в канале, а вторая—силу давления, обусловленную разностью уровней в нем. Помножая на $\frac{g}{fl\gamma}$, получаем

$$\frac{d^2z}{dt^2}+\frac{g}{l}z=0,$$

где g—ускорение земного притяжения. Последнее ур-ие представляет собою колебание простого маятника длиной l с периодом $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$. При переменном сечении соединительного канала $f=\varphi(l)$, как показано на фиг. 3, вместо l необходимо подставить приведенную длину

$$l_1=\int_0^L\frac{F}{f}\,dl,$$

где L—полудлина средней линии канала и бокового сосуда, считая от диаметральной плоскости до нормального уровня воды. Но $z=b\psi$ и колебания воды происходят при мгновенной высоте давления $H=2b(\theta-\psi)$. Учитывая сопротивление воды и считая его пропорциональным первой степени угловой скорости, получим вместо предыдущего ур-ия

$$\frac{d^2\psi}{dt^2}+h\frac{d\psi}{dt}-\frac{g}{l}(\theta-\psi)=0, \qquad (2)$$

где h—коэф. пропорциональности сопротивления воды. Момент инерции массы судна $K = \frac{P}{g} r^2$, где r—радиус инерции. Исключая ψ из ур-ий (1) и (2) и вводя для сокращения письма обозначения

$$m^2 = \frac{g(\varrho_0 - a)}{r^2}, \quad k^2 = \frac{g}{l},$$

получим, отбрасывая, в виду его малости, член $\frac{g^2 F \gamma b^2}{r^2 P l} \theta$, диференциальное ур-ие вида:

$$\frac{d^4\theta}{dt^4} + h \frac{d^3\theta}{dt^3} + (m^2 - k^2) \frac{d^2\theta}{dt^2} + \\ + hm^2 \frac{d\theta}{dt} - k^2 m^2 \theta = 0. \qquad (3)$$

Общим интегралом этого ур-ия будет

$$\theta = e^{-p_1 t} (C_1 \cos q_1 t + C_2 \sin q_1 t) + \\ + e^{-p_2 t} (C_3 \cos q_2 t + C_4 \sin q_2 t). \qquad (4)$$

Из него видно, что движение судна состоит из наложения двух затухающих колебаний с периодами

$$T_1 = \frac{2\pi}{q_1} \quad \text{и} \quad T_2 = \frac{2\pi}{q_2}.$$

Затухание колебаний определяется множителями $e^{-p_1 t}$ и $e^{-p_2 t}$. Амплитуда колебаний зависит от величины коэф-та сопротивления h, к-рую можно изменять помощью клапана D, поставленного на воздушном соединительном канале. В пределе, практически неосуществимом, $p_1 = p_2 = 0$ и колебания состоят из двух гармонич. движений, из к-рых одно имеет заметно больший период. При этом разность фаз колебаний судна и воды в цистерне равна 0. При закрытом клапане вода в цистерне не оказывает на затухание колебаний судна никакого динамич. воздействия и является обычным водяным балластом. Период колебаний при этом равен периоду собственных колебаний судна. Между этими двумя крайними случаями, при к-рых не происходит никаких затуханий качки, находится максимальное умерение. Последнее определяется опытным путем, находя надлежащую величину коэф-та h соответственным открытием клапана D. Расчеты и опыт показали, что при весе воды в цистерне ок. 1,5% от водоизмещения происходит весьма энергичное затухание собственных колебаний судна, т. ч. достаточно 2—3 полных колебаний, чтобы погасить значительную начальную амплитуду качки. Исследование показывает также, что водяной канал выгоднее помещать выше оси вращения судна (выше ц. т.). Далее, хорошее умерение качки происходит, если размеры боковых сосудов и водного канала выбраны так, что период собственных колебаний воды в цистерне равен периоду собственных колебаний судна. Чтобы установить умеряющее действие цистерны на волнение, необходимо в правую часть ур-ия (1) вместо 0 подставить возмущающее действие волны (к-рую для простоты считаем имеющей синусоидальную форму):

$$P(\varrho_0 - a) a_0 = P(\varrho_0 - a) \frac{2\pi r_0}{\lambda} \sin nt,$$

где a_0—угол волнового склона, r_0—полувысота волны, λ—длина и n—частота волны. После исключения ψ в правой части ур-ия (3) получим вместо 0 добавочные члены

$$Q \sin nt + R \cos nt,$$

где

$$Q = \frac{2\pi r_0}{\lambda} m^2 (k^2 - n^2); \quad R = \frac{2\pi r_0}{\lambda} hm^2 n.$$

При решении подобного ур-ия к ур-ию (4), члены к-рого при затухании быстро исчезают, добавятся члены вынужденных колебаний

$$A \sin nt + B \cos nt.$$

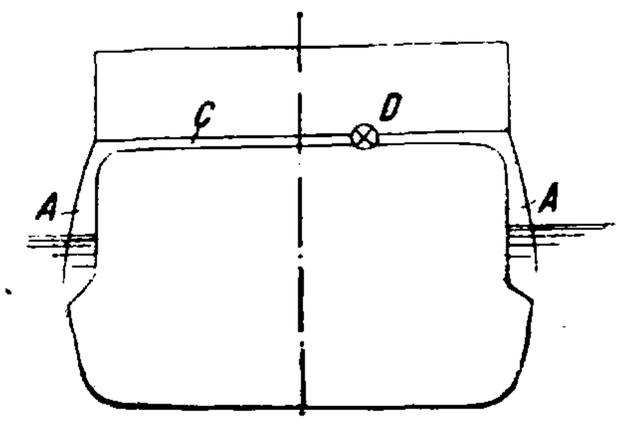
Вводя условное обозначение

$$m_1^2 = \frac{2\gamma F b^2}{K},$$

получим максимальную амплитуду колебаний

$$\varepsilon = \sqrt{A^2 + B^2} = \\ = \sqrt{\frac{Q^2 + R^2}{[n^4 - (k^2 + m^2) n^2 + k^2 (m^2 - m_1^2)]^2 + [hn(n^2 - m^2)]^2}}. \qquad (5)$$

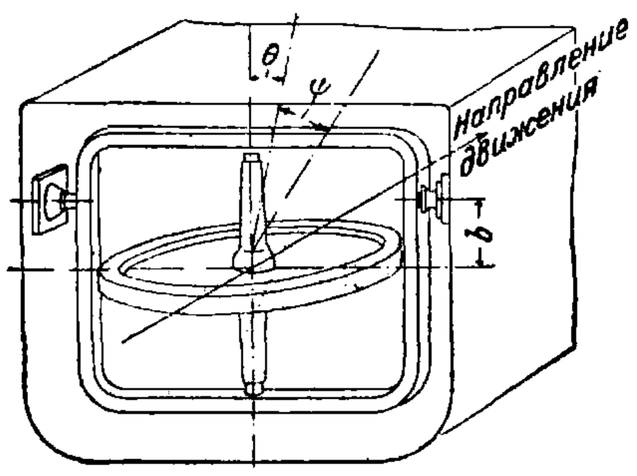
Из ур-ия (5) видно, что при $k^2 = n^2$, т. е. при равенстве периодов волны и воды в цистерне, и при $h = 0$ вынужденные колебания исчезают. Но $h \neq 0$, поэтому при $k^2 = n^2$ амплитуда вынужденных колебаний весьма мала. Это явление в общей теории колебания двойного маятника известно под именем двойного резонанса. При этом фаза колебаний воды в цистерне отстает от фазы колебаний волн на 180°, т. е. действие воды в цистерне на судно противоположно действию волн. Фрам при расчете и конструировании цистерны принял, что период собственных колебаний судна равен периоду колебаний воды в цистерне ($k^2 = m^2$), т. к. явление резонанса при качке, а следовательно наибольшие колебания судна будут при совпадении периодов судна и волны, т. е. при равенстве периодов колебания воды в цистерне и волны ($k^2 = n^2$), иначе говоря, при двойном резонансе. Как опыт показал, в этом случае при действии цистерн происходит наиболее энергичное умерение качки. При $k^2 = m^2$ происходит также умерение качки, но менее энергичное. В последнее время применяются цистерны с забортным сообщением (фиг. 3), в которых роль соединительного водяного канала играет забортная вода. Соединение цистерн с забортной водой производится помощью кингстонов, сечение которых определяется надлежащим путем. Отметим, что для умерения качки впервые воду в открытой цистерне применил Ф. Уаттс.



Фиг. 3.

Жироскопический У. к. впервые был предложен Шликом. Чтобы понять его действие, припомним основное свойство жироскопа (см. также *Волчок*). Если происходит изменение положения оси вращения жироскопа с угловой скоростью ω_1, то в плоскости, перпендикулярной плоскости поворота системы, возникает момент $M = I\omega\omega_1$, где I—момент инерции массы жироскопа, ω—его угловая скорость вращения. Если внешними усилиями невозможно осуществить прецессии ($\omega_1 = 0$), то в перпендикулярной плоскости не возникает никакого момента, т. ч. изменение положения оси жироскопа в этой плоскости не встречает никакого сопротивления. Если жироскоп поместить так, чтобы его ось была горизонтальна и прочно присоединялась к корпусу судна, то прецессия будет происходить около вертикальной оси. При вертикально расположенной оси, прочно закрепленной с корпусом, прецессия будет происходить около продольной оси судна. В первом случае вследствие большой величины бокового сопротивления воды, а во втором—

из-за большой величины продольной метацентрич. высоты угловая скорость прецессии ω_1 будет весьма мала, вследствие чего момент жироскопа $M = I\omega\omega_1$, противящийся крену судна, будет также мал, и действие жироскопа на умерение качки будет почти незаметным. Следовательно давать жироскопу лишь одну степень свободы (вращение вокруг его оси) нерационально. Шлик в своем стабилизаторе дает жироскопу две степени свободы—вращение волчка вокруг его вертикальной оси и вращение всей системы в диаметральной плоскости судна. Для этого жироскоп заключается в раму, к-рая устанавливается в плоскости шпангоута и своими цапфами лежит в неподвижных подшипниках (фиг. 4). При таком устройстве килевая качка не влияет на жироскоп, а при боковой качке он увлекается судном и вместе с последним кренится на борт. Если при этом жироскоп вращается, то он окажет сопротивление крену судна. В то же время вследствие прецессии жироскоп с рамой наклонится в продольном направлении. Эту прецессию жироскоп может произвести беспрепятственно, не увлекая за собой судна, т. ч. будет умерять лишь боковую качку. Пусть судно накренилось на угол θ, а жироскоп отклонился в продольном направлении на угол ψ, тогда $\omega_1 = \frac{d\psi}{dt}$, а ур-ие движения судна будет



Фиг. 4.

$$K\frac{d^2\theta}{dt^2} + I\omega\frac{d\psi}{dt} + P(\varrho_0 - a)\theta = 0. \qquad (1')$$

Пусть p—вес системы жироскопа, I_1—момент инерции ее массы относительно оси качания, b — отстояние ее ц. т. от горизонтальной оси качания системы, h—коэф. сопротивления вращению системы жироскопа (включая и тормоза), тогда ур-ие движения жироскопа будет

$$I_1\frac{d^2\psi}{dt^2} + I\omega\frac{d\psi}{dt} + h\frac{d\psi}{dt} + pb\psi = 0. \qquad (2')$$

Эти ур-ия полностью соответствуют ур-иям (1) и (2), приведенным для цистерны Фрама, т. ч. можно полностью повторить все рассуждения и выводы, приведенные выше. Т. о. и в этом случае имеет место явление двойного резонанса между импульсами волн и движением жироскопа. Как вычисления, так и опыт показывают, что при сравнительно небольшом весе жироскопа получается энергичное умерение качки. Дальнейшее усовершенствование жироскопа Шлика сделано Сперри (активные жироскопы). Последний осуществил не только умерение качки, вызванное импульсами волн, но и остроумным введением вспомогательного жироскопа (пилота) достиг предупреждения качки. Точно так же усовершенствование в жироскопе Шлика внес Фье, применив два связанных между собою жироскопа, имеющих противоположные вращения и прецессию. Особое внимание Фье обратил на торможение прецессии, которое используется непосредственно на умерение качки. Им применено гидравлич. торможение. При наличии жироскопа-успокоителя сист. Сперри и Фье качки практически почти не существует. Жироскопы-успокоители на коммерческих судах почти не находят применения из-за дороговизны, нежности и сложности установки. Они установлены на нескольких яхтах миллиардеров и на судах Гамбургско-Американской линии «Европа» и «Бремен», совершивших первое плавание в 1930 г. На военных кораблях они нашли большое применение.

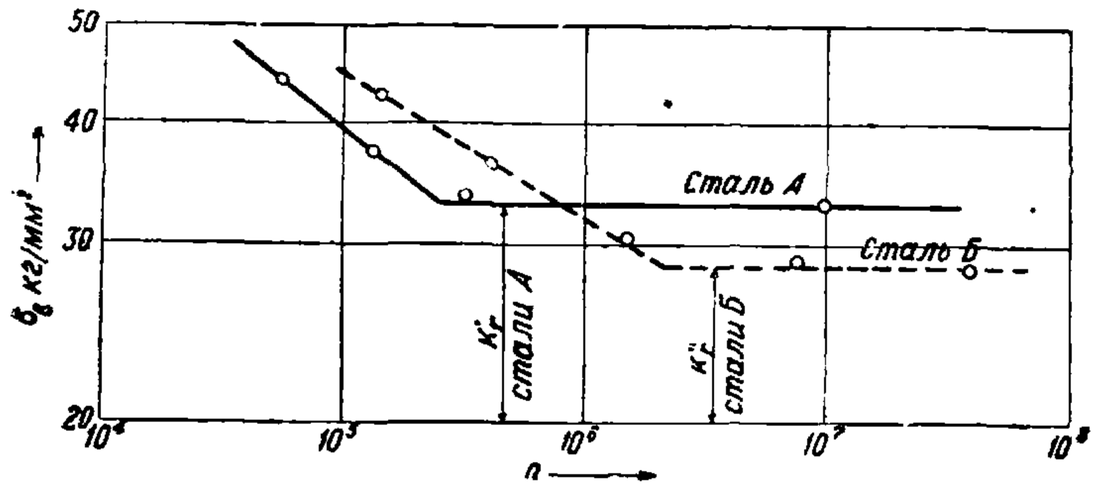
Инж. Дакремон в 1927 г. предложил для умерения качки применить два горизонтальных руля, установленных по бортам судна у его ц. т. Углы отклонения рулей д. б. противоположны, причем их отклонение должно происходить одновременно. Теоретически умерение качки должно происходить достаточно энергично. Практически это предложение пока не осуществлено. В 80-х годах Торникрофт на миноносце установил для умерения качки груз, перемещаемый поперек судна паровой машиной. Впуск и выпуск пара в машину производился аппаратом, контролируемым маятником очень большого периода. Для миноносца прибор оказался удачным, но для больших судов он получается весьма громоздким. Дальнейшего применения прибор не получил. Кремье предложил приборы, основанные на идее перевода кинетич. энергии качки судна в тепловую при помощи маятников, помещенных в вязкую жидкость. Препятствием к применению подобных приборов является громадное количество тепла, выделяемого от трения маятника в жидкости.

Лит.: Frahm H., Успокоительные систерны и их удачное применение на судах, пер. с англ., П., 1914; Watts P., On a Method of Reducing the Rolling of Ships at Sea, «Trans. of the Inst. of Naval Architects», 1883; Watts P., The Use of Waterchambers for Reducing the Rolling of Ships at Sea, ibid..1885; Frahm H., Neuartige Schlingertanks zur Abdämpfung des Schiffsrollbewegungen, «Jahrb. d. Schiffb. Ges.», 1911; Schlick, Der Schiffskreisel, ibid., B., 1909; Sperry, The Gyroscope for Marine Purposes, «Engineering», L., 1911; Sperry, Active Type of Stabilizing Gyro, ibid., 1913; Sperry, Recent Progress with the Active Type of Gyro-stabiliser for Ships, «Trans. of the Soc. of Naval Architects and Engineers», N. Y., 1915; Dacremont, La stabilisation des navires, «Bull. techn. du Bureau Veritas», P., 1927, *6*; Fieux, Exposé synthétique et resultats d'essais d'un appareil anti-roulis du type passive a gyroscops jumelés, ibid., 1928, *7*; Horn, Theorie des Schiffes, Handbuch d. physikalischen u. technischen Mechanik, hrsg. v. F. Auerbach u. W. Hort, B. 5, Lief. 2, Lpz., 1928.

С. Яковлев.

УСТАЛОСТЬ МЕТАЛЛОВ, явление изменения механических свойств материала под влиянием переменных нагрузок и вибраций. Развитие авто- и авиастроения, а также тенденция современного машиностроения в сторону быстроходных моторов, электродвигателей, турбин и пр. требуют знания свойств металлов при переменном действии (до сотен миллионов циклов) нагрузки. Вследствие этого вопросами У. м. занимаются виднейшие металловеды современности. Еще Велер (Wöhler) показал, что сталь, испытывающая переменные напряжения (динамические воздействия сил) в быстроходных машинах, разрушается при значительно меньшем напряжении, чем сталь, подвергаемая только статич. действию сил. Баушингер (Bauschinger) установил, что у стали существует т. н. предел усталости, т. е. такое напряжение, при котором сталь практически выдерживает не менее 10 000 000 изменений напряжений. Как видно из логарифмич. диаграммы зависимости разрушающего напряжения σ_b от числа изменений нагрузки образца или, как принято это называть, от числа циклов n (фиг. 1), кривая при приближении к миллиону изменений нагрузки (циклов) становится параллельной горизонтальной оси, что указывает на достижение предела усталости K_r. Кроме того опыты показали, что величина этого предела усталости различна для разных сталей и

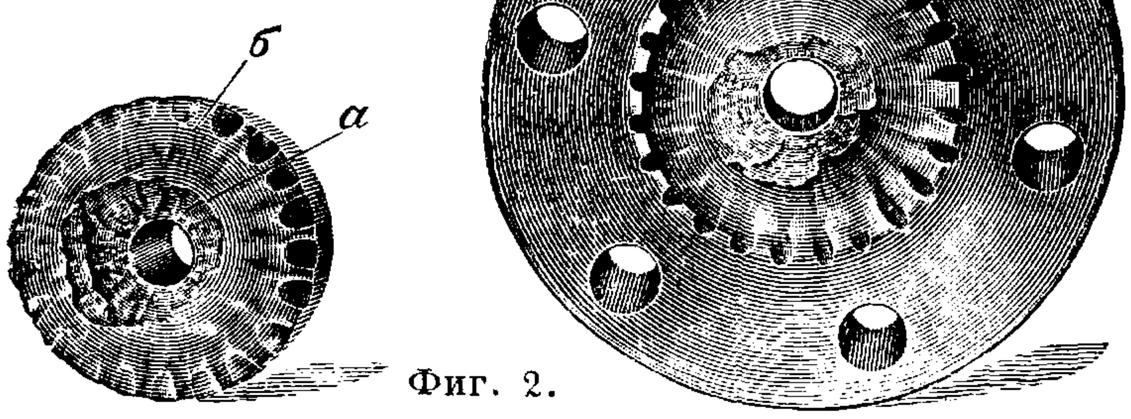
что даже у двух сталей А и Б (фиг. 1) с одинаковым статич. временным сопротивлением предел усталости м. б. различным—сталь А несмотря на худшие механич. свойства при меньшем числе изменений нагрузки обладает более высоким пределом усталости K'_r, нежели сталь Б—K''_r. Когда какая-нибудь деталь в службе ломается вследствие У. м., излом ее (фиг. 2) обычно состоит из двух характерных частей:



Фиг. 1.

1) крупнокристаллической *а* в середине, получившейся в момент окончательного разрушения образца, и 2) мелкозернистой *б*, получившейся вследствие трения первоначальных трещин и надрывов при многочисленных изменениях напряжений. При этом никакой видимой остаточной деформации в виде изгиба или сужения поперечного сечения, как это бывает в случае разрушения при статич. нагрузке, при усталости не наблюдается.

Причиной У. м. являются трещины, которые по мнению Розенгейна возникают благодаря сосредоточениям местных напряжений в точках исчерпания пластичности металла. Первая появившаяся, хотя бы микроскопич., трещина является надрезом с острым входящим углом, в вер-

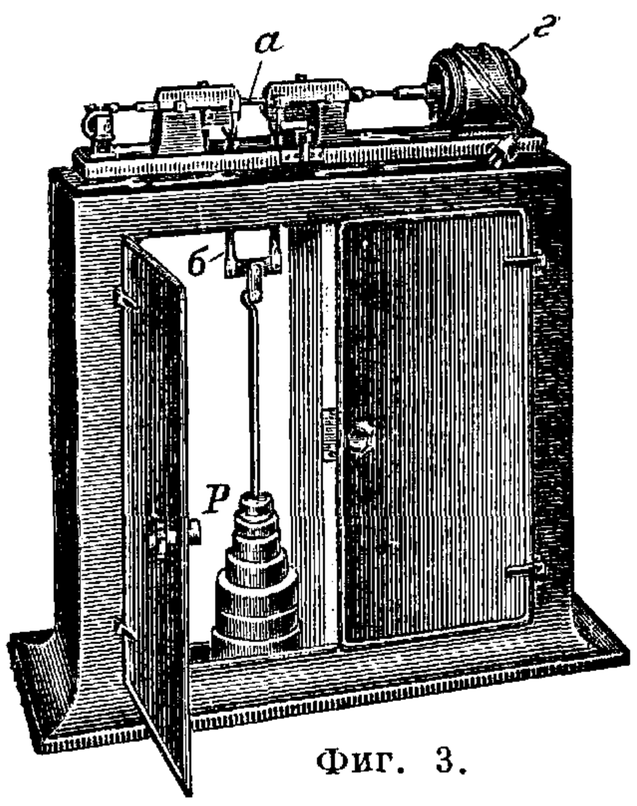


Фиг. 2.

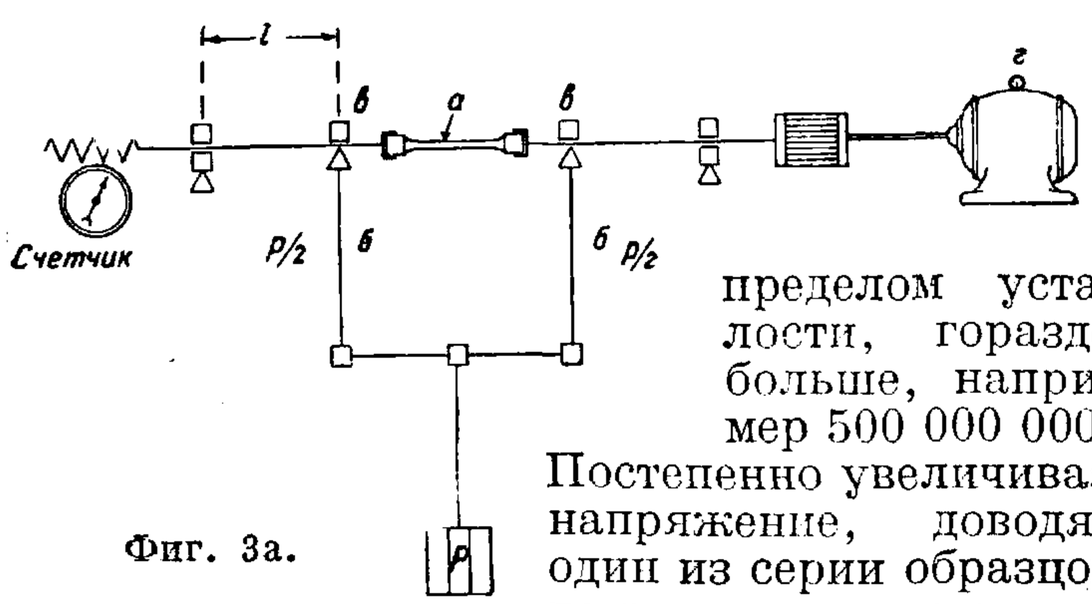
шине которого происходит значительное увеличение местных напряжений (см. *Сопротивление материалов*), в результате чего трещина распространяется в ширину и глубину. Переменные деформации оставшейся целой части сечения вызывают трение одной стенки трещины о другую, вследствие чего поверхность излома сглаживается и получает характер мелкозернистости; после того как сечение достаточно ослаблено трещинами, остальная уцелевшая часть сечения ломается сразу, давая характерный, ясно выраженный кристаллический излом. Если прервать испытание на усталость после нескольких миллионов изменений напряжений (циклов), то металл несмотря на отсутствие остаточной деформации является значительно упроченным и более твердым. Это явление подобно наклепу после холодной обработки или после перехода предела упругости при статических испытаниях. Если же образец стали подвергнуть нескольким тысячам циклов напряжений выше предела усталости, то он окончательно портится и в дальнейшем не выдерживает большого числа циклов даже при напряжениях более низких, чем его предел усталости. Кроме того часто бывает, что несмотря на низкие расчетные напряжения действительные напряжения вследствие резких переходов, острых углов, шпоночных канавок, нарезок и т. д. значительно превышают расчетные. Поэтому конструкции, подвергающиеся переменному действию напряжений, не должны иметь резких переходов, острых углов, а также и местных уменьшений сечений. Начало образования трещин обычно лежит в месте сосредоточения напряжений: гл. обр. во входящих острых углах, хотя бы весьма малой величины, напр. в форме царапин или следов инструмента, оставшихся после обработки; поэтому создание гладких шлифованных поверхностей без мелких царапин и трещин повышает сопротивляемость усталости. Загрязненный и пузыристый металл и внутренние дефекты, подобные трещинам, также сильно понижают предел усталости. Применением чистого металла и введением специальных новых сплавов и сложных сталей удалось значительно повысить этот предел. Вообще однородные тонкие сорбитные структуры обладают очень высоким пределом усталости, тогда как у перлитно-ферритных агрегатов, особенно с грубым перлитом, этот предел низкий. Лер (Lher) испытал влияние поверхностных царапин на понижение предела усталости и нашел, что мягкие углеродистые стали мало чувствительны к поверхностным повреждениям, тогда как высокоуглеродистые очень к ним чувствительны. Большая вязкость и большое поглощение энергии мягкими сталями делают невозможным появление высоких местных напряжений и разрывов в поврежденных местах, и происходящие в них местные деформации выравнивают распределение напряжений. Резкие изменения сечения значительно понижают предел усталости. Например при испытании образцов, вырезанных из сталей для коленчатых валов, образец с резким утолщением сечения в середине дал предел усталости всего 36 *кг/мм²*, тогда как у образца без этого утолщения предел усталости был 58 *кг/мм²*. Временное сопротивление этой стали 126 *кг/мм²*. Если какая-нибудь деталь подвергается часто изменяющимся колебаниям нагрузки, весьма важно устранить у нее всякое разъедание поверхности, т. к. оно очень сильно понижает предел усталости. Мак-Адам (Mac-Adam) блестяще показал влияние коррозии при усталости, напр. по его опытам предел усталости стали, лежавший ок. 80 *кг/мм²*, понизился после коррозии в десять раз, т. е. до 8 *кг/мм²*. Он ввел особый тип испытаний на усталость металлов при одновременной коррозии их. Кроме этого обезуглероживание поверхности, присутствие ржавчины, окалины или остатков внутренних напряжений после закалки, ковки, холодной обработки и пр. также весьма сильно снижают предел усталости.

Машины для испытания металлов на усталость. По основным видам напряжений машины для испытания на усталость можно разделить на следующие четыре типа: 1) при повторно-переменном изгибе; 2) при растяжении, сжатии; 3) при кручении и 4) при изгибе с перегибом. Помимо этого существуют машины для испытания металлов на усталость при повторной ударной нагрузке, а также для исследования длительного действия высоких темп-р на устойчивость нагруженного

образца против деформации. На фиг. 3 изображена самая распространенная простая и недорогая машина проф. Мура (Moore) для определения предела усталости при изгибе вращающегося около своей оси образца, а на фиг. 3а дана ее схема. Образец *а* нагружается с помощью груза *P* через систему двух тяг *б* и двух шариковых подшипников *в*, так. обр. образец подвергается чистому изгибу постоянным моментом $\frac{lP}{2}$. Следовательно верхние волокна образца подвергаются сжатию, а нижние — растяжению; после поворота образца на 180° сжатые волокна попадут вниз и испытают растяжение, а растянутые, наоборот, попадут вверх и будут сжиматься. Т. о. при вращении от электромотора *г* периферич. волокна образца подвергаются переменному растяжению-сжатию. Имея большое количество образцов одного какого-нибудь металла, их подвергают испытанию сначала при небольшом напряжении. Число оборотов берут по счетчику: для стали — ок. 10 000 000, а для некоторых сплавов дуралюмина, монеля и пр., не обладающих явным

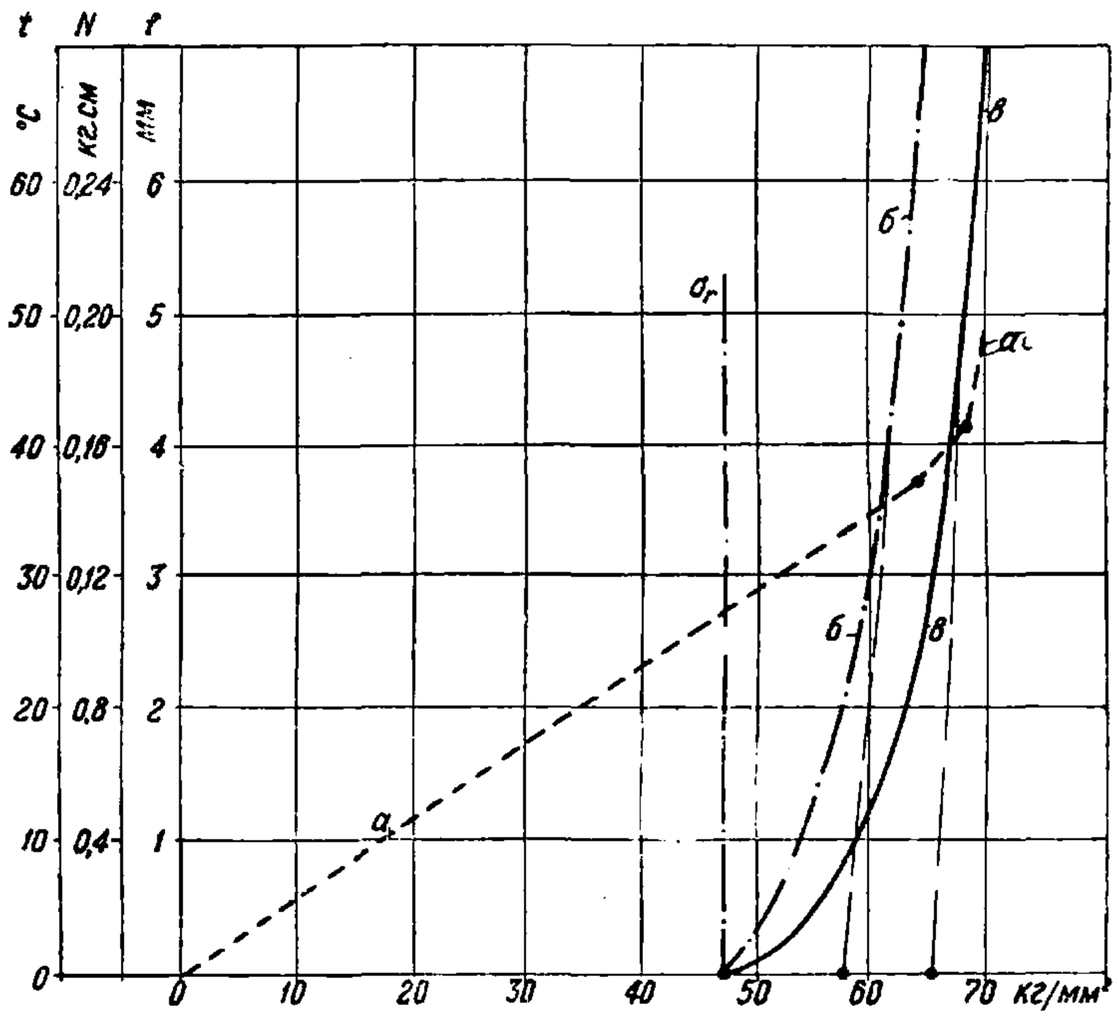


Фиг. 3.



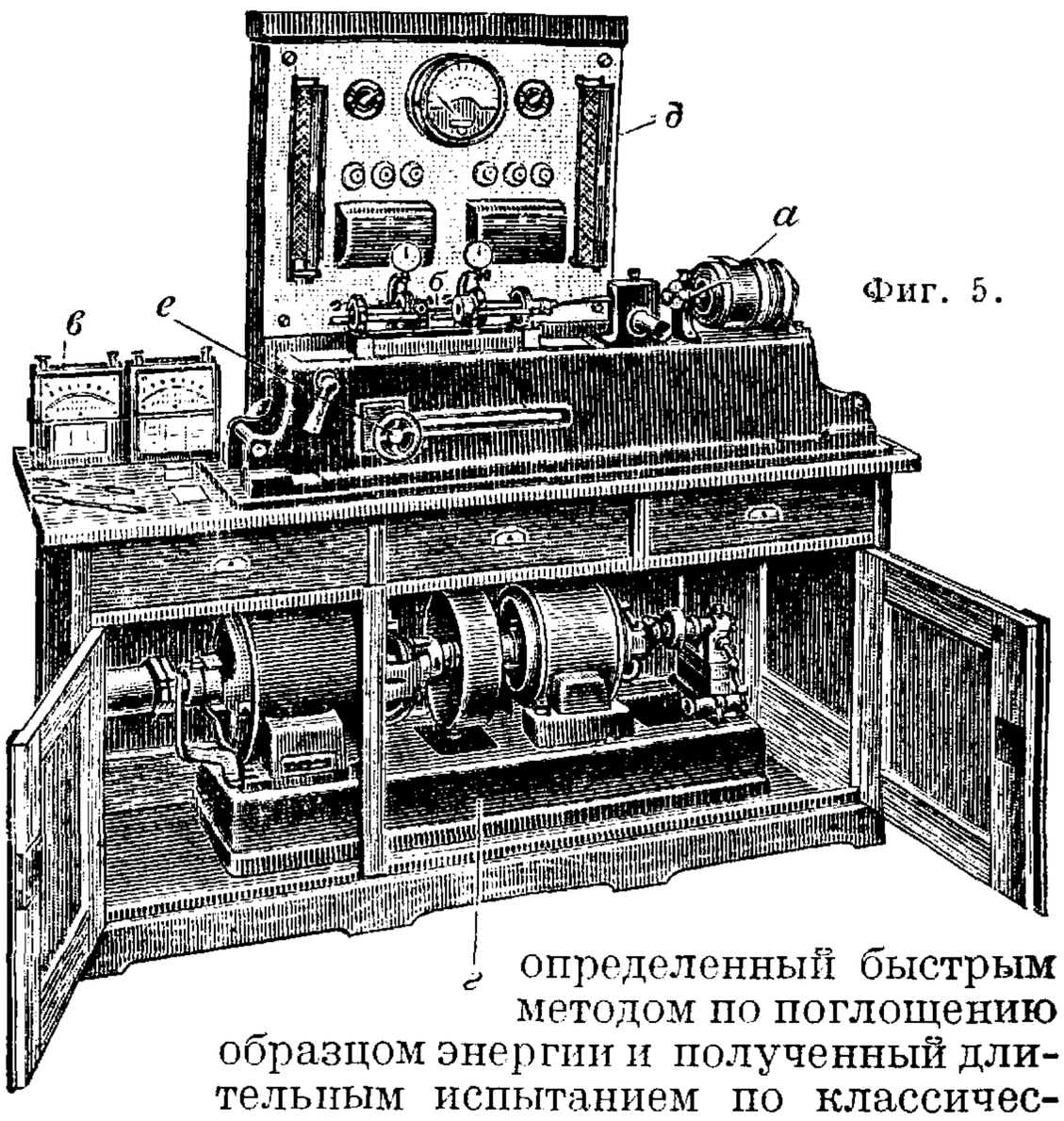
Фиг. 3а.

пределом усталости, гораздо больше, например 500 000 000. Постепенно увеличивая напряжение, доводят один из серии образцов до разрушения при числе оборотов, меньшем вышеуказанного. Тогда наибольшее из напряжений, не разрушившее образца, и будет пределом усталости. Конечно эти испытания очень длительны. За последнее время в Германии изобретены способы и сконструированы машины для быстрого определения предела усталости по резкому изменению в момент достижения предела усталости температуры образца или мощности, поглощаемой им при деформации. В нек-рых машинах определение предела усталости очень наглядно улавливается по образованию петли гистерезиса, о которой ниже будет сказано подробно. Следует отметить, что зарождение внутренних трещин, т. е. начало усталости в некоторых материалах, появляется настолько медленно и незаметно, что в некоторых случаях методы быстрого определения предела усталости ненадежны. Обычный способ определения предела усталости длительными испытаниями образцов по своей надежности является незаменимым. Только в соединении с ним быстрые методы ускоряют результаты испытаний, нащупывая приблизительно предел усталости, который затем проверяется длительными испытаниями. Помимо этого однако некоторые из быстрых методов имеют и самостоятельное значение. На фиг. 4 изображена диаграмма изменений прогиба *f* образца (кривая *а*), его температуры *t* (кривая *б*) и мощности *N*, поглощаемой им при вращении (кривая *в*), в зависимости от изменения величины σ пере-



Фиг. 4.

менных напряжений. Стальной образец диам. 7,5 *мм* при испытуемой длине 75 *мм* обнаружил резкое возрастание температуры и поглощаемой мощности при переменном напряжении $\sigma = 47$ *кг/мм²*. Предел усталости K_r этой стали, определенный обычным длительным испытанием, оказался также равным 47 *кг/мм²*. Лер произвел подробные испытания при переменном изгибе над 150 различными металлами, причем в 70% случаев предел усталости,

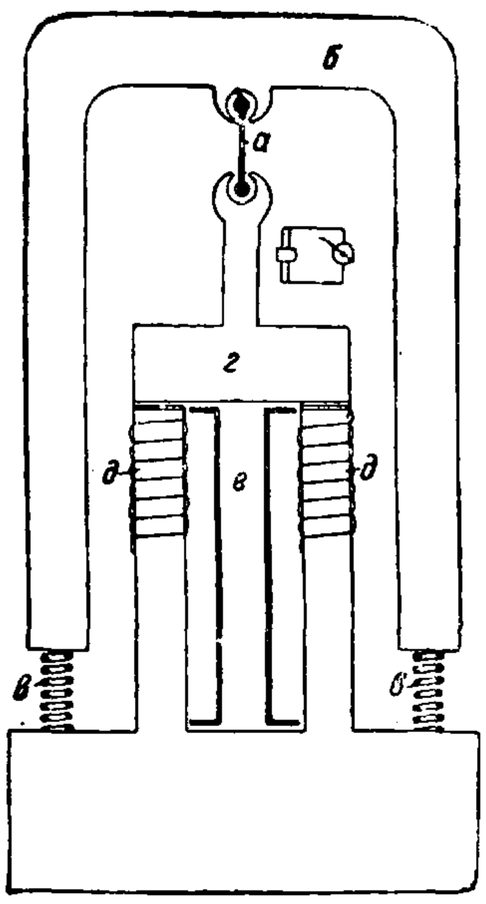


Фиг. 5.

определенный быстрым методом по поглощению образцом энергии и полученный длительным испытанием по классическому методу Велера (Vöhler), совпал. Для остальных 30% случаев предел усталости, определенный быстрым методом, был несколько ниже полученного длительным методом. На фиг. 5 изображена машина для испытания на усталость типа Мура со всеми приспособлениями для быстрого определения предела усталости: *а* — электромотор постоянного тока, вращающий образец; у мотора статор может поворачиваться

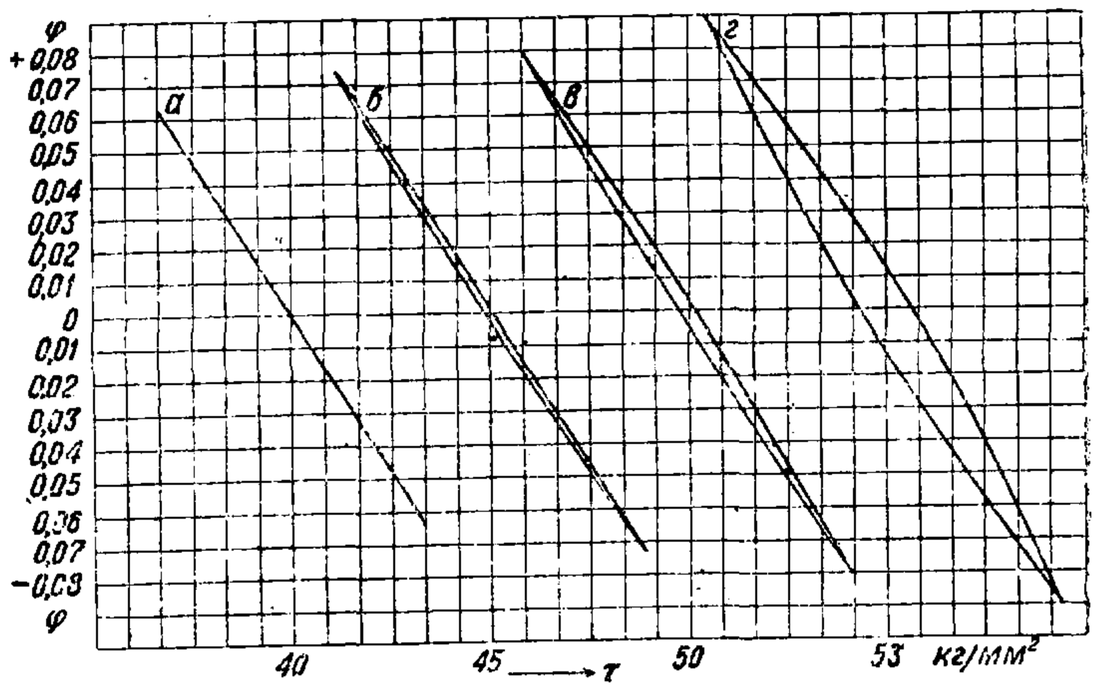
относительно оси мотора, что и позволяет определить вращающий момент, а следовательно и мощность, затрачиваемую на деформацию образца; *б*—образец и опоры с индикаторами, показывающими прогиб; *в*—пирометр, измеряющий *t*° образца; *г*—мотор-генератор, превращающий переменный ток в постоянный; *д*—распределительная доска с электроизмерительными приборами и регулировочными реостатами; *е*—маховичок, передвигающий груз по рычагу для изменения нагрузки образца.

Замечательный пример машины для испытания на усталость при растяжении-сжатии представляет машина Шенка, основанная на принципе использования резонанса между двумя колебательными системами: упругой механической и электрической. Такая машина позволяет осуществить 30 000 перемен напряжений в мин. На фиг. 6 изображена схема этой машины. Образец *а* укрепляется своим верхним концом в колоколе *б* весом 500 *кг*. Колокол опирается 2 пружинами *в* на станину машины весом 750 *кг*. Натягивая эти пружины, можно давать любое предварительное напряжение образцу. Нижний конец образца укрепляется в якоре *г* весом 50 *кг*, к-рый периодически притягивается и отталкивается электромагнитом *д* и вызывает растяжение-сжатие образца. Образец малого размера: диаметр его 5 *мм*, а расчетная длина 50 *мм*. Якорь *г* соединен со станиной двумя входящими одна в другую толстостенными стальными трубами *е*, упругие деформации которых являются механич. колебательной системой машины. Электрическая часть машины состоит из частотного генератора, дающего переменный ток с 500 пер/ск., и генератора постоянного тока. Электромагнит *д* имеет 2 обмотки: первая, питаемая током высокой частоты, вызывает колебания якоря *г*, а вторая создает постоянное поле магнита и служит связью между электрич. и механическими колебательными системами. Обе системы имеют одинаковое число колебаний в секунду. Подобно машине для испытания на усталость при изгибе эта машина также имеет оборудование для изменения энергии, поглощаемой образцом, его темп-ры и деформации.



Фиг. 6.

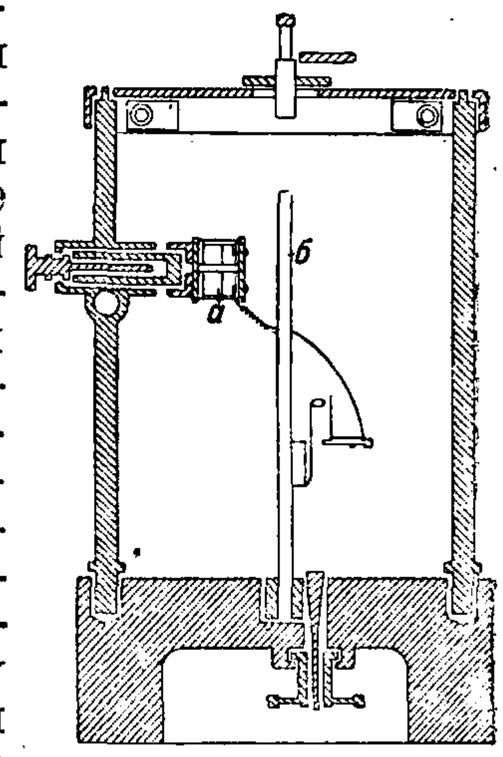
Машина Шенка для испытания на усталость при кручении позволяет получить во время опыта петли гистерезиса (фиг. 7), т. е. явления отставания деформации от изменения нагрузки. На этих кривых по вертикальной оси откладывается угол закручивания φ образца, а по горизонтальной—напряжение τ или крутящий момент. Образование петли гистерезиса служит признаком перехода предела усталости. До напряжения ±40 *кг/мм*², пока предел усталости не перейден, кривая *а* представляет собой наклонную прямую, а по переходе его—при напряжении ±45, ±50 и ±53 *кг/мм*² (кривые *б*, *в* и *г*)—появляются характерные петли гистерезиса, площадь к-рых дает количество энергии, поглощаемой образцом за один цикл. Помимо этого при испытании определяется изменение темп-ры образца и количество перемен напряжений. На фиг. 8 изображена схема машины з-да MAW для испытания на усталость при сгибе с повторным перегибом. Намагничивая и размагничивая электромагнит *а*, можно подвергать образец *б* повторному перегибу. Зная модуль упругости испытуемого образца и получающуюся при опыте деформацию, легко



Фиг. 7.

определить возникающие в нем напряжения. Эта машина имеет большое практич. значение, особенно при испытании на усталость пружинной проволоки и образцов мелких сечений.

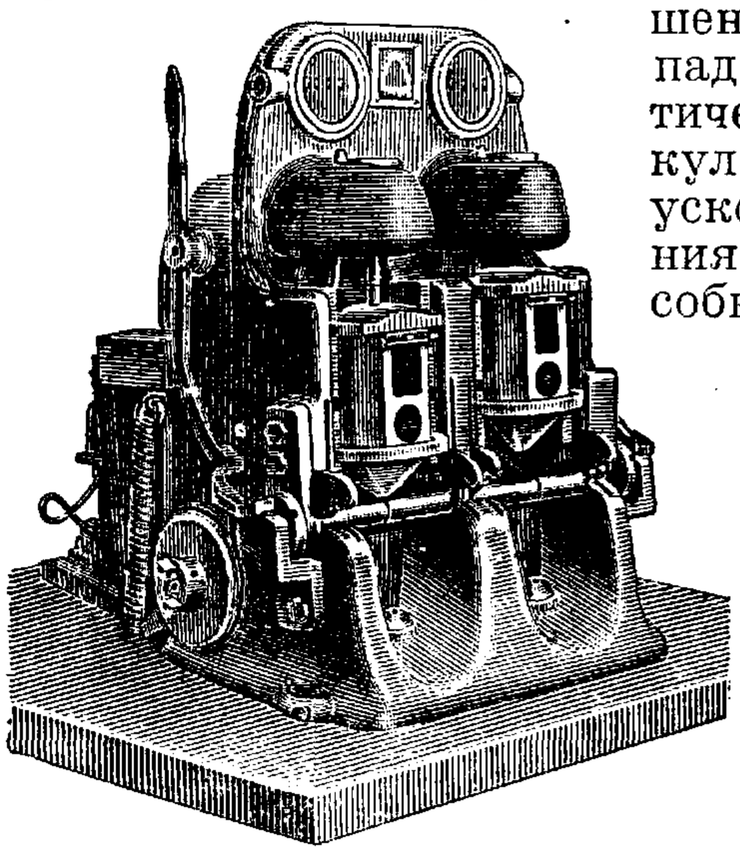
В общем обычные испытания на усталость сводятся к определению следующих величин: 1) определению предела усталости по длительному испытанию нескольких образцов; 2) построению кривой поглощения образцом энергии; 3) получению петли гистерезиса; 4) построению кривой деформации образца; 5) построению кривой изменения темп-ры образца. Для всестороннего исследования вопроса об У. м. важно определение всех этих величин. Лер указывает, что для деталей, работающих с высокими напряжениями (рессоры и пружины), особенно важно иметь высокий предел усталости. Для деталей же, подвергающихся свободным колебаниям (коленчатые валы с большим числом оборотов), требуется большая площадь петли гистерезиса или большое количество поглощаемой энергии до предела усталости. Тогда рост колебаний будет задерживаться внутренним поглощением энергии материалом. При сравнении результатов испытаний на усталость при изгибе с числом перемен напряжений 3 000 в минуту и при растяжении-сжатии с числом 30 000 перемен в минуту оказалось, что в последнем случае (при высокой частоте) предел усталости выше; повышение для сталей иногда достигает 12%, а для латуни даже 35%. Предел усталости при кручении составляет не более 50% предела усталости при изгибе.



Фиг. 8.

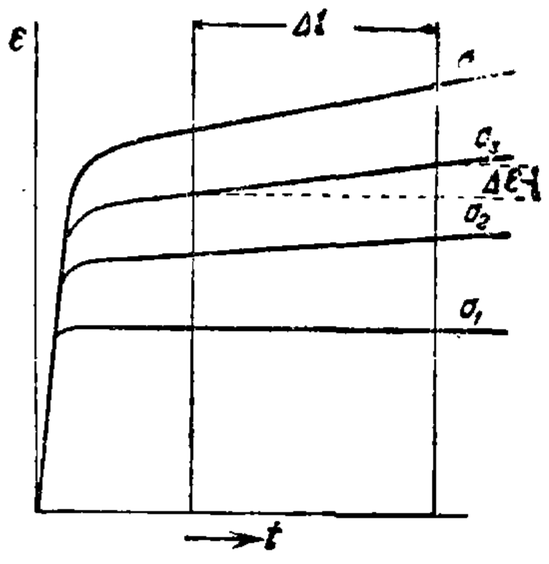
В некоторых случаях производятся испытания на У. м. при повторной ударной нагрузке; на фиг. 9 изображен общий вид машины Лозенгаузена (Loosenhausen) для таких испытаний. Образец диам. 15 *мм*, лежащий на двух опорах с расстоянием 100 *мм*, подвергается в середине ударам бабы весом в 5 *кг*, падающей с высоты 30 *мм*; между ударами

образец поворачивается на 180°; число ударов учитывается счетчиком. Подъем бабы производится кулачковым валом, приводимым во вращение от электромотора. В случае разрушения образца баба, падая вниз, автоматически выключает кулачковый вал. Для ускорения и увеличения пропускной способности эти машины строят двойными. Машины для испытаний при повторной ударной нагрузке весьма практичны для исследования чугунов, так как при этом гораздо лучше, чем при статических испытаниях на изгиб, выявляется преимущество высокосортных перлитных чугунов перед обыкновенными.



Фиг. 9.

Особое место занимают испытания на устойчивость металлов против деформации под влиянием постоянного напряжения при высоких темп-рах. При этих испытаниях образец нагревается и поддерживается при постоянной высокой темп-ре при посредстве электропечи; нагрузка производится при помощи рычага постоянным грузом; деформация измеряется точным экстензометром и для хорошего материала должна иметь величину, очень близкую к постоянной. На фиг. 10 изображена диаграмма удлинения ε в зависимости от времени t для напряжений σ_1, σ_2, σ_3, σ_4. Металл считают механически устойчивым при высоких температурах, если $\frac{\Delta\varepsilon}{\Delta t}$ не превосходит обусловленной технич. условиями величины при определенном числе часов испытания. Результаты испытаний низкоуглеродистой стали, аустенитной хромоникелевой нержавеющей стали КА2 и нихрома № 1100 приведены в таблице.



Фиг. 10.

Предельное напряжение (в *кг/мм²*), при котором появляются нарастающие пластические деформации (текучесть) в 1% в течение 100 000 часов.

$t°$	Низкоуглеродистая сталь	Нержавеющая сталь	Нихром № 1100
500	5	13	15,5
550	2	8	12
600	1	5	7
650	0,4	3	4

Результаты обычных испытаний на усталость. Мягкое технически чистое железо имеет предел усталости при изгибе-вращении ок. 60% от его временного сопротивления; у низкоуглеродистых отожженных или нормализованных сталей с 0,10—0,15% С он ок. 50%, а по мере увеличения содержания в стали углерода он понижается до 40 и даже 28%; абсолютная же его величина все время увеличивается. Холодная обработка также дает абсолютное увеличение предела усталости, но уменьшение его относительно временного сопротивления: мягкое технически чистое железо после холодной обработки имеет предел усталости всего 45% от временного сопротивления. Самого высокого предела усталости у стали можно добиться при получении у нее однородной сорбитной структуры без внутренних напряжений, т. е. после закалки и длительного отпуска. В такой стали, если она лишена значительных количеств неметаллич. включений, внутренних трещин и т. д., предел усталости составляет 45—55% временного сопротивления, к-рое м. б. 150 *кг/мм²*. При временном сопротивлении выше 200 *кг/мм²* вследствие внутренних напряжений предел усталости не обнаруживает заметного абсолютного повышения. Аустенитные стали имеют предел усталости, равный ~50% от временного сопротивления, и подобно чисто ферритным агрегатам обнаруживают предел пропорциональности ниже предела усталости. Цементированные и нитрированные стали хорошо сопротивляются У. м., хотя всегда есть опасность образования трещин вследствие хрупкости их поверхности, что наблюдается часто у оцинкованных сталей. Цементированные стали имеют предел усталости около 40 *кг/мм²*, а нитрированные—около 60 *кг/мм²*. Хорошо отожженные стальные отливки имеют предел усталости ок. 40% от временного сопротивления, а серый чугун, по причине наличия графитных выделений, действующих подобно трещинам, обладает неопределенным и низким пределом усталости, зависящим от размеров и форм пластинок графита в нем. При наличии коррозии предел усталости всегда очень низок и редко превышает 15 *кг/мм²*; даже нержавеющие стали и те чувствительны к коррозии. Испытания на усталость цветных металлов обнаруживают весьма разнообразную картину, в общем же их предел усталости почти всегда ниже, чем у стали, и холодная обработка не всегда его повышает. Нек-рые цветные металлы при временном сопротивлении в 60 *кг/мм²* дают предел усталости всего 10 *кг/мм²*. Мягкая медь имеет предел усталости ок. 7 *кг/мм²*, но холодной обработкой он м. б. повышен. Никель и в особенности монель-металл (сплав никеля с медью) не имеют ясно выраженного предела усталости: после 500 000 000 изменений напряжений они выдерживают 15—20 *кг/мм²*; благодаря стойкости в отношении коррозии они лучше обычной стали сопротивляются усталости при разъедании. Закаленный и состаренный дуралюмин также после 500 000 000 циклов дает предел усталости ок. 10 *кг/мм²*; поковки для пропеллеров имеют этот предел ок. 7 *кг/мм²*. Дуралюмин боится коррозии соленой водой, но, покрытый тонким слоем чистого алюминия, может выдержать перемены напряжения до 7 *кг/мм²* в условиях сильного разъедания. В общем испытания на У. м. в настоящее время являются делом исследовательских институтов и лабораторий. Они сложны, длительны и требуют самого тщательного выполнения, однородности образцов и т. д. С помощью их выявляются общие основы для оценки разных сплавов и их термообработки, служить же рядовыми испытаниями для повседневного контроля заводской продукции они пока еще не могут. Об усталости металлов см. также *Спр. ТЭ*, т. II, стр. 465.

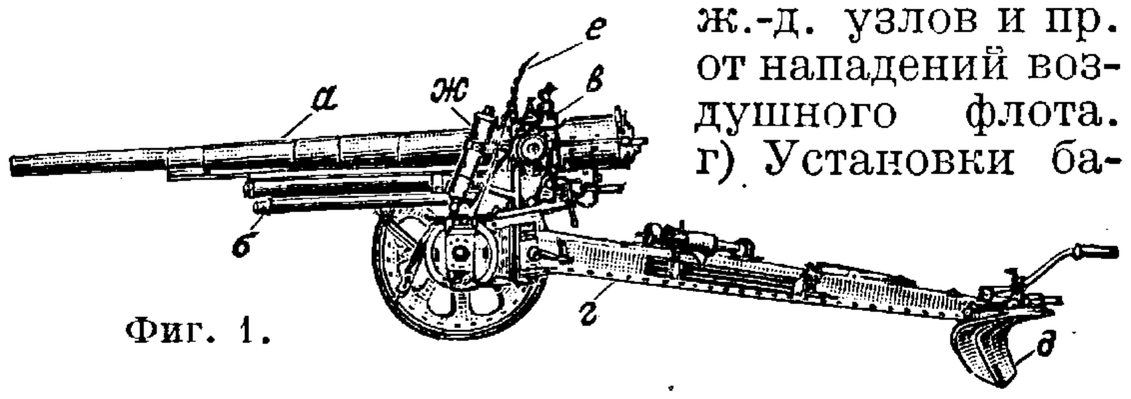
Лит.: Герливанов Н., Вопросы усталости металлов, «Известия МВТУ», М., 1929, *1*; Давиденков Н., Машины для испытания на усталость на Берлинской выставке материаловедения, «Техника и производство», М., 1928; его же, Динамические испытания, М.—Л., 1929; Длугач Л. С., Современные методы испытания качества металлов и их сплавов, Харьков, 1927; Мур Г. и Коммерс Дж., Усталость металлов, дерева и бетона, пер. с англ., М., 1929; Gough H., The Fatigue of Metals, L., 1924; Fachheft, Dauerbruch, «Ztschr. f. Metallkunde», B., 1928, Jg. 20; Föppl O., Becker E. u. Heydekampf G., Die Dauerprüfung, der Werkstoffe hinsichtlich ihrer Schwingungsfestigkeit u. Dämpfungsfähigkeit, B., 1929; French, Cross a. Peterson, Creep in Fire Steels at Different Temperatures, «Techn. Paper Bur. of Standards», Wsh., 1928, *362*; Lehr E., Die Abkürzungsverfahren zur Ermittelung der Schwingungsfestigkeit in Materialen, Stg., 1925; Lehr E., Die Dauerfestigkeit, ihre Bedeutung für die Praxis und ihre kurzfristige Ermittelung mittels neuartiger Prüfmaschinen, «Glassers Annalen», 1928, B. 99, p. 109, 117 u. 177, 1927, B. 100, p. 33; Mac-Adam D., Stress-Strain—Cycle Relationship a. Corrosion Fatigue of Metals, «Proceedings of the American Society for Steel Treating», Cleveland, 1926, p. 224; Mac-Adam D., Corrosion, Fatigue of Metals as Affected by Chemical Composition, Heat Treatment a. Cold Working, ibid., 1927, p. 355; Mailänder R., Ermüdung und Dauerfestigkeit, Werkstoff-Handbuch, «Stahl u. Eisen», Düsseldorf, 1927; Armbruster E., Einfluss d. Oberflächenbeschaffenheit auf den Spannungsverlauf und d. Schwingungsfestigkeit, B., 1931; Graf O., Dauerfestigkeit v. Stählen mit Walzhaut ohne u. mit Bohrungen von Niet- und Schweissverbindungen, B., 1931.

Болховитинов.

УСТАНОВКИ ОРУДИЙНЫЕ, части артиллерийских систем, удерживающие на себе тело орудия и поглощающие энергию отдачи от выстрела особыми тормозами или противооткатными приспособлениями. Кроме поглощения отката У. о. имеют назначение изменять положение оси канала орудия в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Угол, образованный линией возвышения с горизонтом орудия, называется углом возвышения, а угол поворота оси по отношению к какой-либо неподвижной плоскости—азимутом. Указанные выше углы придаются оси канала орудия при помощи механизмов: подъемного и поворотного или иначе называемых механизмов вертикальной и горизонтальной наводки. Перечисленные агрегаты (тормозные устройства, механизмы наводки), а также *прицельные приспособления* (см.) являются необходимой принадлежностью каждой установки независимо от ее типа. Все У. о. разделяются на три основные группы: 1) установки подвижные, т. е. могущие передвигаться при помощи живой или механич. тяги; 2) установки неподвижные или стационарные; 3) установки морские, установленные на кораблях и передвигающиеся вместе с ними. Каждая из этих групп разделяется на несколько подгрупп, носящих каждая свое специфич. название или по назначению данной подгруппы или типа, или по способу передвижения, или по другому признаку, отличающему ее от других. Подвижные У. о. разделяются на: а) полевые, б) осадные, в) самоходные, г) зенитные, д) железнодорожные, е) танковые; стационарные разделяются на: а) крепостные, б) береговые, в) зенитные, г) башенные; морские разделяются на: а) башенные, б) палубные, в) зенитные.

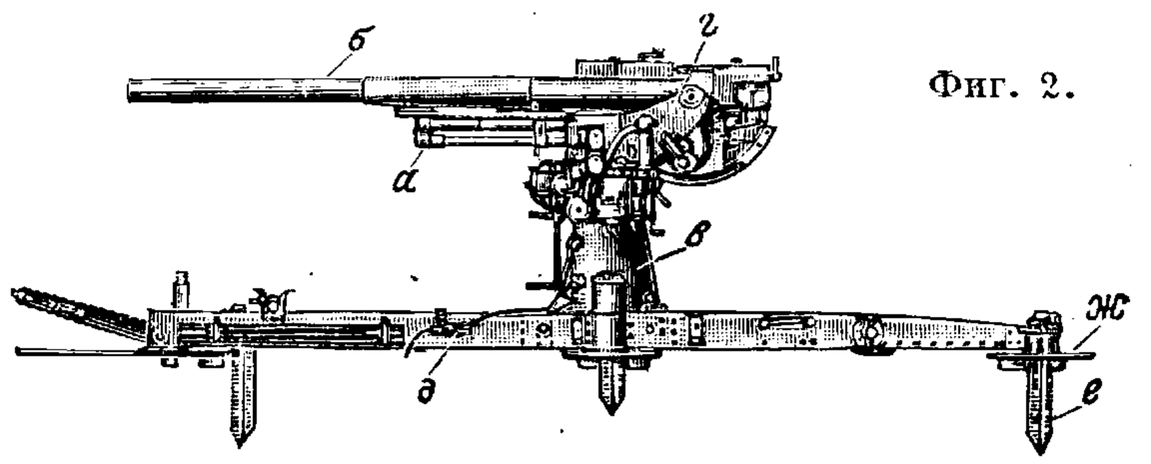
Группа 1. а) Полевые установки применяются в орудиях, передвигаемых на колесах при помощи людской или конной тяги или на гусеницах (батальонная, полковая, дивизионная и корпусная артиллерия). б) Установки осадной артиллерии или, согласно новой номенклатуре артиллерии. резерва главного командования (АРГК) применяются в орудиях, имеющих назначение бороться с долговременными укреплениями противника. Установки эти тяжелы, перевозятся как правило механической тягой на гусеницах. в) Установки самоходные представляют собой гусеничный трактор, на котором установлено орудие с противооткатными приспособлениями и механизмами наводки. г) Установки зенитные применяются в орудиях, предназначенных для борьбы с воздушными целями. Эти У. о. перевозятся или конной или механич. тягой, а также бывают и самоходными. д) Установки железнодорожные обычно применяются для орудий крупного калибра и представляют собой платформу, перевозимую по рельсовым путям. е) Установки танковые применяются в орудиях, установленных на танках и передвигающихся вместе с ними.

Группа 2. а) Установки крепостные, предназначенные для орудий, применяющихся для защиты укрепленных районов. б) Установки береговые, предназначенные для орудий обороны береговых баз от нападений морского флота. в) Установки зенитные в орудиях, применяемых для обороны баз, промышленных районов, ж.-д. узлов и пр. от нападений воздушного флота. г) Установки башенные, представляющие собой вращающуюся башню, внутри которой установлены орудия и находятся механизмы наводки и заряжания. Башня защищена сверху и с боков толстой броней, частью вращающейся, частью неподвижной, вставленной в бетон.

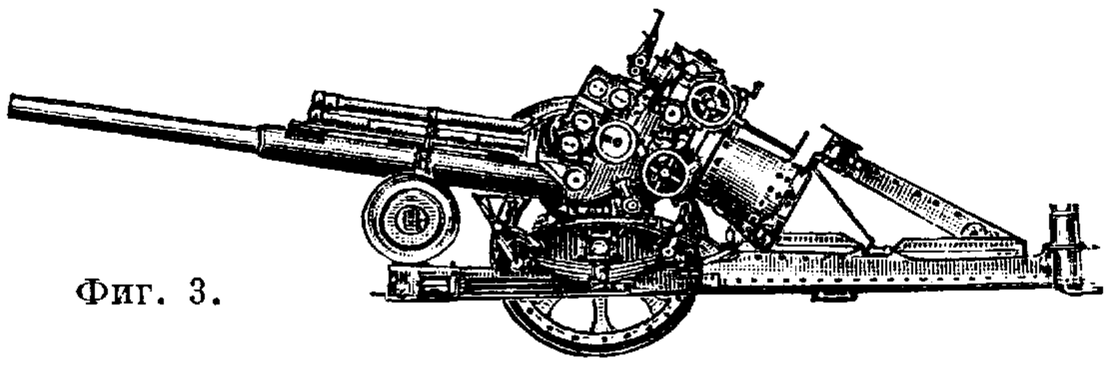


Фиг. 1.

Группа 3. а) Установки башенные морские по существу не отличаются от башенных береговых. б) Установки палубные устанавливаются на палубе корабля или открыто на легких судах или в бортовых казематах (на линейных кораблях). В первом случае они являются главной артиллерией корабля, во втором—вспомогательной, для защиты корабля от нападений миноносцев и подводных лодок. в) Установки морские зенитные—тоже стационарные зенитной системы, только установленные на кораблях для защиты их от нападений воздушного противника.

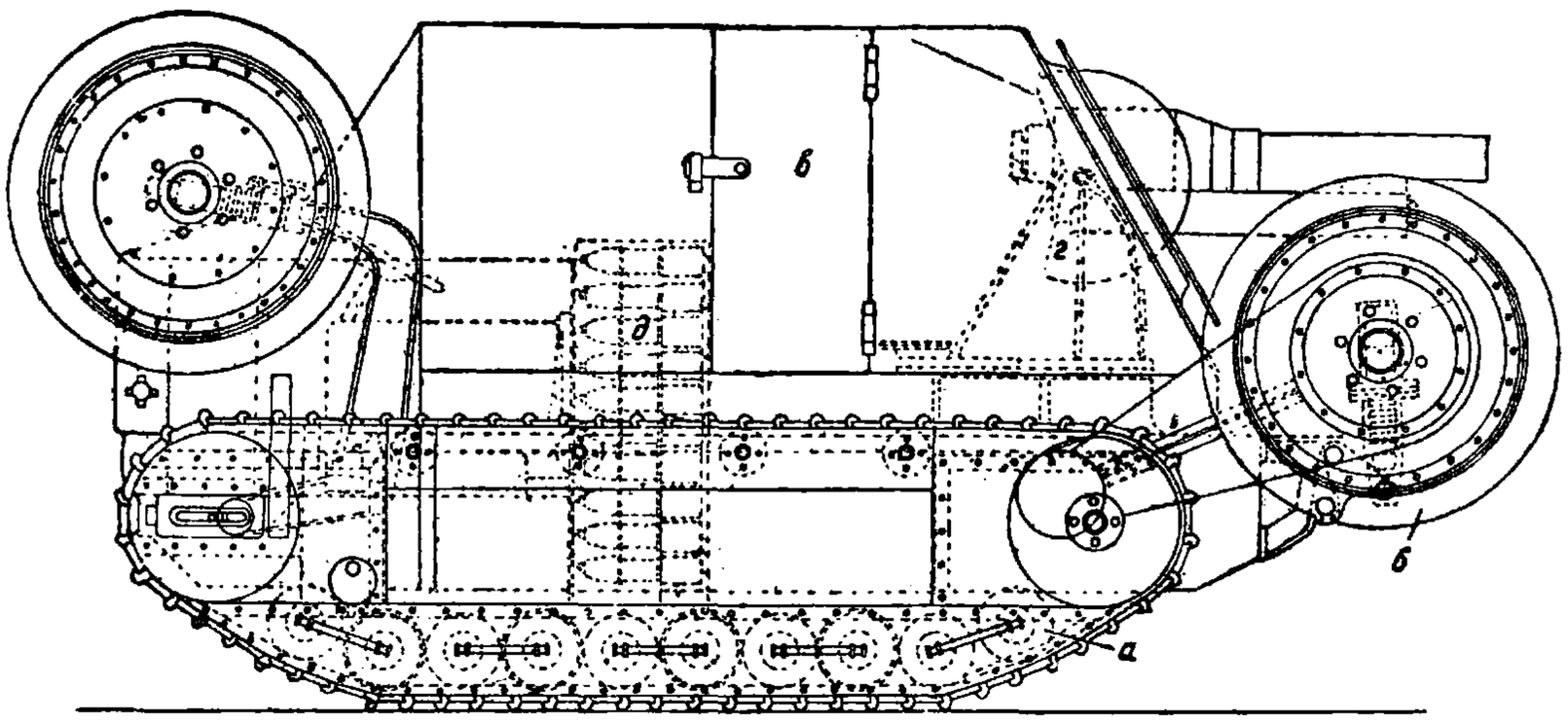


Фиг. 2.


Фиг. 3.

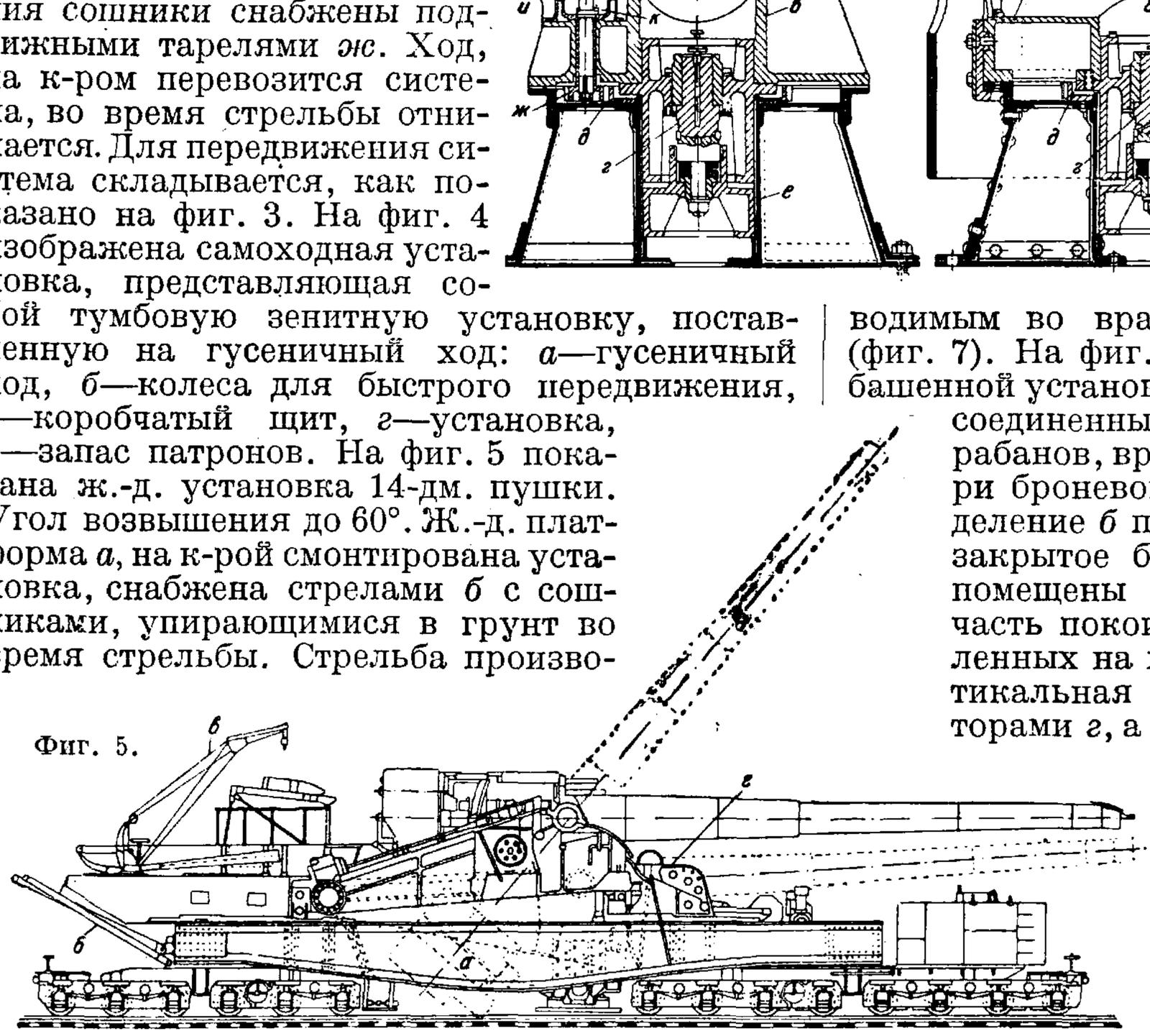
На фиг. 1 изображена 10,5-*см* корпусная пушка, где *а*—тело орудия, *б*—люлька, заключающая в себе противооткатное устройство, тормоз и накатник, *в*—цапфы, *г*—станина, несущая на себе качающуюся часть и связанная с последней цапфами и подъемным механизмом, *д*—

сошник, *е*—щит для защиты от пуль, *жс*—уравновешивающие механизмы. На фиг. 2 и 3 изображена полевая зенитная установка в боевом



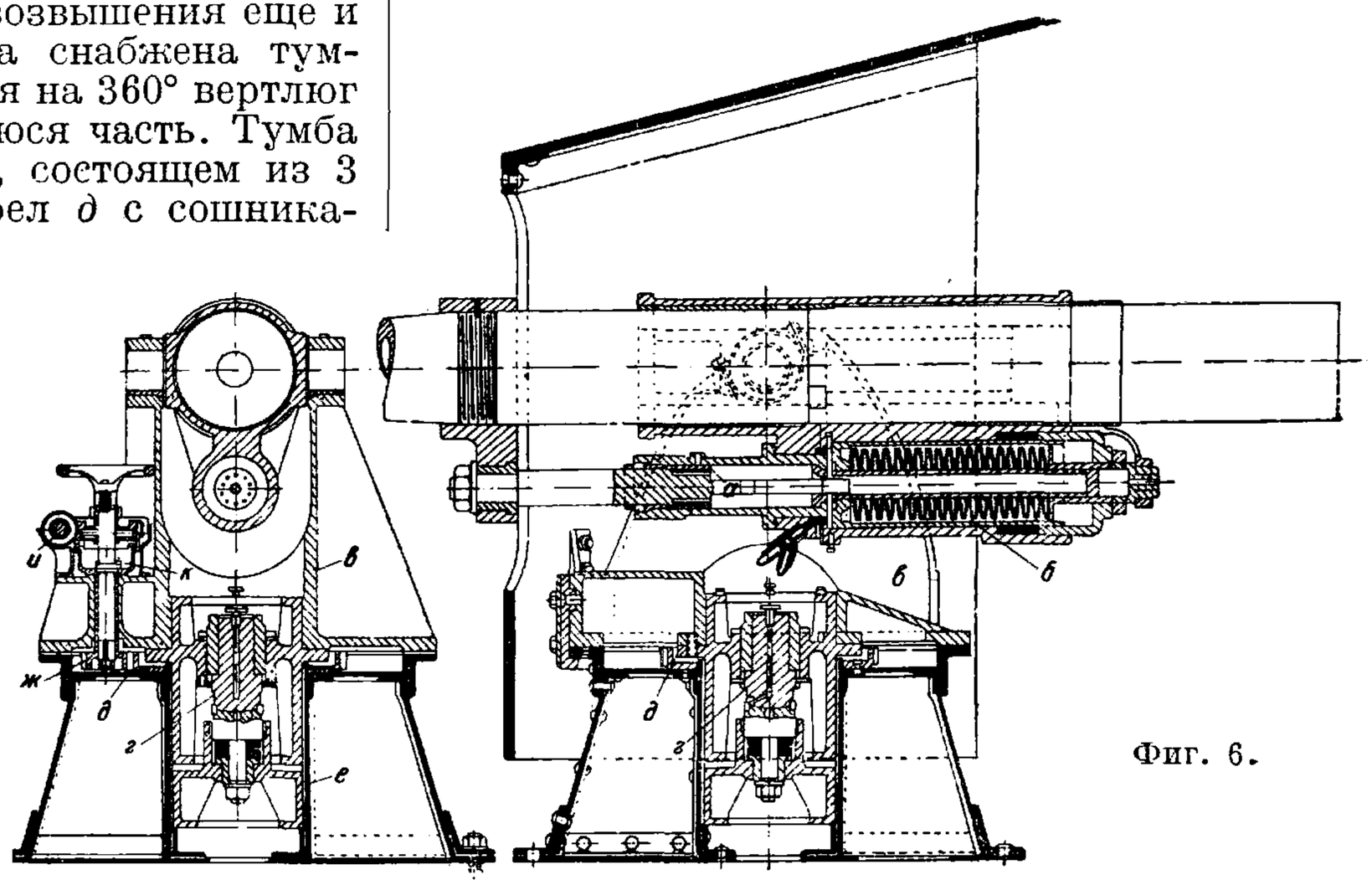
Фиг. 4.

(фиг. 2) и походном положении (фиг. 3). Противооткатные приспособления *а* размещены внизу тела орудия *б*. Т. к. зенитная система должна иметь кроме большого угла возвышения еще и круговой обстрел, установка снабжена тумбой *в*, внутри к-рой вращается на 360° вертлюг *г*, несущий на себе качающуюся часть. Тумба стоит на нижнем основании, состоящем из 3 или 4 раскидывающихся стрел *д* с сошниками *е*, забивающимися в землю. Внутри тумбы поставлено горизонтирующее устройство, позволяющее несмотря на неровности почвы иметь вертикальной ось вращения вертлюга. Кроме этого для грубого выравнивания основания сошники снабжены подвижными тарелями *жс*. Ход, на к-ром перевозится система, во время стрельбы отнимается. Для передвижения система складывается, как показано на фиг. 3. На фиг. 4 изображена самоходная установка, представляющая собой тумбовую зенитную установку, поставленную на гусеничный ход: *а*—гусеничный ход, *б*—колеса для быстрого передвижения, *в*—коробчатый щит, *г*—установка, *д*—запас патронов. На фиг. 5 показана ж.-д. установка 14-дм. пушки. Угол возвышения до 60°. Ж.-д. платформа *а*, на к-рой смонтирована установка, снабжена стрелами *б* с сошниками, упирающимися в грунт во время стрельбы. Стрельба производится вдоль полотна или только под очень острым углом (1,5—3°) к направлению движения. Железнодорожные установки вследствие большой тяжести качающейся части имеют электрифицированные механизмы наводки и



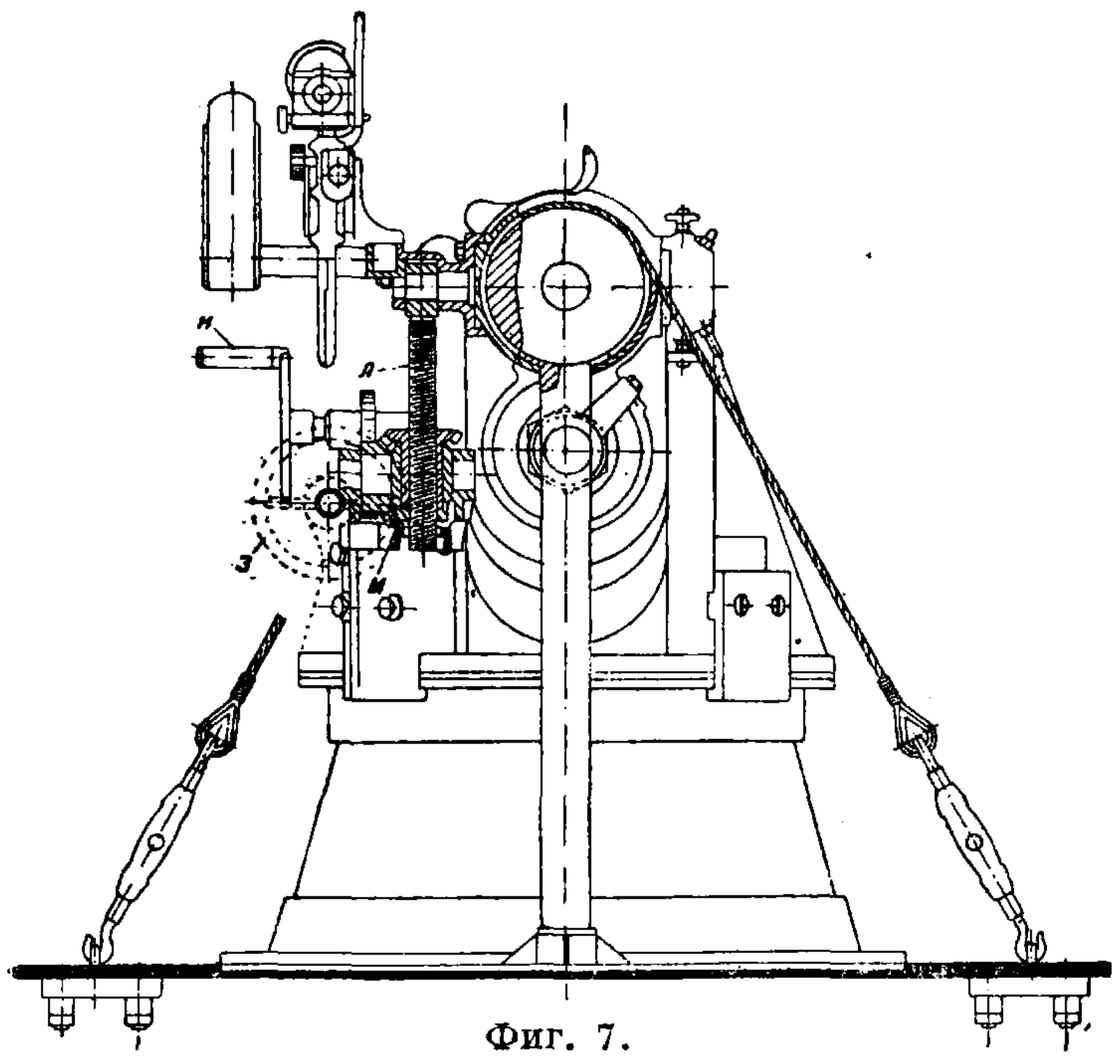
Фиг. 5.

заряжания. Снаряды подаются при посредстве крана *в* (весом до 400 *кг*); для опускания верхней части на походе и обратного подъема служит подъемный механизм *г*. На фиг. 6 и 7 показаны разрезы тумбовой морской палубной установки с откатными приспособлениями—тормозом *а* и накатником *б*. Вертлюг со штырем *в* вращается на подпружиненной пятке *г*. Поворотный механизм (слева на поперечном разрезе) представляет зубчатый обод *д*, прикрепленный к тумбе *е*, по которому катится шестерня *жс*, приводимая в движение маховиком *з*, через червячное сцепление *и*. В это последнее введена фрикционная связь *к*. Вертикальная наводка осуществляется около цапф при помощи винтового подъемного механизма, состоящего из ходового винта *л* и матки с конич. колесом *м*, приводимым во вращение другим маховиком *н* (фиг. 7). На фиг. 8 изображен разрез судовой башенной установки. Башня представляет ряд соединенных между собой клепаных барабанов, вращающихся на катках *а* внутри броневой трубы. Верхнее, боевое, отделение *б* представляет собой замкнутое, закрытое броней помещение, в котором помещены 1—3 орудия. Качающаяся часть покоится на кронштейнах *в*, укрепленных на полу боевого отделения. Вертикальная наводка осуществляется секторами *г*, а горизонтальная всей башни—при помощи цевочного обода *д*, помещенного около горизонтальных катков *а* и вертикальных *е*. В боевом же отделении помещены приспособления для механич. заряжания орудий (прибойники). Нижние два барабана *жс* и *з*, называемые рабочим отделением, служат для расположения моторов и лебедки наводки и подачи. Снаряды и заряды подаются из погреба *и* при помощи особой беседки-зарядника *к*, которая при помощи тросов по направляющим поднимается из



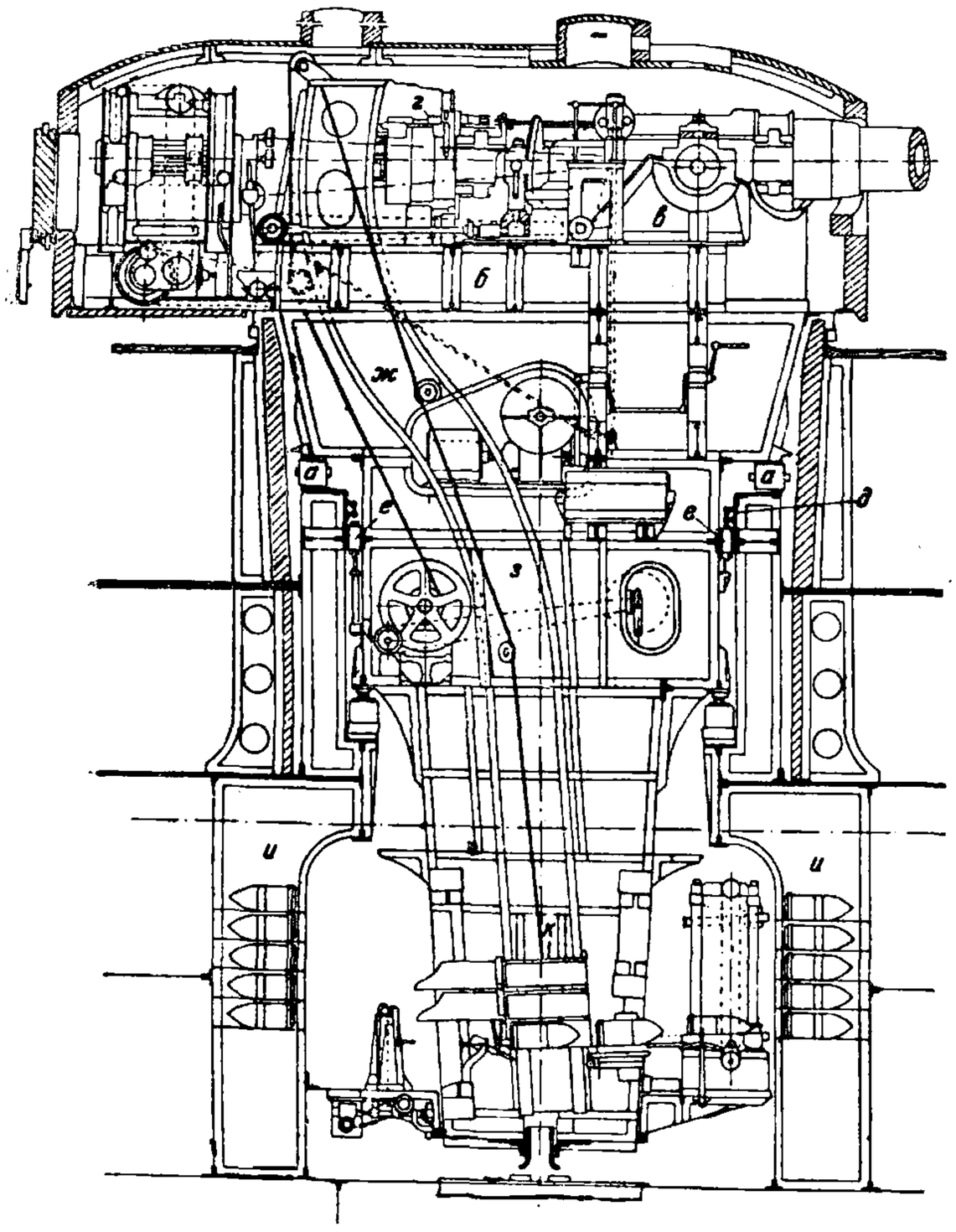
Фиг. 6.

погреба в боевое отделение. Заполнение зарядника снарядами механизировано так же, как и заряжание, открывание и закрывание затвора и наводка.



Фиг. 7.

Расчет артиллерийских установок имеет некоторые специфические особенности. Первым элементом расчета является расчет противооткатных устройств. Вторым — расчет устойчивости полевой системы при стрельбе. Этот расчет имеет тесную связь с расчетом сопротивления откату. Если назовем Q_c вес системы, D_0—его абсциссу относительно точки O, R—сопротивление откату, Q_0—вес откатных частей системы, P—силу давления пороховых га-



Фиг. 8.

зов на дно канала, e—расстояние ц. т. откатных частей от оси канала, h—длину перпендикуляра от точки O до траектории ц. т. отката частей, то мы будем иметь общее ур-ие устойчивости (фиг. 9):

$$Rh + Pe \leqslant Q_c D_0 - Q_0 X, \qquad (1)$$

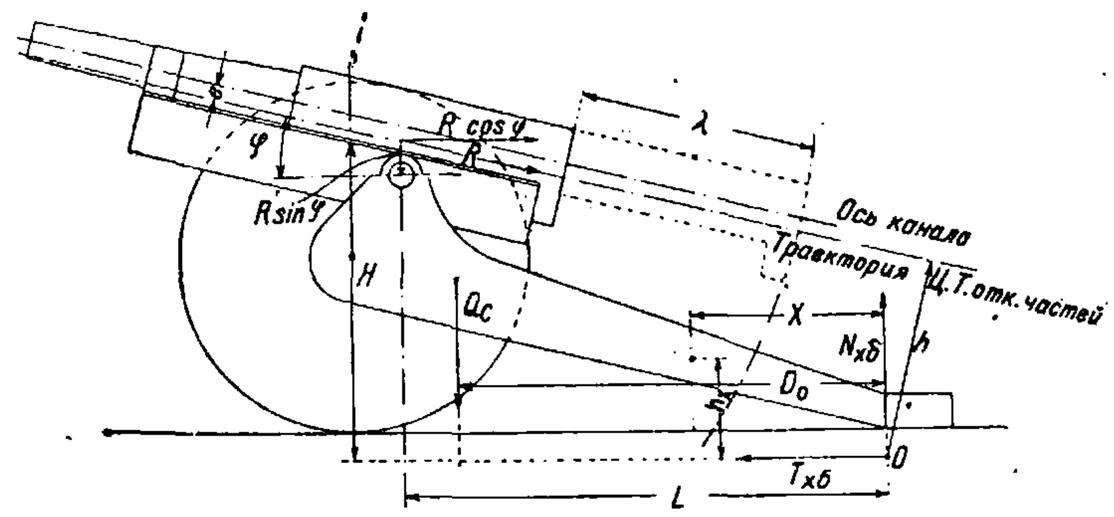
где X—путь, пройденный откатными частями в рассматриваемый момент. Кроме того мы имеем

$$h = H\cos\varphi - L\sin\varphi, \qquad (2)$$

где L—расстояние от цапф до точки O по горизонту, H—вертикальное расстояние от ц. т. откатных частей до той же точки:

$$T_{x\sigma} = R\cos\varphi. \qquad (3)$$

Эти ур-ия являются основными уравнениями теории проектирования артиллерийских установок; они связывают между собой вес системы, ее геометрические размеры с сопротивлением откату и углом возвышения, называемым у г л о м у с т о й ч и в о с т и. Этот угол в системах мелкого калибра берется равным нулю и даже отрицательным, равным минус 3—5°, в системах настильного огня—пушках—берется равным нулю или плюс 2—5°, в гаубицах и мортирах 10—15°. Так как увеличение длины отката уменьшает величину сопротивления откату, то необходимо удлинять насколько возможно откат; этому препятствует необходимость придания орудию углов возвышения, т. к. в



Фиг. 9.

этом случае откатная система ударялась бы в землю. Увеличивать H бесполезно, т. к. увеличение высоты системы влечет за собой необходимость уменьшения сопротивления откату, т. е. опять удлинения отката. Поэтому в современных системах вводят или переменный откат или подвешивают систему не за ц. т., а относя ось цапф назад или и то и другое вместе. Кроме того выражение Pe, динамич. пару, стремятся привести к нулю, сделавши e равным нулю, т. е. поместив ц. т. откатной системы на оси канала путем симметричного расположения откатных масс. Теоретич. возможность переменного отката вытекает из ур-ия (1). Если мы сделаем при нек-ром большом угле возвышения 25—30° откат короче и даже значительно, то мы этим сильно увеличим сопротивление откату, т. к. приближенно энергия, поглощаемая противооткатными приспособлениями, равна

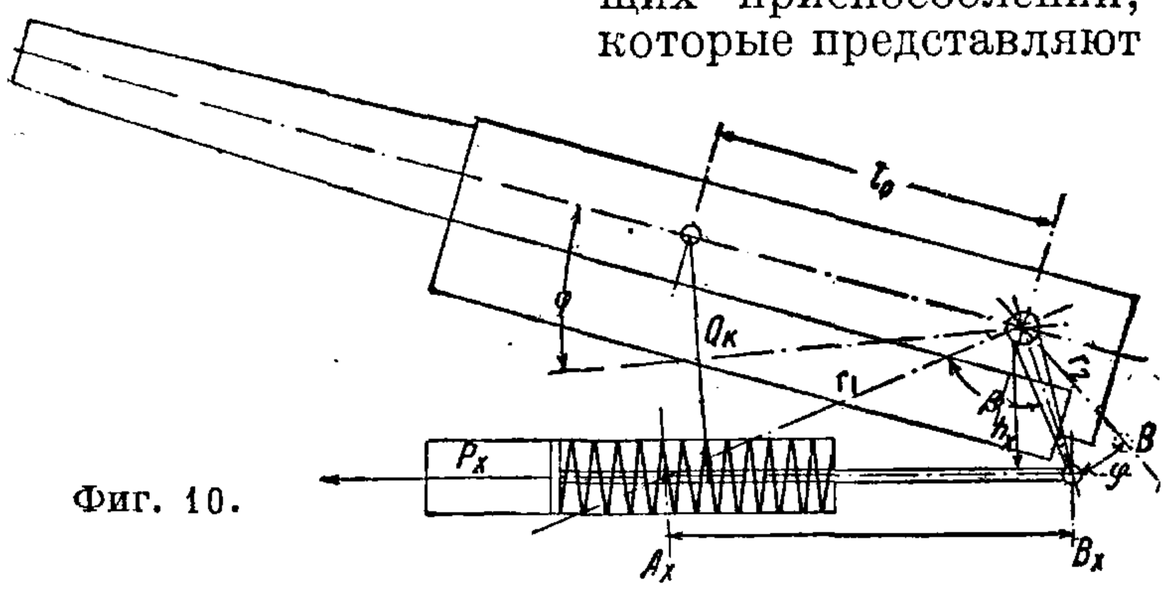
$$E_{отк.} = E_0 k,$$

где дульная энергия равна $E_0 = \frac{q v_0^2}{2g}$, q—вес снаряда, v_0—скорость снаряда при вылете. Коэф. $k = \frac{q}{Q_0}$, где Q_0—вес откатных частей. Из этой ф-лы видно, что чем меньше путь отката, тем больше R, т. к.

$$R_{ср}\, x\lambda = E_{отк.}.$$

Но, как видно и из фиг. 9 и из ур-ия (2), с увеличением угла уменьшается h, достигая даже отрицательной величины. Поэтому всегда возможно увязать длину переменного отката с углом, высотой системы и устойчивостью. Под-

вешивание системы за ц. т. (фиг. 10) влечет за собой необходимость введения уравновешивающих приспособлений, которые представляют



Фиг. 10.

собой металлич. или воздушные пружины, создающие момент, противоположный моменту перевеса, по ур-ию:

$$Q_k l_0 \cos\varphi = P_x h_x. \qquad (4)$$

При надлежащем подборе плеч r_1 и r_2 и выборе угла β можно иметь полное уравновешивание. Так, если мы сделаем механизм тянущего типа и угол β при горизонтальном положении вектора l_0 равным 90°, то при металлич. пружине, имеющей прямолинейную диаграмму, получим полное уравновешивание. Тогда основное ур-ие для определения силы пружины будет

$$P_x = A_x B_x \cdot k,$$

где $k = \frac{Q_k l_0}{r_1 r_2}$, $A_x B_x$—расстояние между концами векторов r_1 и r_2 в данный момент. Механизмы толкающего типа или с воздушной пружиной теоретически полного уравновешивания не дают, но можно все же достичь того, что усилие при наводке будет невелико. Способ перенесения оси цапф назад применим к системам мелких и средних калибров не более 6 дм. (редко 8 дм.—гаубицы).

При расчете усилия на рукоятку маховика необходимо бывает учесть тот момент неуравновешенности, который получается при теоретически неуравновешенной системе, а также при отступлениях в тарировке пружин. Усилие на маховик подъемного механизма складывается из усилия, необходимого для преодоления вредных сопротивлений, т. е. для поддержания равномерной скорости движения, и из усилия, необходимого для изменения скорости, т. е. разгона. Первое усилие определяется из ур-ия

$$\eta \cdot i r_м \cdot p'_м = \frac{Q_k \cdot d}{2} f, \qquad (5)$$

где η—кпд всей передачи, i—передаточное число от маховика к сектору подъемного механизма, $r_м$—радиус маховичка, $p'_м$—искомое усилие, Q_k—вес качающейся части, d—диам. цапфы, f—коэф. трения. Так как передача д. б. необратимая, η всегда меньше 0,5; $i = \frac{360 \cdot n}{60 \cdot \varphi'}$, где n—число оборотов маховика в мин., равное 90—120 при работе одного человека и при $r_м = 12{,}5$—15 *см*; φ'—скорость вращения оси орудия в градусах, задаваемая тактически; коэф. трения f на цапфах берется или 0,1 или 0,01, в зависимости от наличия антифрикционных приспособлений. Усилие, необходимое для разгона, определится из ур-ия:

$$\frac{I \cdot \omega^2}{2} = p''_м \cdot 2\pi r_м \frac{nt}{60} \eta. \qquad (6)$$

Здесь I—момент инерции качающейся части около оси цапф, ω—угловая скорость в радианах, т. е. $\frac{2\pi\varphi'}{360}$, t—время разгона (т. е. время, необходимое для того, чтобы скорость от нуля довести до максимума), равное $1 \div 2$ ск. Сумма $p'_м + p''_м$ не должна превышать 5 *кг*. Кроме расчета усилий при наведении подъемный механизм рассчитывается еще и на прочность при выстреле. Сначала определяется усилие, приходящееся на зубец сектора, а потом этот последний, по общим правилам, рассчитывается на прочность. Усилие на зубец

$$U = \frac{Pe + Rc + Q_0 x}{\varrho}, \qquad (7)$$

где Pe—есть динамич. пара, R—сопротивление откату, c—расстояние от ц. т. откатных частей до оси цапф, Q_0—вес откатных частей, x—путь отката в рассматриваемый момент. Определяют два значения U при P, равном P_{max}, и x, равном λ—наибольшей длине отката (при этом $P=0$) и берут для расчета наибольшую. Величина ϱ—радиус сектора, выбираемый по конструктивным соображениям. Шаг зубчатого зацепления $\tau = \sqrt{\frac{rU}{R_b}}$, где R_b—допускаемое напряжение на изгиб 2500—3000 *кг/см²*. Цапфы рассчитываются, как балка, заделанная одним концом и нагруженная на другом, силой, равной $\frac{S}{2} = \sqrt{\frac{N^2 + T^2}{2}}$, где N—вертикальная составляющая, равная $Q_k - U\cos\beta$, и T—горизонтальная, равная $R + U\sin\beta$. Сила U, известная нам величина, определяется ур-ием (7), а угол β—полярный угол, относительно горизонтали, точки приложения силы U. В полевых установках рассчитываются станины, как балка, заделанная одним концом и нагруженная на другом. Изгибающий момент для какого-нибудь сечения, расположенного на расстоянии x от точек приложения сил $N_{хб}$ и $T_{хб}$ (фиг. 9), равен

$$M_и = N_{хб}\, x - T_{хб}\, h_x. \qquad (8)$$

Сечение станины подбирается по правилам сопротивления материалов, причем допускаемое напряжение принимают до 2 000 *кг/см²*. В установках башенных, стационарных, приходится рассчитывать шаровые или роликовые погоны и фундаментные болты. Шаровой погон рассчитывается так: из ур-ия (9) определяется уд. давление на 1 *см* длины окружности, по к-рой расположены центры шаров. Это давление равно

$$P = P_1 + P_2; \qquad (9)$$

P_1—давление от выстрела, равное $\frac{M_и}{\pi\varrho_0^2}$, где

$$M_и = RH + U\varrho, \qquad (10)$$

P_2—давление от собственного веса, равное $\frac{Q_{вр.}}{2\pi q_0}$, где $Q_{вр.}$—вес вращающихся частей, R—сопротивление откату, H—расстояние от плоскости, проходящей через центры шаров до оси цапф, ϱ_0—радиус окружности шаров, U—давление на зубец, определяемое из ур-ия (7), ϱ—радиус сектора подъемного механизма. Зная суммарное давление на 1 *см* длины, будем иметь нагрузку на шар диам. d, рабную pd. Эта нагрузка должна равняться прочному сопротивлению шара, т. е. cd^2, где c—коэф. по Штрибеку меньше 150 *кг/см²*. Отсюда $d = \frac{p}{c}$. Фундаментные болты рассчитываются по усилиям, приходящимся на наиболее напряженный болт по ур-ию

$$P_{max} = \frac{M_и}{\varrho \sum_{i=1}^{i=n} \sin i\alpha^2}, \qquad (11)$$

где $M_и$—величина опрокидывающего момента,

определяемого по ур-ию (10), H—высота оси цапф над подошвой станка, ϱ—радиус окружности, по к-рой расположены болты, n—число болтов, a—центральный угол между двумя соседними болтами. Зная P_{max}, определяем по общим правилам диам. болта. Все остальные детали—по общим ф-лам машиностроения.

Кроме прочности под действием приложенных к отдельным деталям внешних сил полевая установка должна подвергнуться еще расчету как повозка. Массы в системе д. б. расположены так, чтобы давление на хобот не превосходило определенной величины, для удобства надевания его на штырь передка, чтобы ширина шины колес имела определенную нагрузку, определяющую проходимость, без увязания по разного рода почве, чтобы высота ц. т. была увязана с шириной хода, т. е. горизонтальным расстоянием между шинами колес, обеспечивающей движение на косогорах, и т. п. В ж.-д. установках давление на ось во время движения и стрельбы не должно превосходить норм для ж.-д. полотна, в гусеничных и самоходных должно быть обеспечено надежное сцепление с землей и определенное удельное надавливание и т. п.

Лит.: Яцына И., Курс морской артиллерии, П., 1915; Козловский Д., Материальная часть артиллерии, Ленинград, 1931; Чернявский К., Расчет палубных установок, Ленинград, 1927; его же, Теория лафетов, Ленинград, 1932; Шалеа Ж., Механика лафетов, перевод с французского, Ленинград, 1933; Толочков А., Действие выстрела на лафет, Ленинград, 1932.

К. Чернявский.

УСТАНОВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, установочные изделия, мелкая аппаратура и прочие детали, применяемые при выполнении проводки внутри закрытых помещений для низковольтных электрич. установок, снабжающих энергией приемники малой мощности (лампы накаливания, мелкие электродвигатели и электронагревательные приборы).

Аппаратура для приключения к сети или выключения приемников состоит из: 1) выключателей и переключателей, 2) штепсельных соединений, 3) патронов, 4) ответвительных коробок, 5) потолочных розеток. Приспособлениями для защиты проводки от токов, превышающих допустимые, служат: 1) предохранители, 2) установочные автоматич. выключатели. Для прокладки и укрепления проводки употребляются следующие материалы: 1) трубки для прокладки проводов, 2) мелкие крепительные материалы (см. *Провода*, *Сети электрические* и *Изоляционные материалы*).

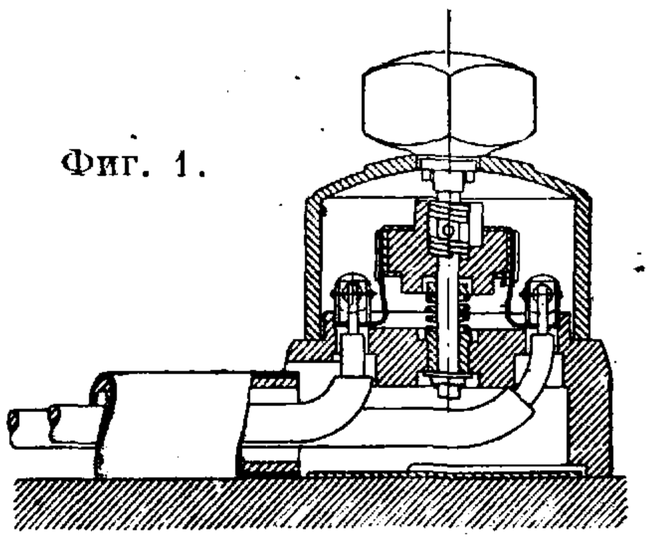
По своему основному назначению и принципам устройства У. м. похожи на аналогичные части электротехнич. оборудования для более сильных токов. Однако в отличие от последних с У. м. соприкасается не обученный персонал, а широкая масса населения; У. м. должны быть поэтому особенно безопасными в отношении пожара и несчастий с людьми (от поражения током или поранения искрами, осколками, брызгами расплавленного металла); конструкция У. м. должна быть возможно проще и не портиться от неумелого обращения; как предмет широкого потребления У. м. в целях возможного удешевления их д. б. удобны для массового производства; по конструкции и размерам они должны обладать свойством взаимозаменяемости, причем друг к другу должны подходить не только изделия различных з-дов в одной стране, но и У. м., изготовляемые в различных странах. Поэтому огромное значение имеет нормализация и стандартизация У. м. в международном масштабе; в СССР нормативная работа в этой области проводится Центральным электротехнич. советом (ЦЭС, функции его ныне выполняет Бюро главного инженера Главэнерго) и организациями по стандартизации при Всесоюзном электротехническом объединении (ВЭО), получая окончательное оформление в виде норм и ОСТов, которые по утверждении их Комитетом по стандартизации при СТО приобретают обязательный для всего СССР характер. Для согласования работы по нормализации и стандартизации, ведущейся в СССР, с нормативной деятельностью Международной электротехнической комиссии (МЭК) в СССР существует Русский электротехнический комитет Международной электротехнической комиссии (РЭК МЭК) [10].

Установочные выключатели и переключатели (см. *Выключатели* и *Переключатели*) изготовляются для следующих нормальных номинальных сил токов:

При 250 V	Для выключателей	4, 6, 10, 25, 40 A
	» переключателей	2, 4, 6, 10, 25, 40 A
При 500 и 750 V	» выключателей	2, 4, 6, 10, 25, 40 A
	» переключателей	1, 2, 4, 6, 10, 25, 40 A

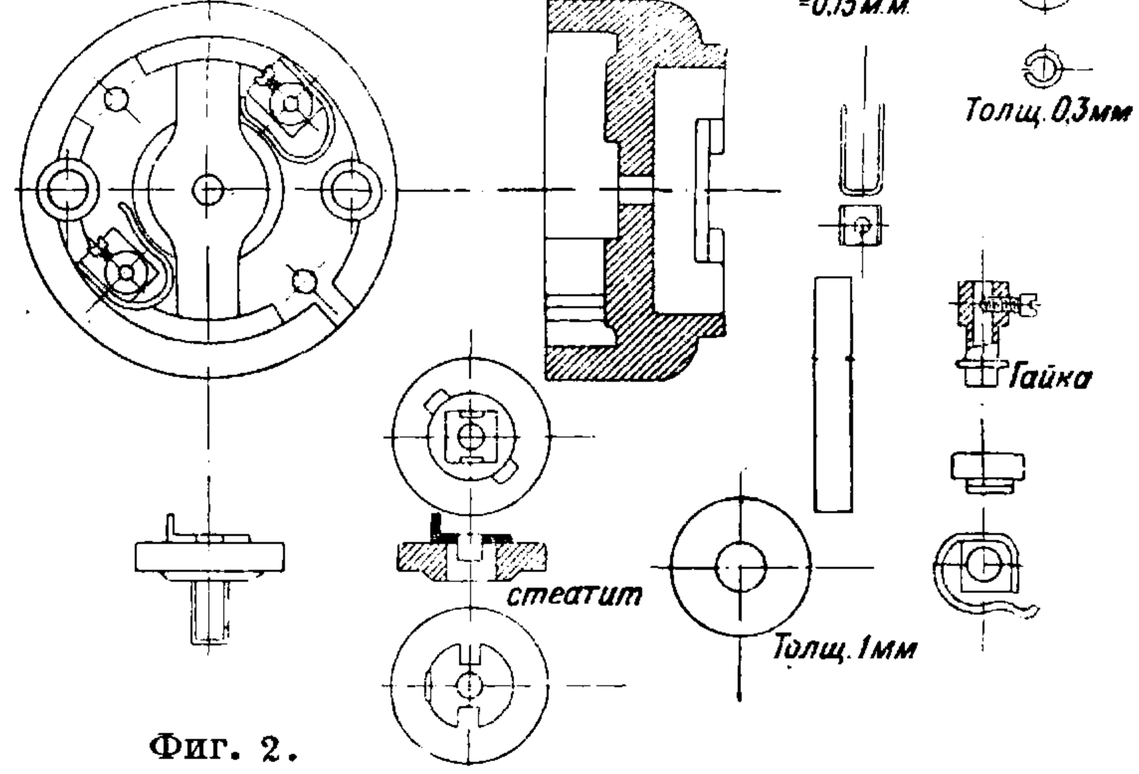
Выключатели позволяют создать или прекратить связь между двумя частями цепи и имеют два положения покоя: одно соответствует замкнутой цепи, другое — разомкнутой. Части, находящиеся под напряжением, д. б. недоступны прикосновению и изолированы от металлич. частей. Размыкание должно происходить мгновенно и подвижной контакт не должен оставаться после замыкания или размыкания в промежуточном положении. Если орган для управления (приведения в действие)—ручка, головка, кнопка, тяга—соприкасается непосредственно с частями, могущими нормально оказаться под напряжением (напр. ось выключателя), то он д. б. изготовлен из изолирующего, не воспламеняющегося, негигроскопичного материала, не деформирующегося при нагревании до 150° и не теряющего своих качеств от действия атмосферы и старения. Контактные части выполняют в виде трущихся контактов, размеры к-рых д. б. достаточны, чтобы плотность тока в них не превышала допустимой величины. Пружины не должны служить токопроводящими органами; однако допустимы все системы контактов, основанные на упругости металла (щетки, пружинящие пластинки и пр.), т. к. они подвергаются лишь слабому сжатию. Желательны также конструкции выключателей, у к-рых по наружному виду можно сразу определить, включен выключатель или выключен. Установочные выключатели чаще всего выполняют коробчатого типа: контакты, зажимы и пружина заключены в маленькую покрышку в виде коробки (обычно круглой) из фарфора, стеатита или, чаще, в виду их меньшей хрупкости из синтетических изолирующих материалов (гуммона, пульволита, бакелита и пр.). Коробки из металла нерациональны. Целесообразна конструкция, при к-рой провода м. б. подведены и зажаты под зажимы предварительно укрепленного выключателя, после чего на последний одевается коробка, которая должна закрывать и обнаженные концы проводов или трубок. При большом разнообразии конструкций все коробчатые выключатели м. б. отнесены в зависимости от движения, совершаемого органом управления, к одному из следующих типов: а) с вращением органа управления (поворотные и перекидные, или опрокиды-

вающиеся) и б) с прямолинейным перемещением органа управления (с нажимными кнопками и вытяжного типа). Поворотные выключатели как расположенные на поверхности стены, так и утопленного типа наиболее распространены (включение и выключение у них происходит путем поворачивания с помощью ручки контактных поверхностей вращающейся части). Выключатели утопленного типа помещаются в коробках, к-рые погружаются в стену или переборку т. о., что видна только крышка и рукоятка, или головка, при помощи к-рой выключатель приводится в действие. Специальные конструктивные мероприятия предотвращают образование дуги. Поворотные выключатели бывают с вращением в одну или в обе стороны. Конструкция выключателей, предназначенных к действию путем поворота лишь в одну сторону, д. б. такова, чтобы они не портились при повороте в другую сторону. Ручка (из фарфора, стеатита или какого-либо достаточно прочного синтетического изолирующего материала) должна иметь форму (сильно закругленную и т. п.), не позволяющую вешать какие-либо предметы на выключатель; крепление ее д. б. таково, чтобы она не отвинчивалась при вращении в обратную сторону. Однополюсные выключатели только для включения и выключения одиночных ламп—целесообразнее двух- и трехполюсных выключателей; по конструкции последние схожи с однополюсными; контакты отдельных полюсов располагаются один над другим или в одной плоскости. На фиг. 1—обычный тип однополюсного выключателя для проводки в трубках; на фиг. 2—весьма распространенный тип однополюсного выключателя для обыкновенной проводки. Для наружной установки выключатель помещают в герметически закрытой чугунной коробке. За последнее время распространяются англ. выключатели с опрокидывающейся головкой (фиг. 3), имеющие внутри вид небольшого *рубильника* (см.): замыкание тока—с помощью ножей, врубающихся в соответствующие контакты, схожие со щеками рубильника. Выключатели с нажимными кнопками—чаще в виде деревянной груши (вроде подвешиваемых к висячим лампам для комнатной звонковой сигнализации); грушевидный тип не следует применять для напряжений > 150 V и мощностей > 100 W; существуют и конструкции с 2 кнопками (основаны на опрокидывании контактного рычага). Выключатели вытяжного типа: с помощью тяги (рычага) или шнура поворачивается контактный валик [1, 2, 5, 8, 13, 18, 19, 21].



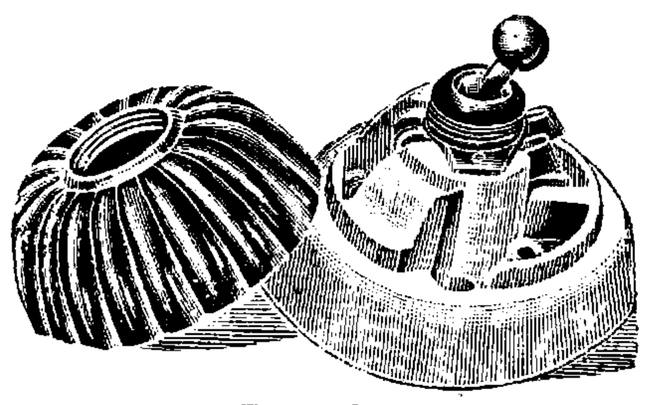
Фиг. 1.

Переключатели позволяют одним движением рукоятки разомкнуть одно соединение и установить другое; служат для переключения приемников (изменения их распределения и группировки) или для того, чтобы направлять ток то по одному то по другому пути; бывают тех же типов (поворотные и т. д.), что и выключатели, и схожи с ними по конструкции, отличаясь числом и расположением контактов. В поворотных выключателях (наиболее распространенных) ток обычно подводится к контактам вращающейся части, поочередно соприкасающимся с контактами для ответвлений, в к-рые д. б. направлен ток. С помощью переключателей м. б. осуществлены следующие комбинации (фиг. 4): *а*—однополюсное переключение, *б*—постепенное включение двух групп ламп, *в*—включение и переключение одной группы ламп с двух различных мест, *г*—включение двух ламп поочередно, но не вместе, *д*—включение двух ламп порознь или вместе, *е*—двухполюсное переключение, *ж* — включение или выключение всех ламп на лестницах из любого этажа [1, 2, 5, 8, 15, 18, 19, 21].



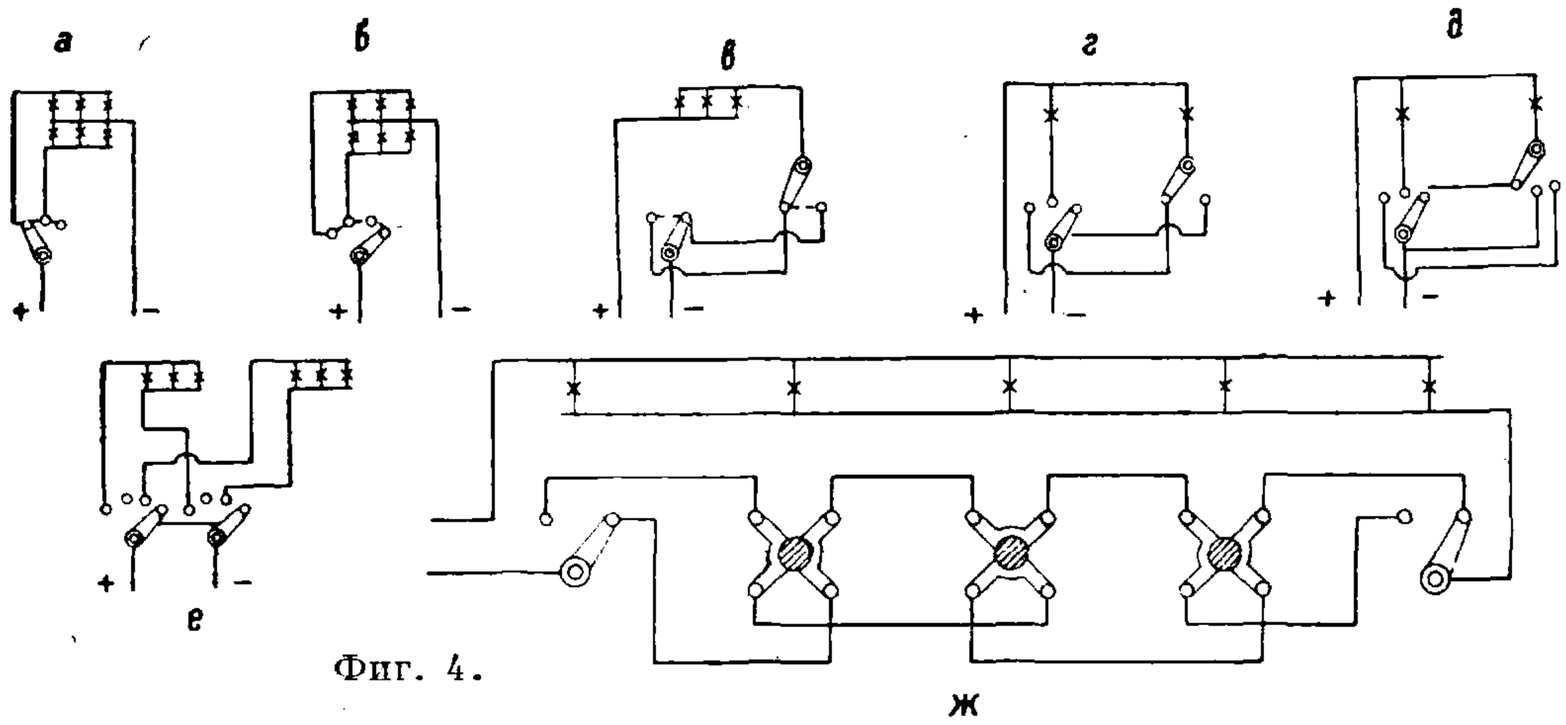
Фиг. 2.

Штепсельные соединения служат для присоединения к сети переносных приборов (ламп, нагревательных приборов, пылесосов и т. п.); состоят из штепсельной розетки (гнезда), укрепляемой на стене и присоединяемой к сети, и присоединяемого к проводам переносного прибора — штепселя с двумя (в трехполюсных соединениях—тремя) контактными штифтами (вилкой), расщепленными на конце (для пружинящего действия). Штифты вводятся в укрепленные в отверстиях розетки—контактные гильзы (фиг. 5). Розетка состоит из цоколя и привинчиваемой к нему крышки (и то и другое из фарфора или стеатита, реже из синтетических изолирующих веществ; т. к. последние менее хрупки, то из них чаще изготовляют штепсели). На фиг. 5: *а*—розетка для



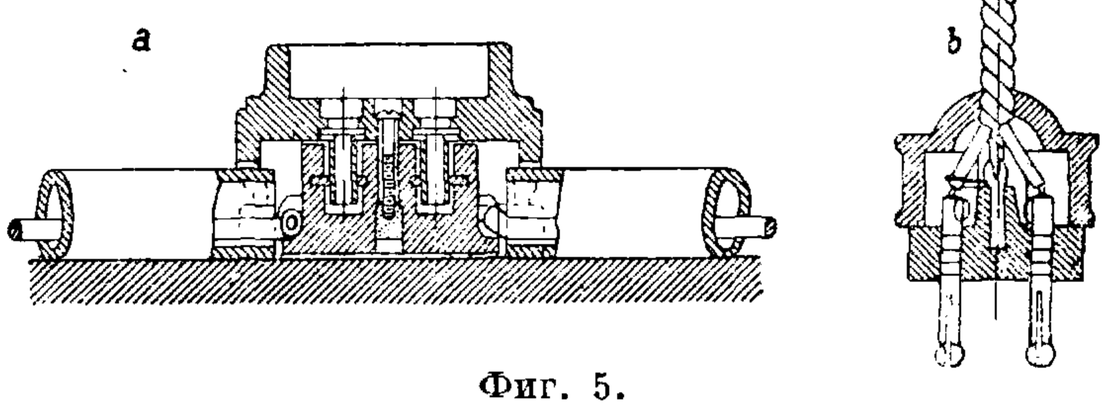
Фиг. 3.

проводки в трубках, *b*—вилка. В новых конструкциях делают расщепленными не штифты вилки, а контактные гильзы розетки, так как пружинящее действие последних в работе надежнее. Конструкция д. б. такова, чтобы при введении вилки контакт штифтов с гильзами розетки получался только тогда, когда уже



Фиг. 4.

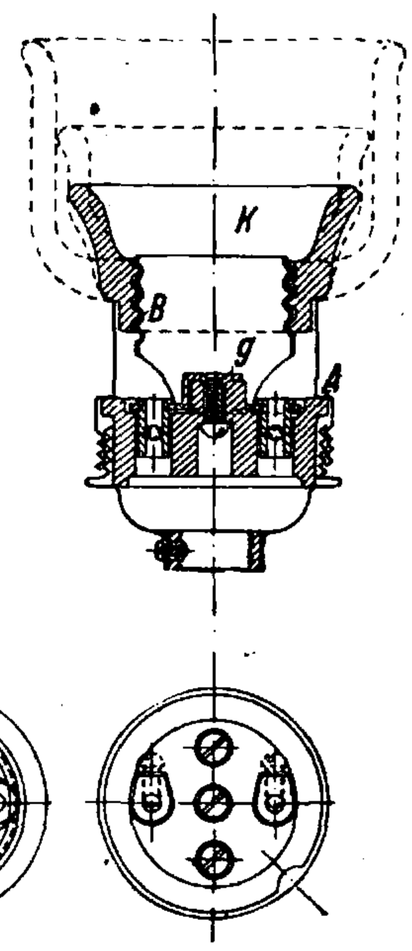
исключена возможность прикосновения рукой к штифтам; необходимо предотвратить возможность вводить вилку так, чтобы второй штифт выступал за край цоколя: иначе штифт, находясь под напряжением (соединен с сетью через приемник), будет доступен прикосновению. В штепсельных соединениях для трехпроводных установок с заземленным средним проводом конструкция отдельных штифтов должна не допускать неправильного введения вилки, а соединение с заземленным контактом должно получаться раньше, чем соединение с контактами крайних проводов. На розетке и штепселе помечают номинальные силу тока и напряжение (штепсельные соединения изготовляются для 6, 10, 25 и 60 А и для 250, 500 и 750 V). Главные размеры штепсельной розетки и штепселя нормированы. Внутри розетки вставлены в медные пружинящие зажимы пластинчатые предохранители (для малых сил тока из листка фольги, наклеенного на фибровую пластинку). Новые конструкции позволяют заменять сменную часть предохранителя,



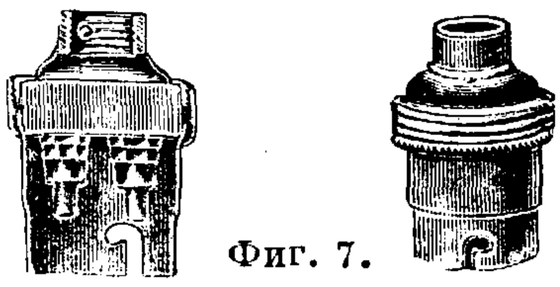
Фиг. 5.

не снимая крышку розетки. Для токов большой силы и напряжений выше 250 V, а также в помещениях со взрывчатыми газами рекомендуются штепсельные соединения с особым выключателем, связанным с блокирующим приспособлением, к-рое позволяет ввести вилку в розетку (или вынуть из нее вилку), только когда штифты не находятся под напряжением. Для присоединения больших двигателей, напр. в с. х-ве, такие штепсельные соединения защищают прочной железной коробкой. Для сырых помещений применяют герметические штепсельные соединения. За последнее время появились штепсельные соединения с контактами в виде двух концентрич. цилиндров [1,2,8,15,21].

Патроны служат для соединения электрич. лампы накаливания (см. *Лампы электрические*) с проводкой; бывают двух систем: Эдисона—с резьбой для соединения путем ввинчивания (наиболее распространены) и Свана—со штыковым (байонетным) соединением (менее удобны, более дороги; применяются при опасности вывинчивания лампы из патрона от сотрясений: в ж.-д. и трамвайных вагонах, на судах, автомобилях и т. п.; кроме того распространены и для других целей во Франции, Англии и Испании). Патроны бывают без ключа и с ключом (выключателем); последние (отличаются от патрона без ключа конструкцией цоколя и наличием механизма включения и выключения) выполняются для напряжений не свыше 250 V (в виду невозможности сконструировать для больших напряжений компактный выключатель с расстояниями, необходимыми для избежания опасного перескакивания искр). Вместо ключа в патроне в наст. время предпочитают обычно отдельный выключатель. Основная часть патрона Эдисона (фиг. 6)—фарфоровый цоколь *A*, на котором монтируется внутренняя медная гильза *B* с резьбой (для ввинчивания лампы), представляющая собой один из контактов для подвода тока, другой контакт *g* закреплен винтом на дне патрона посредине фарфорового цоколя. В общем патрон Эдисона сохранил и теперь конструкцию, приданную ему первоначально его изобретателем; только одно (но весьма существенное) добавление внесено в него за последние годы—приспособление для защиты от прикосновения; чтобы при ввинчивании лампы в патрон не произошло соприкосновения с токопроводящими частями, между винтовой и внешней гильзами навинчивается фарфоровое кольцо (на фиг. 6 оно обозначено буквой *K* и пунктиром показаны различные выполнения кольца). Части патронов делаются обычно металлические (внутренняя винтовая гильза и винты—из латуни и меди), внешние также из фарфора (редко из синтетических изолирующих материалов), а изолирующие—из фарфора и изоляционных масс. Размеры основных частей патрона нормированы. Патроны изготовляются нормального размера, уменьшенного («Миньон») и увеличенного («Голиаф»). У патрона Свана (фиг. 7) контакты в виде двух пружинящих штифтов внутри патрона, к-рые упираются в соответствующие контакты в цоколе лампы. Лампа удерживается в патроне штыковым соединением (лампу вставляют в патрон, вводя шпильку затвора в прорезь, а затем поворачивают; благодаря пружинению тонкой латуни части плотно прилегают друг к другу, обеспечивая надежный контакт). В патро-



Фиг. 6.



Фиг. 7.

нах Свана вместо фарфорового кольца защитная верхняя гильза обложена слегка выступающим наружу летероидом (плотным изоляционным картоном). Из новейших конструкций интересны патроны Сава (кроме обычной верхней оболочки тело патрона охвачено еще опирающимся на пружину подвижным цилиндром, полностью закрывающим цоколь лампы: этим устранена необходимость подбора фарфорового кольца той или иной высоты, соответствующей применяемой лампе) и ограничительные патроны для потребителей, оплачивающих энергию помесячно (без счетчика) в зависимости от силы света лампы (внутри винтовой гильзы вставляется особый опорный цилиндр с отверстием различной величины для каждой лампы, не позволяющий ввинтить лампу большей мощности; лампы д. б. при этом специальной конструкции) [8,15,21].

Ответвительные коробки служат для соединения между шнурами и ответвлениями от них; представляют собой комбинации зажимов (в к-рые зажимаются винтами провода) на фарфоровом круглом, реже четырехугольном, цоколе. Коробка закрывается прикрепляемой винтом к цоколю крышкой из фарфора, эбонита, бумажной массы или искусственных изолирующих веществ (иногда с металлич. оболочкой). Для проводки в трубках коробки делаются целиком из этих материалов с монтируемой внутри фарфоровой шайбой (с зажимами для присоединения проводов); эти коробки закрываются крышкой с штыковым затвором [1,2,5,8,12,15,21].

Потолочные розетки—разновидность ответвительных коробок, устанавливаемая на потолке для присоединения к проводке шнурового осветительного подвеса. В цоколе розетки есть специальное отверстие для укрепления холостой жилы шнура шнурового подвеса (холостая жила, разгружающая от механич. усилий токопроводящий шнур, имеет внутри крепкую пеньковую бечевку, к-рая поддерживает арматуру). Потолочные розетки снабжены, подобно штепсельным, плавкими предохранителями. Потолочную розетку с помощью шнуров прикрепляют к устанавливаемой предварительно на потолке деревянной розетке [1,2,8,21].

Приспособления для защиты проводки от токов, превышающих допустимые,—т. н. предохранители (см. *Электрические предохранители*). 1) Плавкие предохранители (обычно называемые кратко предохранителями) состоят из постоянной, несменяемой части и плавкой части (легкоплавкая проволока или пластина); последняя плавится при определенной силе тока, создавая т. о. в линии разрыв: течение тока, превышающего допустимый, прекратится ранее, чем он успеет вызвать опасное (для изоляции и в пожарном отношении) нагревание проводов линии. 2) Установочные автоматические выключатели за последнее время часто применяют (чтобы избежать расходов на замену плавких вставок) взамен плавких предохранителей; основаны на электромагнитном принципе или на расширении металлич. пластинки от нагревания проходящим через нее током (см. *Электрические предохранители*).

Трубки для прокладки проводов (см. *Провода*) [1,2,5,8,15,21] имеют назначением служить защитной оболочкой (независимо от трубок изоляцию проводов выбирают в зависимости от напряжения). За границей за последнее время в закрытых помещениях прокладка в трубках начинает вытеснять открытую прокладку на изолирующих приспособлениях (шнур или провод на роликах). Основные требования, предъявляемые к системе прокладки в трубках,—доступность в любое время проложенных в них проводов и возможность замены этих проводов в случае надобности. Прокладка в трубках осуществляется с помощью специальных инструментов, щипцов или приспособлений для сгибания трубок. Трубки применяются: из пропитанной особым составом бумаги с фальцованной оболочкой из лакированной освинцованной или омедненной жести, из латуни или цинка; трубки с освинцованной жестяной оболочкой противостоят вредным влияниям (в особенности химическим и сырости) лучше, чем трубки с оболочкой из латуни. Кроме круглых применяют трубки и полукруглые (преимущество: плотнее прилегают к стене, не оставляя места для скопления пыли). Если требуется более надежная механич. защита, то применяются более дорогие стальные или железные трубы (газовые трубы) с более толстыми стенками, т. н. панцырные (с внутренней изоляцией или без нее). Иногда применяют стальные трубки (без внутренней изоляции), изготовляемые с продольным разрезом или внапуск, т. е. с заходом одного края на другой (для вентиляции, во избежание скопления влаги), т. н. трубки Пешеля; они соединяются между собой пружинящими муфтами, обеспечивающими хо-

Табл. 1.—Размеры трубок для прокладки проводов [4,6]*1.

Сечение провода в *мм*²	Для одного провода			Для двух проводов			Для трех проводов			Для четырех проводов		
	Бергмана	Газовые	Пешеля	Бергмана	Газовые	Пешеля	Бергмана	Газовые	Пешеля	Бергмана	Газовые	Пешеля
1	9	3/8	8	13,5*2	1/2	14	13,5	5/8—3/4	14	16	5/8—3/4	14
1,5	9	3/8	8	13,5	1/2—5/8	14	16 *2	5/8—3/4	14	16 *2	3/4	18 *2
2,5	9	3/8—1/2	8	13,5—16	5/8	14	13	3/4	18	23	3/4	18
4	11	3/8—1/2	14	16	3/4	18	23 *2	3/4—1	18	23	1	26
6	13,5*2	1/2—5/8	14	16	3/4	18	23	1	26	23	1	26
10	13,5	1/2—5/8	14	23	1	26	23	1—1 1/4	26	29 *2	1 1/4	37 *2
16	16 *2	5/8	18 *2	23	1—1 1/4	26	29	1 1/4—1 1/2	37 *2	29	1 1/4—1 1/2	37
25	16	3/4	18	29	1 1/4	37 *2	36	1 1/2	37	36	1 1/2	37
35	23	3/4—1	26 *2	29—36	1 1/2	37	—	1 3/4	37	—	1 3/4—2	—
50	23	1	26	36	1 1/4—1 3/4	37	—	1 3/4—2	—	—	2	—
70	23	1—1 1/4	26	—	1 3/4—2	—	—	2—2 1/4	—	—	2 1/4—2 1/2	—
95	29	1 1/4—1 1/2	26	—	2—2 1/4	—	—	2 1/4—2 1/2	—	—	2 1/2	—
120	29	1 1/4—1 1/2	37 *2	—	2 1/4	—	—	2 1/2	—	—	2 1/2—3	—
150	36	1 1/2	37	—	2 1/2	—	—	3	—	—	3	—

*1 Диаметры трубок Бергмана и Пешеля показаны в *мм*, а для газовых труб в дм. *2 Для прямых и коротких участков берут трубку меньшего диаметра.

рошее электрич. соединение, особенно ценное при прокладке в трубках проводов высокого напряжения, когда требуется надежное заземление всех частей защитной металлич. оболочки. В многопроводных системах сама трубка используется в качестве заземленного нулевого провода. Для скрытой проводки (под штукатуркой) применяются изолирующие трубки (резиновые, эбонитовые) без металлич. оболочки (механическая прочность незначительная, но для прокладки не требуется специального вспомогательного инструмента). Наиболее распространены трубки из бумаги с фальцованной металлической оболочкой—трубки Бергмана (см. *Бергмана трубки*), названные так по герм. фирме, которая их впервые выпустила (размеры см. табл. 1).

Панцырные трубы часто снабжены внутренней изоляцией также из бумаги, пропитанной смолами; внешняя поверхность освинцована против ржавления; изготовляются обычно длиной в 3 *м*. Их соединяют при помощи муфт со сплошной нарезкой, чем достигается очень плотное соединение. Трубки из эбонита или резины без металлич. оболочки служат для предохранения проводов от сырости; фабричная длина 2 и 3 *м*; для соединения применяются муфты, представляющие собой отрезки таких же труб, но других размеров (табл. 2).

Табл. 2.—Размеры (в *мм*) гибких эбонитовых трубок и муфт к ним [8].

Диаметры трубок		Диаметры муфт		Длина муфт
внутрен.	внешний	внутрен.	внешний	
9	12	12	15	40
11	14	14	17	50
13,5	16,5	16,5	19,5	50
16	20	20	24	60
23	27	27	31	60
29	34	34	39	70
36	41	41	46	70

Мелкие крепительные материалы. Для прокладки проводов и шнуров применяются ролики из фарфора или стекла, иногда цветного (под цвет обоев), различного диаметра и высоты; в зависимости от толщины шнура берут более высокий ролик (при обычных для комнатной проводки напряжениях расстояние от стены до края провода д. б. $\leqslant$ 1 *см*); прикрепляются к стенам и потолку винтами для дерева (при деревянных стенах) либо на стальных *дюбелях* (см.). Для различных целей

Табл. 3.—Ролики и винты для различных установок [4].

Данные	Сечения проводов (в *мм*²)							
	1—2,5	4—6	10—16	25—35	50—70	95	120—150	2×1 2×4
Тип ролика	Р—П—2	Р—П—6	Р—П—16	Р—П—35	Р—П—70	Р—П—95	Спец. заказ	Р—Ш—4
Наружный диам. ролика (в *мм*)	21	30	34	38	42	50	60—65	19
Высота ролика (в *мм*) .	24	30	31	38	42	50	60—65	24
Длина винтов для установок (в *мм*):								
на дереве	45	60	60	70	70	85	100	45
» камне	50	60	70	70	85	100	120	50
» штукатурке	60—70	70—85	85	100	100	120	140	60—70
» железе	30	35	40	45	50	60	—	—
Диам. винтов (в *мм*):						Глухари	Глухари	
на дереве	4—4,5	4,5—6	5—6	6—7	8	10	12—16	4—4,5
» железе	5	6	6	6	8	10	—	—
Расстояние (в *мм*) между центрами роликов в ряд	50	50	50	70	70	100	100	45
Диам. вязальной проволоки (в *мм*)	0,75	0,75	1	1	1	1,5	1,5	тесьма

Табл. 4.—Размеры (в *мм*) втулок и воронок [4].

Провода		Эбонит. труб.		Бергмана трубки		Втулки				Воронки			
сечение в *мм*²	макс. диам.	внутр. диам.	внешн. диам.	внутр. диам.	внешн. диам.	тип	длина	наружн. диам.	внутр. диам.	тип	длина	наружн. диам.	внутр. диам.
2,5	5,5	—	—	7	11	ВТ—Б— 2	13	11	7,5	—	—	—	—
10 *1	8	—	—	9	13	ВТ—Б—10	13	13	9	—	—	—	—
16 *2	9,5	—	—	11	15	ВТ—Б—16	13	15	11	—	—	—	—
25	11,5	—	—	13,5	18	ВТ—Б—25	13	18	13,5	—	—	—	—
50	15	—	—	16	21	ВТ—Б—50	13	21	16	—	—	—	—
70	16,5	—	—	23	28	ВТ—Б—70	15	28	23	—	—	—	—
2,5	5,5	6	8	—	—	ВТ—К— 2	20	13	9	В— 2	70	13	9
6	6,5	8	10	—	—	ВТ—К— 6	25	15	11	В— 6	90	15	11
16	9,5	11	14	—	—	ВТ—К—16	30	21	16	В—16	105	21	16
35	12,5	15	18	—	—	ВТ—К—35	35	25	20	В—35	120	25	20
70	16,5	18	21	—	—	ВТ—К—70	40	28	23	В—70	130	29	23
95	18,5	21	28	—	—	ВТ—К—95	50	36	30	В—95	140	36	30
2,5	5,5	6	8	—	—	ВТ—Д— 2	30	13	9	—	—	—	—
16	9,5	11	14	—	—	ВТ—Д—16	50	21	16	—	—	—	—
70	16,5	18	21	—	—	ВТ—Д—70	70	28	23	—	—	—	—

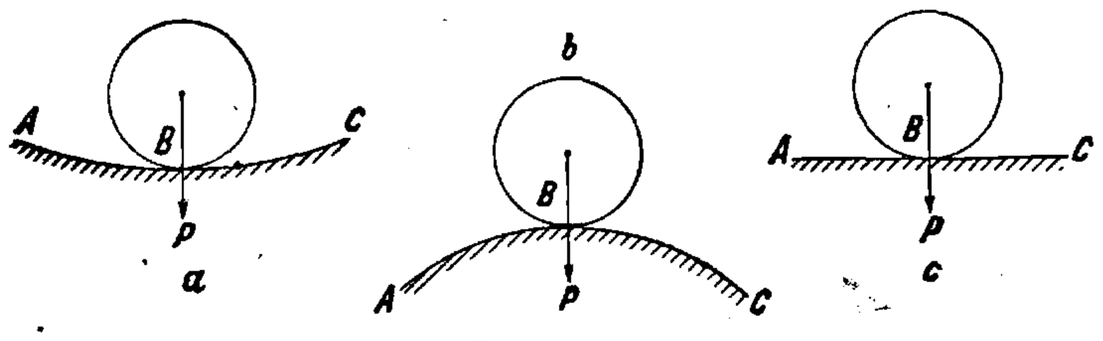
*1 Данные соответствуют также проводу марки ПРД сечения 2×2,5 *мм*². *2 То же для марки ПРД сечения 2×4 *мм*².

(проводка по железным балкам, на фабриках и з-дах и пр.) применяют закрепы специальной конструкции. Через внутренние стены провода прокладывают в фарфоровых втулках, уширенных с одного конца. Для прохождения через внешние стены провода прокладывают в воронках (втулки с слегка загнутым для защиты от попадания во втулку влаги концом). Данные о роликах, винтах, втулках и воронках для проводки сведены в табл. 3 и 4.

Лит.: [1]) AEG, Электричество как источник света и силы, 2 изд., Берлин, 1930; [2]) Александров В., Монтаж электрических установок, 4 изд., М., 1930; [3]) ГЭТ, Прейскуранты, М., 1925—27, 1932; [4]) Ленинградское отделение ВЭО, Электротехнический справочник, 3 изд., Л., 1932; [5]) Руководство Сименса, Электрическое оборудование световых и силовых установок, Берлин, 1924; [6]) СЭТ, Справочная книга для электротехников, т. 3, Л., 1928; [7]) Фауль Ф., Справочник по электротехнике, т. 3, Л., 1929; [8]) Фридман Д., Электроустановочные материалы, М., 1927; [9]) Хащинский В., Канализация электрической энергии (сети), ч. 2, Механический расчет и конструкция, Л., 1926; [10]) Электротехнические правила и нормы, 2 изд., М., 1927 и 1929; [11]) Croft T., American Electricians Handbook, N. Y., 1920; [12]) Croft T., Wiring for Lighgt a. Power, N. Y., 1920; [13]) Croft T., Wiring of Figished Buildings, N. Y., 1920; [14]) Fowle F., Standard Handbook for Electrical Engineers, 6 ed., N. Y., 1922; [15]) Lagron L., Appareillage Electrique, P., 1933; [16]) Pender H., Handbook for Electrical Engineers, 2 ed., New York, 1922; [17]) Piazzoli E., Tecnica degli impianti elettrici per luce e forza, v. 2, Milano, 1929; [18]) Pohl H., Die Montage elektrischer Licht- u. Klaftanlagen, 14 Aufl., Lpz., 1927; [19]) Rziha E. u. Seidener J., Starkstromtechnik, Taschenbuch für Elektrotechniker, B. 1, 7 Aufl., B., 1930; [20]) Sanderson Cl., Electric System Handbook, N. Y., 1930; [21]) Schoof K., Die Technik der elektrischen Installation (Cröschen Sammduq), B., 1930; [22]) Shuler A., Electric Wiring, N. Y., 1925; [23]) Strecker K., Hilfsbuch für die Elektrotechnik, Starkstromausgabe, 10 Aufl., B., 1925.

В. Хащинский.

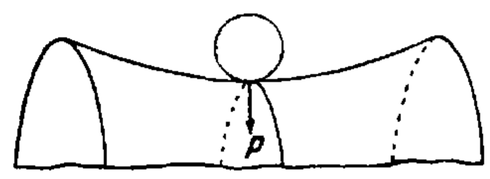
УСТОЙЧИВОСТЬ. Равновесие тел может быть устойчивым, неустойчивым и безразличным. Устойчивым называется такое положение равновесия, когда при малом отклонении от этого положения тело опять к нему возвращается; неустойчивым,—когда тело при малом отклонении уже не возвращается в прежнее положение, а отклоняется далее; безразличным,—когда тело, будучи отклонено, остается в равновесии и в новом положении. Примером устойчивого равновесия может служить тяжелый шарик B, находящийся внутри чашеобразной поверхности AC (фиг. 1,*a*); неустойчивого—шарик, расположенный в верхней точке выпуклой поверхности (фиг. 1,*b*), безразличного—тот же шарик, лежащий на горизонтальной плоскости (фиг. 1, *c*).



Фиг. 1.

Характер равновесия м. б. различен для различных направлений отклонения от положения равновесия. Например если вместо сферической чаши возьмем цилиндрическую с горизонтальной образующей и сечением вертикальной плоскостью по линии ABC, то для случая по фиг. 1,*a* при отклонении шарика из положения равновесия по направлению образующей равновесие будет безразличным, при всяком другом отклонении—устойчивым, а для случая по фиг. 1, *b* при отклонении вдоль образующей равновесие тоже будет безразличным, при всяком другом—неустойчивым. Возьмем седлообразную поверхность (гиперболический параболоид) и поместим шарик в срединной точке поверхности (фиг. 2). В этом случае характер равновесия тоже будет различен для различных направлений отклонения. При одних направлениях равновесие будет устойчиво, при других—неустойчиво.

Аналитический признак У. таков: в положении равновесия работа δA всех приложенных к телу сил на бесконечно малых отклонениях от положения равновесия равна нулю (начало возможных перемещений). Работа ΔA на малых, но конечных отклонениях от положения равновесия будет отрицательной при устойчивом равновесии и положительной при неустойчивом; если $\Delta A = 0$, то равновесие будет безразличное. Другой признак: в положении равновесия потенциальная энергия имеет либо минимум либо максимум. Если минимум—равновесие устойчиво, если максимум—неустойчиво (теорема Дирихле).



Фиг. 2.

У. равновесия может зависеть также от величины действующей силы: при малой силе равновесие м. б. устойчиво, при большой—неустойчиво. То значение силы, при к-ром равновесие из устойчивого переходит в неустойчивое, называется критическим ($P_{кр.}$) (см. *Сила критическая*). Если при возрастании силы P работа ΔA приложенных к телу сил при малом его отклонении от положения равновесия меняет свой знак, то $P_{кр.}$ существует, если же работа сохраняет свой знак, то $P_{кр.}$ не существует. Для нахождения $P_{кр.}$ надо приравнять эту работу нулю и решить соответственное ур-ие относительно P. Можно воспользоваться теоремой Дирихле. Если с изменением силы P минимум потенциальной энергии переходит в максимум или наоборот, то соответствующее этому переходу значение P и будет критической силой $P_{кр.}$.

Для упругих систем тоже возможно несколько положений равновесия, к-рые могут быть как устойчивыми, так и неустойчивыми. Работами Брайана, Саутвелла, Мизеса и др. были выяснено, что теоремы Кирхгофа об однозначности решений ур-ий теории упругости неприменимы к таким телам, как тонкие стержни, пластины и оболочки, и что для них может иметь место несколько положений равновесия. Так, по Мизесу, если нагрузки, приложенные к упругому телу, заданы с точностью до некоторого числового множителя λ, то существует такое значение этого множителя λ_0, что для всех значений $\lambda < \lambda_0$ имеется только одно положение равновесия и притом устойчивое. Если λ стремится к 0, то это положение переходит в естественное, ненапряженное состояние тела. Если же $\lambda > \lambda_0$, то возможно несколько положений равновесия. Нагрузку, соответствующую значению $\lambda = \lambda_0$, называют критической. В отдельных случаях λ_0 может равняться ∞; для такой системы существует только одно устойчивое положение равновесия и для нее критической нагрузки не существует. Практически существование нескольких форм равновесия имеет значение лишь в тех случаях, если при $\lambda = \lambda_0$ не превзойден предел упругости. Это будут тела, у которых один или два размера малы сравнительно с третьим (пластины, тонкие стержни). Одни из этих форм равновесия устойчивы, другие неустойчивы. Для технич. целей чрезвычайно важно знать, какие из них являются устойчивыми, какие неустойчивыми, т. к. безусловно необхо-

димо, чтобы те формы равновесия, к-рые кладутся в основание расчетов на прочность, были устойчивы. Неустойчивое или безразличное равновесие в таких вопросах не может даже считаться равновесием. Во всех подобных задачах для инженера не так важно знать самую форму равновесия, как величину критич. силы, т. е. то значение ее, при котором равновесие из устойчивого переходит в неустойчивое. Для упругих систем существует вообще несколько критич. сил, из них для технич. целей важно знать одно наименьшее значение $P_{кр.}$, высшие же критические силы в большинстве случаев не представляют никакого интереса. Поэтому в дальнейшем ограничимся нахождением лишь наименьшей критич. силы.

Переходя к результатам определения критической силы, прежде всего отметим, что все они получены в предположении, что деформации происходят в пределах упругости и что материал следует закону Гука. Для тех случаев, когда форма равновесия становится неустойчивой при напряжениях, превосходящих предел упругости, имеется лишь очень небольшое число решений и то лишь для простейших случаев. Так, по Карману для основного случая продольного изгиба надо в ф-ле Эйлера модуль Юнга E заменить через

$$E_2 = \frac{4 E E_1}{(\sqrt{E} + \sqrt{E_1})^2},$$

где $E_1 = \frac{\Delta p}{\Delta \varepsilon}$ —отношение приращения напряжения к приращению деформации—д. б. найдено из предварительных опытов на сжатие за пределом упругости. Теория Кармана хорошо согласуется с опытами. Действительные значения критич. силы при деформациях за пределами упругости являются меньшими, чем вычисленные в предположении упругой деформации.

У с т о й ч и в о с т ь с т е р ж н е й. Наиболее важным и вместе с тем простым случаем является задача об У. сжатых прямолинейных стержней; о ней см. *Изгиб* п р о д о л ь н ы й, здесь приводим лишь нек-рые дополнения. Если сжатый стержень ослаблен заклепочными отверстиями диам. b, лежащими на равных расстояниях друг от друга, то по Диннику критич. сила

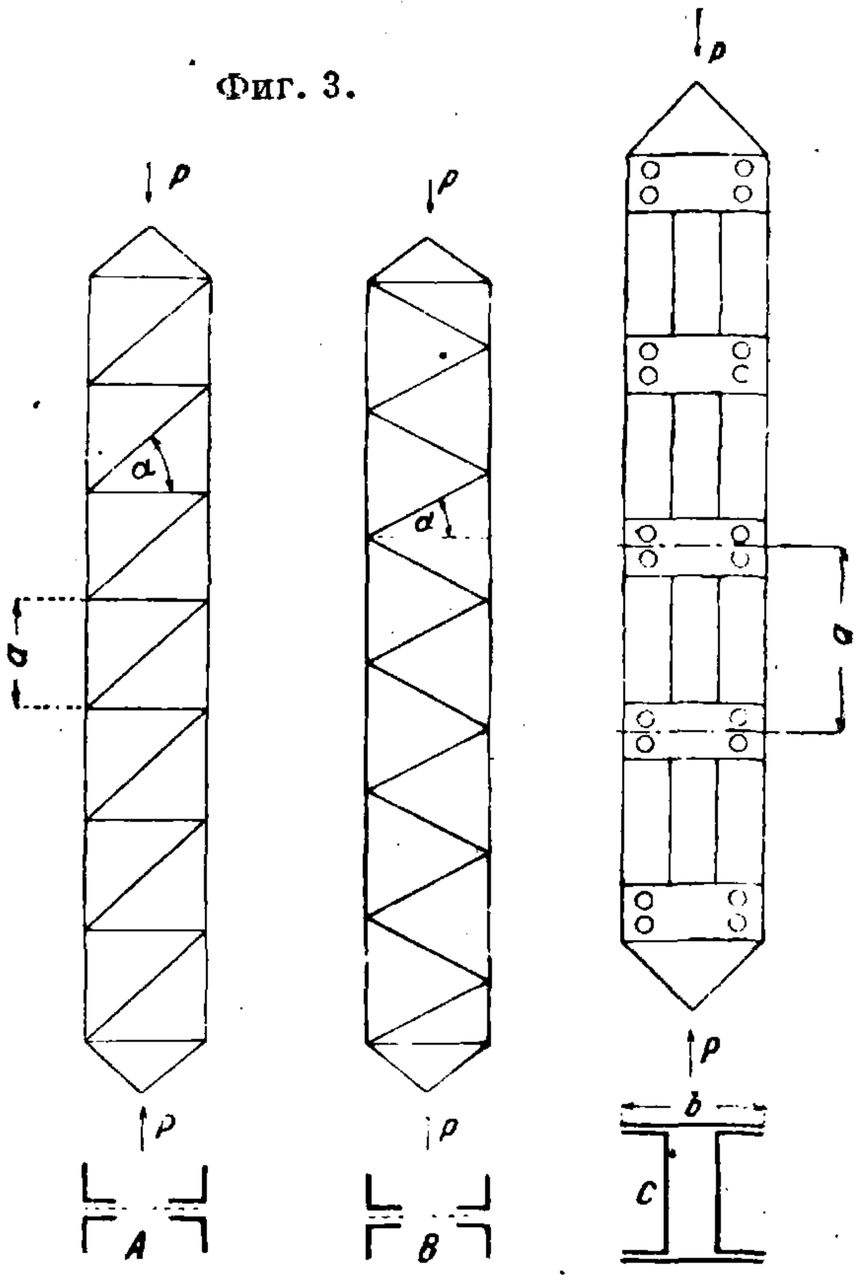
$$P_{кр.} = P_e \left[1 - \frac{\Delta I b}{I l} (N - S)\right],$$

где P_e—Эйлерова критич. сила для стержня без учета ослабления заклепками, ΔI—уменьшение момента инерции I заклепочными отверстиями, N—число всех заклепочных отверстий, S—вспомогательная величина. Вычисления показывают, что заклепочные отверстия мало влияют на величину $P_{кр.}$. Если напр. они уменьшают сечение и момент инерции на ~ 10%, то $P_{кр.}$ уменьшается на 1—2%; т. о. при расчете на продольный изгиб надо брать сечение брутто и не вычитать заклепочных отверстий. В инженерных сооружениях часто применяют составные стержни, склепанные из 2 или 4 стоек, соединенных решеткой. Их сопротивление продольному изгибу значительно меньше, чем сплошной стойки с тем же моментом инерции, и зависит от конструкции решетки. Для стержней (фиг. 3, *A*) $P_{кр.} = \varphi P_e$, где P_e—Эйлерова критич. сила, φ—коэф. уменьшения, определяемый из ур-ия

$$\frac{1}{\varphi} = 1 + P_e \left(\frac{1}{E F_1 \sin\alpha \cos^2\alpha} + \frac{b}{E F_2 a}\right),$$

где F_1 и F_2—площади сечения диагонали и распорки, а b—длина распорки (ширина стержня). Для случая фиг. 3, *B* член $\frac{b}{E F_2 a}$ отбрасывается; если решетка имеет перекрещивающиеся диагонали, то вместо F_1 надо поставить $2 F_1$.

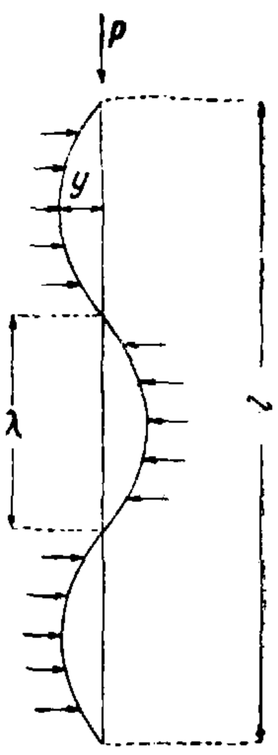
Фиг. 3.



Если пояса соединены между собой рядом поперечных планок (фиг. 3, *C*), то

$$\frac{1}{\varphi} = 1 + P_e \left(\frac{a b}{12 E I_2} + \frac{a^2}{24 E I_1}\right),$$

где I_1—момент инерции каждого пояса, I_2—момент инерции сечения планки при изгибе ее в плоскости изгиба всего стержня. Опыты в общем подтверждают эти ф-лы. При слабой решетке или слабых планках $P_{кр.}$ для стойки м. б. значительно меньше, чем P_e. Так, для сжатых стержней моста через реку св. Лаврентия в Квебеке, рухнувшего вследствие недостаточной устойчивости сжатых элементов, $P_e = 88\,000\ m$, критич. же сила, вычисленная по приводимым ф-лам, оказалась всего 31 000 m.



Фиг. 4.

При продольном изгибе стержня в упругой среде первой искривленной формой является синусоида с одной или несколькими полуволнами в зависимости от жесткости среды. По Тимошенко критическая сила определяется соотношением

$$P_{кр.} = P_e \left(m^2 + \frac{16 B^2}{\pi^4 m^2}\right),$$

где m—число полуволн (на фиг. 4 $m = 3$) и $B^2 = \frac{k l^4}{16 E I}$, где k—коэф. жесткости среды, т. е. то число, на к-рое надо множить прогиб стержня y, чтобы получить реакцию среды на единицу длины стержня. Величина B^2, соответствующая моменту перехода от m полуволн к $m + 1$, определяется из ур-ия

$$m^2 + \frac{16 B^2}{\pi^4 m^2} = (m+1)^2 + \frac{16 B^2}{\pi^4 (m+1)^2},$$

откуда

$$B^2 = \frac{\pi^4}{16} m^2 (m+1)^2.$$

Подставляя вместо m последовательно 1, 2,

3, 4 и т. д., получим ряд соответствующих значений B^2, приведенных ниже:

m . . .	1	2	3	4	5
B^2 . .	24	219	877	2 430	5 480

Пока $B^2 < 24$, первая искривленная форма имеет одну полуволну; если $24 < B^2 < 219$, то—две полуволны и т. д. При большом числе полуволн m длина их приближается к

$$\lambda = \pi \sqrt[4]{\frac{EI}{k}},$$

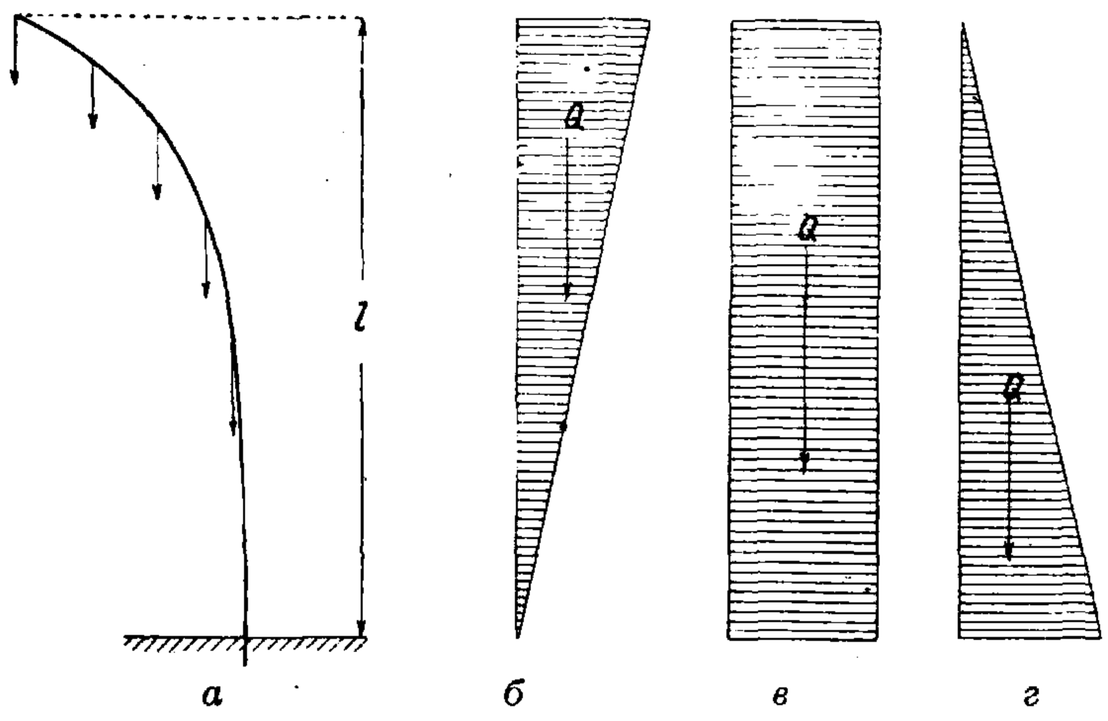
а критическая сила к

$$P_{кр.} = \frac{2\pi^2 EI}{\lambda^2} = 2\sqrt{kEI}.$$

В случае нагрузки Q, распределенной вдоль длины стержня (фиг. 5, $а$), ее критич. значение

$$Q = \frac{kEI}{l^2}.$$

Для 3 простейших случаев (фиг. 5, $б$, $в$ и $г$) коэф. k таков: 5,12, 7,87 и 16,1. Если стержень сжимается силами, распределенными симметрично



Фиг. 5.

относительно его середины и направленными к середине (случай сжатых поясов открытых мостов), то каждая половина стержня находится в условиях, изображенных на фиг. 5. В случае обоих опертых концов k имеет указанные выше значения; при обоих зажатых концах k соответственно равно 13,77, 18,92 и 30,94. Для статики сооружений очень важным является вопрос об У. стержневых систем. Напр. в шарнирной ферме, состоящей из прямых стержней, напряженных на растяжение и сжатие, но не на изгиб, при достаточно больших нагрузках кроме искривления отдельных стержней может иметь место потеря У. всей фермы. Ферма в целом может выпучиться из своей плоскости или, оставаясь плоской, изменить свою первоначальную форму. Эти вопросы до настоящего времени разработаны очень слабо. Для работающего на кручение тонкого круглого вала с опертыми концами прямолинейная форма перестает быть устойчивой и вал искривляется, если крутящий момент M достигает своего критич. значения

$$M_{кр.} = \frac{2\pi EI}{l}.$$

Если кроме M действует продольная сжимающая сила P, то $M_{кр.}$ определяется из ур-ия:

$$\left(\frac{M_{кр.}}{2EI}\right)^2 + \frac{P}{EI} = \frac{\pi^2}{l^2}.$$

В случае растягивающей силы надо изменить знак при P. Сжимающая сила уменьшает У. вала, растягивающая же увеличивает.

Круглое кольцо радиуса R под действием внешнего равномерно распределенного давления p начинает искривляться в своей плоскости и принимает эллиптическую форму, если давление на единицу длины кольца достигает величины

$$p_{кр.} = \frac{3EI}{R^3},$$

где I—момент инерции сечения кольца. Эта ф-ла хорошо согласуется с опытами. Для круговой арки с углом α при центре при опертых концах (фиг. 6)

$$p_{кр.} = \frac{4\pi^2 - \alpha^2}{\alpha^2} \cdot \frac{EI}{R^3}.$$

При $\alpha = \pi$ эта ф-ла переходит в предыдущую. В случае зажатых концов

$$p_{кр.} = \frac{kEI}{R^3};$$

значения k для нек-рых углов α даны ниже:

α . . .	120°	180°	240°	300°	330°
k . . .	18,18	8,00	4,57	3,28	3,00

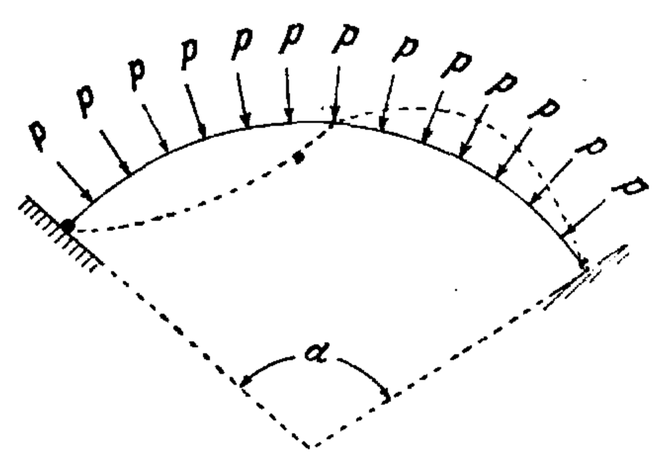
Кроме плоской деформации сжатое кольцо может потерять свою У., превратившись в пространственную кривую, т. е. дать «восьмерку». При этом если сжимающие силы p при деформации кольца остаются направленными к его центру, то

$$p_{кр.} = \frac{12}{4+\lambda} \frac{EI}{R^3}, \text{ где } \lambda = \frac{EI_1}{C}.$$

Если силы p при деформации остаются параллельными первоначальной плоскости кольца, то

$$p_{кр.} = \frac{9}{3+\lambda} \frac{EI}{R^3};$$

в обеих ф-лах EI—жесткость при изгибе в плоскости кольца, EI_1 — жесткость в плоскости, к ней перпендикулярной, C—жесткость кручения. Для круговой арки (фиг. 6) при пространственной деформации и силах, направленных к центру арки,



Фиг. 6.

$$p_{кр.} = \frac{(4\pi^2 - \alpha^2)^2}{\alpha^2(4\pi^2 + \lambda\alpha^2)} \frac{EI}{R^3}.$$

Эти ф-лы указывают на сильное падение У. сжатого кольца или арки, если λ велико, т. е. если жесткость кручения мала сравнительно с жесткостью изгиба.

Винтовая пружина теряет У. и начинает искривляться на сторону, если сжимающая сила достигает величины

$$P_{кр.} = \frac{\pi^2}{ll_0} \frac{\beta_1}{1 + \frac{\pi_2}{l^2}\beta_1 j_1},$$

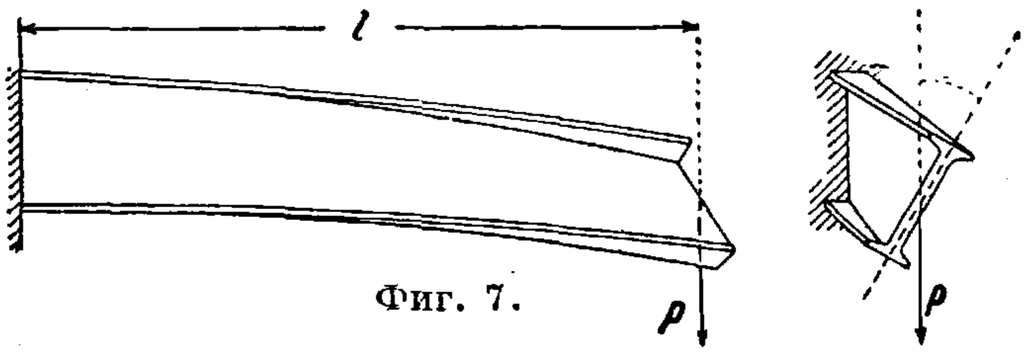
где l_0—начальная высота пружины, l—высота пружины, сжатой силой $P_{кр.}$,

$$\beta_1 = \frac{a^4 l_0}{2\pi r} \frac{EG}{E+2G}, \quad j_1 = \frac{4\pi r^3}{Ea^4 l_0},$$

причем $2a$—диам. проволоки, из к-рой свита пружина, $2r$—средний диам. витков пружины, G—модуль сдвига.

Устойчивость плоской формы изгиба. Если одна из главных жесткостей балки мала сравнительно с другой, то, изгибая балку в плоскости ее наибольшей жесткости, можно, постепенно увеличивая силу, достигнуть предела, когда плоская форма изгиба перестанет быть устойчивой. Ось балки ис-

кривится в направлении меньшей жесткости, причем отдельные поперечные сечения балки поворачиваются. Вместо плоского изгиба по-



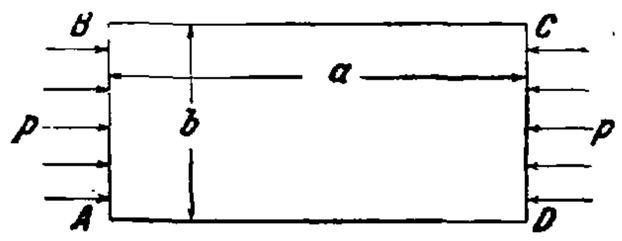
Фиг. 7.

лучается изгиб оси по линии двоякой кривизны, сопровождаемый кручением (фиг. 7). Критическая сила

$$P_{кр.} = \frac{k\sqrt{BC}}{l^2},$$

где $B = EI$—наименьшая жесткость балки при изгибе, C—жесткость при кручении и k—коэф., зависящий от рода нагрузки и способа закрепления концов балки. Для балки с одним зажатым и другим свободным концом (фиг. 7) при силе P на свободном конце $k = 4{,}01$; при равномерно распределенной нагрузке $k = 12{,}81$. Для балки с обоими опертыми концами, изгибаемой сосредоточенной силой по середине пролета, $k = 16{,}94$; при равномерно распределенной нагрузке $k = 28{,}3$; для тех же нагрузок при зажатых концах балки $k = 26{,}6$ и 102,8. Если балка изгибается моментами M, приложенными на обоих концах ее, то при опертых концах $M_{кр.} = \frac{\pi\sqrt{BC}}{l}$; при обоих зажатых—вдвое больше. Опыты Нуссбаума и Прандтля для балки с одним зажатым концом при силе P на другом свободном конце подтверждают теорию; сечение балки—вытянутый прямоугольник. Большой практический интерес имеет аналогичная задача об У. плоской формы изгиба высоких двутавровых полок. Она разрешена С. Тимошенко, давшим подробные таблицы для расчета таких балок. Его опыты дали хорошее совпадение с теорией.

Устойчивость пластин. Вопрос об У. пластин гораздо более сложен, чем вопрос об У. стержней. В настоящее время имеются удовлетворительные решения лишь для прямоугольных и круглых пластин. Для прямоугольной пластины, сжимаемой силами, равномерно распределенными по двум противоположным сторонам (фиг. 8), критическое сжимающее напряжение в *кг/п. см.*



Фиг. 8.

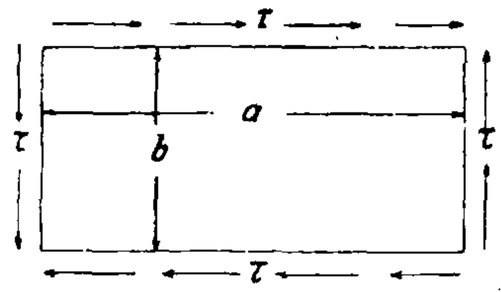
$$p_{кр.} = \frac{k\pi^2 D}{bh},$$

где $D = \frac{Eh^3}{12(1-\delta^2)}$—жесткость пластины, h—ее толщина, δ—постоянная Пуассона, коэф. k по Тимошенко дан в первой строке табл. 1. Для длинных пластин при $a > 3b$ можно считать $k = 4$. При $a < b\sqrt{2}$ первой искривленной формой является синусоида с одной полуволной; начиная с $a = b\sqrt{2}$ до $a = b\sqrt{6}$,—то же с двумя полуволнами; далее с тремя и т. д. Длинная пластина при выпучивании стремится подразделиться на отдельные квадраты. Вторая строка табл. 1 дает коэфициенты k для пластины, три стороны которой оперты, четвертая же AD свободна; третья строка дает k, если стороны AB и CD оперты, BC зажата и AD свободна; четвертая строка, –если и AB и

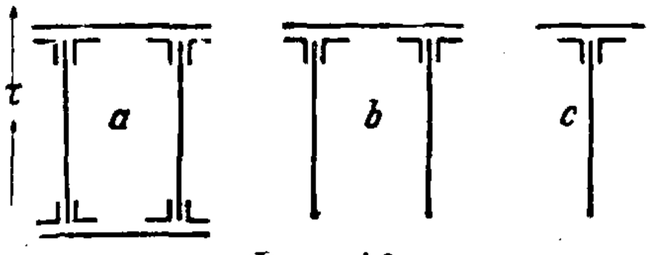
Табл. 1.—Значения коэфициентов k в зависимости от отношения $a : b$.

Значения отношения $a : b$							
0,5	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	3
6,25	4,10	4,13	4,17	4,20	4,04	4,00	4,00
4,40	1,44	1,13	0,95	0,33	0,76	0,70	0,56
—	1,70	1,17	1,36	1,33	1,34	1,38	1,31
7,69	7,69	7,05	7,00	7,29	7,05	—	—
—	9,42	8,0	7,3	7,0	6,8	6,6	6,1

CD оперты, а обе продольные стороны зажаты. Наконец в последней строке дано k для пластины с опертыми краями при действии касательных сил τ, равномерно распределенных вдоль сторон пластины (фиг. 9). С У. прямоугольных пластин приходится считаться при расчете стенок клепаных балок, стоек и сжатых мостовых поясов коробчатого или таврового сечений. Например боковые листы пояса (фиг. 10, a) надо рассматривать как длинные



Фиг. 9.



Фиг. 10.

прямоугольные пластины с опертыми или зажатыми (смотря по надежности заделки) продольными краями; для сечений по фиг. 10, b и c вертикальный сжатый лист является пластиной с нижним свободным и верхним опертым или зажатым краями и т. д. Для круглой пластины радиуса R, сжатой равномерно распределенными по периферии силами p (*кг/см*), критическая сила

$$p_{кр.} = \frac{kD}{R^2};$$

при опертых краях $k = 4{,}19$, при зажатых $k = 14{,}68$; D—как было дано выше.

Устойчивость оболочек. Оболочками называются тонкие пластины, имеющие в своем естественном ненапряженном состоянии криволинейную поверхность. Несмотря на значительное число исследований вопрос об У. оболочек надо считать слабо разработанным. Причина заключается в сложности задачи благодаря многочисленности различных типов деформации оболочек. Наиболее важной для техники и вместе с тем простой является задача об У. цилиндрической оболочки. Для весьма длинной круговой трубы при толщине стенки h, сжатой гидростатич. давлением q (напр. жаровая труба парового котла),

$$q_{кр.} = \frac{Eh^3(n^2-1)}{12(1-\delta^2)R^3},$$

где n—число полуволн в поперечном сечении искривившейся трубы. При наименьшем значении $n=2$ сечение трубы принимает эллиптич. форму. Соответствующее этому случаю критич. давление

$$q_{кр.} = \frac{Eh^3}{4(1-\delta^2)R^3}.$$

Эта ф-ла хорошо согласуется с опытами и по ней можно проверять на У. длинные трубы. Та же труба длиной l с закрепленными концами при искривлении принимает волнообразный характер. По Мизесу

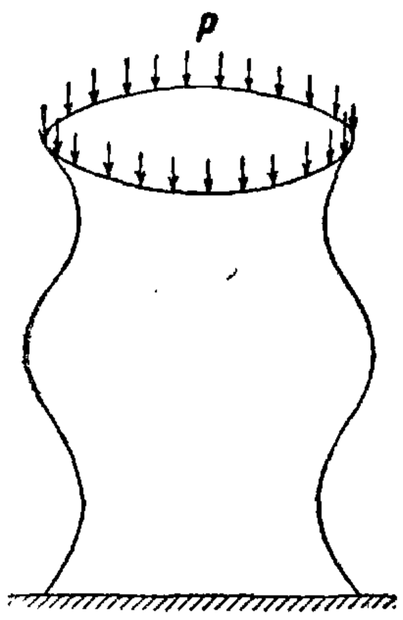
$$q_{кр.} = \frac{Eh}{2(n^2-1)NR} + \left(n^2 - 1 - \frac{2n^2-1-\delta}{N}\right)\frac{Eh^3}{12(1-\delta^2)R^3},$$

где $N=1+\left(\frac{nl}{\pi R}\right)^2$, n—число полуволн по окружности искривившейся трубы. При подсчетах по этой формуле n надо подобрать так, чтобы $q_{кр.}$ имело наименьшее значение. Несколько таких значений n для стальных труб дано в табл. 2.

Табл. 2.—Значения n для стальных труб.

Отношение $l:R$	Значения $R:h$			
	250	100	50	25
∞	2	2	2	2
10	4	3	2	2
5	5	4	3	3
2	8	6	5	4

Чем короче труба, тем больше полуволн появляется на ней. Опыты хорошо согласуются с теорией. Для трубы кругового сечения, сжимаемой силами, равномерно распределенными по торцам и направленными вдоль оси трубы (фиг. 11), критич. напряжение в случае деформации, симметричной относительно оси, равно



Фиг. 11.

$$p_{кр.}=\frac{Eh}{R\sqrt{3(1-\delta^2)}},$$

т. е. $p_{кр.}$ не зависит от длины трубы, а только от ее диаметра и толщины стенки h. Такой же тип деформации, но с одной полуволной имеет первая искривленная форма при коротких трубах; при длинных же могут появляться и другие более сложные типы деформации, несимметричные относительно оси. Для них

$$p_{кр.}=\frac{Eh}{R\sqrt{3(1-\delta^2)}}\cdot\frac{n^2-1}{n^2+1},$$

где n—число полуволн, появившихся в поперечном сечении трубы. В этом случае $p_{кр.}$ меньше, чем при деформации, симметричной относительно оси. Если труба изгибается как одно целое, то критич. сила

$$P_{кр.}=\frac{2\pi^3ER^3h}{l^2};$$

критич. напряжения найдутся делением $P_{кр.}$ на площадь сечения $2\pi Rh$. Критич. сдвигающее напряжение при кручении тонкостенной трубки приближенно (по Э. Шверину) равно

$$\tau_{кр.}=0{,}248\,E\left(1+0{,}45\,\frac{h}{R}\right)\left(\frac{h}{R}\right)^{\frac{3}{2}}.$$

По этой ф-ле можно проверять на У. тонкостенные трубчатые валы. Для сферич. оболочки радиуса R при действии гидростатич. давления q в случае деформации, симметричной относительно одного из диаметров, по Schwerin'у и Zoell'ю критич. напряжение

$$q_{кр.}=\frac{2Eh^2}{R^2\sqrt{3(1-\delta^2)}}.$$

Устойчивость вращающихся валов. Для случая вала кругового сечения, вращающегося около своей оси с угловой скоростью ω, с увеличением ω прямолинейная форма вала может оказаться неустойчивой и вал изогнется. Соответствующая скорость называется критич. скоростью $\omega_{кр.}$ (см. *Скорость критическая*).

Лит.: Основные исследования: Euler, De curvis elasticis, 1744; Lagrange, Sur la figure des colonnes, P., 1757; Brian G., «Proc. Cambridge Philosoph. Society», Cambridge, 1888, 1899; Тимошенко С., Об устойчивости упругих систем, Киев, 1910. История: Tothunter a. Pearson, History of the Theory of Elasticity a. Strength of Materials, v. 1—2, Cambridge, 1886—1893; Тимошенко С., Сопротивление материалов, М.—Л., 1930; Timoschenko S., Strength of Materials, N. Y., 1930; Mayer R., Knickfestigkeit, B., 1921; Love A., Theory of Elasticity, Cambridge, 1927; Timoschenko S., Stabilitätsprobleme der Elastizität, Hndb. d. physikalischen u. technischen Mechanik, hrsg. v. F. Auerbach u. W. Hort, Band 4, T. 1, Lpz., 1929; Geckeler J., Stabilitätserscheinungen, Handbuch der Physik, hrsg. von H. Geiger und K. Scheel, B. 6, B., 1928; Föppl A., Drang u. Zwang, 2 Aufl., B. 2, Mch., 1928.

А. Динник.

УСТОЙЧИВОСТЬ СУДОВ, см. *Остойчивость судов*.

УСТЬЕ РЕКИ, в общем смысле слова ее низовой участок при впадении в другую реку, озеро, лиман, море, океан; в специальном, портостроительном, смысле—совокупность низового речного участка и смежного участка озерного, лиманного, морского или океанского бассейна, в пределах к-рых имеет место смешанный гидрогеологич. режим, определяемый сочетанием влияний, с одной стороны, чисто речных гидрологич., геологич. и метеорологич. факторов, а, с другой,—озерных, лиманных и пр. У. р. по основному фактору ее гидрологич. режима—направлению течения—разделяются на безливные, с нормально односторонним поверхностным уклоном и течением (У. р., впадающих в озера и безливные моря—Аральское, Каспийское, Азовское, Черное, Средиземное и т. д.), и приливные, подверженные регулярному действию приливов и отливов и потому имеющие как правило двухсторонние поверхностные уклоны и течения, попеременно сменяющие друг друга, а в нек-рых фазах приливо-отливного явления (переход прилива в отлив и наоборот) даже существующие одновременно в разных по ширине частях речного потока (У. р. франц., герм., голландского и бельг. побережий океана, а также англ. рек; в СССР—У. р., впадающих в Белое море, Сев. Ледовитый океан и моря Тихого океана). Кроме того по форме плана различают У. р. бездельтовые, при к-рых речной поток изливается весьма ограниченным числом ясно обособленных рукавов (преимущественно одним рукавом), напр. У. р. Темзы, Мерзея, Клайда—в Англии, Сены, Луары, Жиронды—во Франции, Буга, Риона, Мезени—в СССР, и дельтовые, состоящие из весьма значительного числа рукавов и соединяющих их постоянных и временных протоков, к-рые при отливе, а в безливных условиях при спаде высоких весенних вод образуют лабиринт водных путей, разделенных множеством островов, в силу чего ряд речных рукавов часто не имеет ясно обособленного характера, например устья рек Инда, Ганга, Миссисипи, Нила, Дуная, Волги, Днепра, Дона, Северной Двины. Эти две основные системы классификации устьев рек не имеют между собою устойчивой взаимной связи, тем более что внутри каждой из них, сообразно амплитуде прилива и интенсивности нарастания дельты, существует много промежуточных видов, лишенных четкой, общеустановленной регламентации. Однако многочисленными лабораторными и натурными исследованиями выявлена тенденция приливных устьев рек, особенно при малом речном стоке и значительных амплитудах прилива-отлива, принимать бездельтовую форму плана, а безливных устьев рек—дельтовую плановую форму, особенно в условиях мощного жидкого и твердого расходов реки.

По естественному глубинному режиму У. р., вне зависимости от рассмотренных классификационных градаций, расчленяется на участки: б а р о в ы й, расположенный вне береговой территории, перед входом в реку, и р е ч н о й, составляющий остальную часть У. р., заключенную в основном в пределах береговой территории, но частично также выступающую за эти пределы до смыкания с баром. Баровый участок характеризуется пониженными естественными глубинами против смежных с ним водных пространств в ту и другую стороны судового хода в реку и представляет род порога на этом ходу. Подобное расчленение на баровой и речной участки свойственно всем У. р. кроме ничтожно малого числа исключений, обусловливаемых особыми весьма редкими естественными или искусственными условиями, напр. устья нек-рых сибирских рек или сев. рукава р. Рион. Обычная недостаточность естественных глубин, особенно в пределах баровых участков, и обусловливающий ее сложный гидрогеологич. режим усиленной аккумуляции речных и морских наносов вынуждают для обеспечения в У. р. нормальных условий морского судоходства прибегать в подавляющем большинстве случаев к искусственным мероприятиям. Редкий пример исключительно благоприятных естественных условий представляет У. р. Енисей, допускавшее плавание судов с осадкой до 8 *м*; обычно же проходные глубины в У. р. равны 4—2 *м* и ниже. До середины 19 в., когда начали усиленно развиваться дноуглубительные работы, эти мероприятия сводились в основном к устройству выправительных сооружений, сжимающих речной поток, береговых укреплений, заграждений боковых рукавов, продольных и поперечных водостеснительных дамб в речных участках У. р., а также параллельных молов в баровых их участках. В дальнейшем, по мере выявления недостаточной эффективности одних выправительных, к тому же дорогостоющих, сооружений, а равно с усовершенствованием дноуглубительных снарядов, улучшением производства и удешевлением дноуглубительных работ в искусственные мероприятия по улучшению устьевых судоходных условий все более и более включались дноработы, причем их уд. в. в этих мероприятиях нарастал в такой мере, что теперь дноуглубление является уже основным методом улучшения глубинного режима У. р., а выправительные сооружения играют обычно подсобную роль и применяются главным образом лишь в приливных условиях.

Наиболее значительные работы по улучшению судоходных условий в У. р., исполненные за границей, следующие: а) река Клайд (подход к Глазговскому порту)—предельная осадка судов до искусственного улучшения судоходных условий ок. 1 *м*, ныне до 7,5 *м*; 1773—1835 гг.—только выправительные сооружения, не давшие значительного эффекта; затем—продольные направляющие дамбы и землечерпание до 40 млн. $м^3$; общая стоимость работ ок. 20 млн. зол. р.; б) р. Мерзей (подход к Ливерпульскому порту)—естественная глубина на баре при отливе ок. 3,2 *м*, то же искусственного судового хода—8,5 *м*; работы только дноуглубительные; за 1890—1905 гг. общая выемка до 50 млн. $м^3$; в) р. Луара—предельная осадка судов до Нанта в естественных условиях ок. 2,5 *м*; постройка в 1834—1865 гг. продольных дамб на протяжении до 20 *км* дала лишь местные углубления русла; сооружением обходного берегового канала длиной ок. 16 *км* против наиболее тяжелого участка реки, а также интенсивными дноработами, начатыми в 1894 г., была обеспечена до Нанта проходная судоходная глубина 5,2 *м* при отливе; г) р. Маас (подход к Роттердамскому порту), 1863—1877 гг.,—устроен в дюнном берегу в обход естественного устья прямой канал в море длиною 4,5 *км* с ограждением морского входа расходящимися молами; по всей длине речного участка устья ок. 80 *км* были сооружены парные продольные дамбы в расстоянии одна от другой 250 *м* выше Роттердама, 350 *м* в районе его и до 700 *м* в самом устье; недостаточная эффективность этих выправительных работ побудила к производству в 1877—1887 гг. интенсивных дноработ общим объемом свыше 55 млн. $м^3$, к-рые обеспечили устойчивый судовой ход глубиною 6,7 *м* при отливе и 8,4 *м* при приливе.

Крупнейшие работы того же назначения в У. р. СССР: а) р. Волга (подход к Астраханскому порту)—безуспешные попытки улучшения судоходных условий на баре Камызякского рукава в 1858—1869 гг. путем гл. обр. выправительных работ; осуществление в 1874—1882 гг. устойчивой дноуглубительной прорези через бар Бахтемировского рукава, который служит главным судовым ходом до настоящего времени; б) р. Днепр (подход к Херсонскому порту)—неудачные первые попытки 1876—1883 гг. устройства искусственной прорези с помощью маломощных землесосных аппаратов без надлежаще разработанного проекта и необходимого опыта в производстве таких работ; последующее успешное достижение и поддержание требуемой проходной глубины до Херсона на протяжении около 70 *км* с помощью одних дноуглубительных работ, исполняемых более совершенными и мощными землечерпательными снарядами.

Международные судоходные конгрессы, имевшие суждения по вопросам улучшения судоходных условий в У. р.: Третий (Франкфурт, 1888 г.), Четвертый (Манчестер, 1890 г.), Пятый (Париж, 1892 г.), Шестой (Гаага, 1894 г.), Седьмой (Брюссель, 1898 г.), Десятый (Милан, 1905 г.), Одиннадцатый (Петербург, 1908 г.), Двенадцатый (Филадельфия, 1912 г.).

Лит.: Л я х н и ц к и й В., Общие основания улучшения судоходных условий устьев рек, подверженных действию морских приливов, «Труды отд. торговых портов», П., 1918, вып. 61 (указана обширная литература); е г о ж е, Изыскания в устьях р. Сев. Двины, там же, 1916, вып. 49; Б а л и н с к и й К., Устья р. Волги и Астраханский морской канал, там же, 1914, вып. 32; З и л о в Ю., Изыскания в восточной части Таганрогского залива, там же, 1914, вып. 35; В а л е д и н с к и й В. и А п о л л о в Б., Дельта р. Волги, «Труды отд. портов ЗКВ», Тифлис, 1930, т. 1, вып. 5; Л я х н и ц к и й В., Исследование устьев р. Невы и вершины Финского залива, «Труды отд. торговых портов», П., 1923, вып. 65 (имеется обширная лит.); Труды III—VIII и X—XII международных судоходных конгрессов 1888—1912 гг.

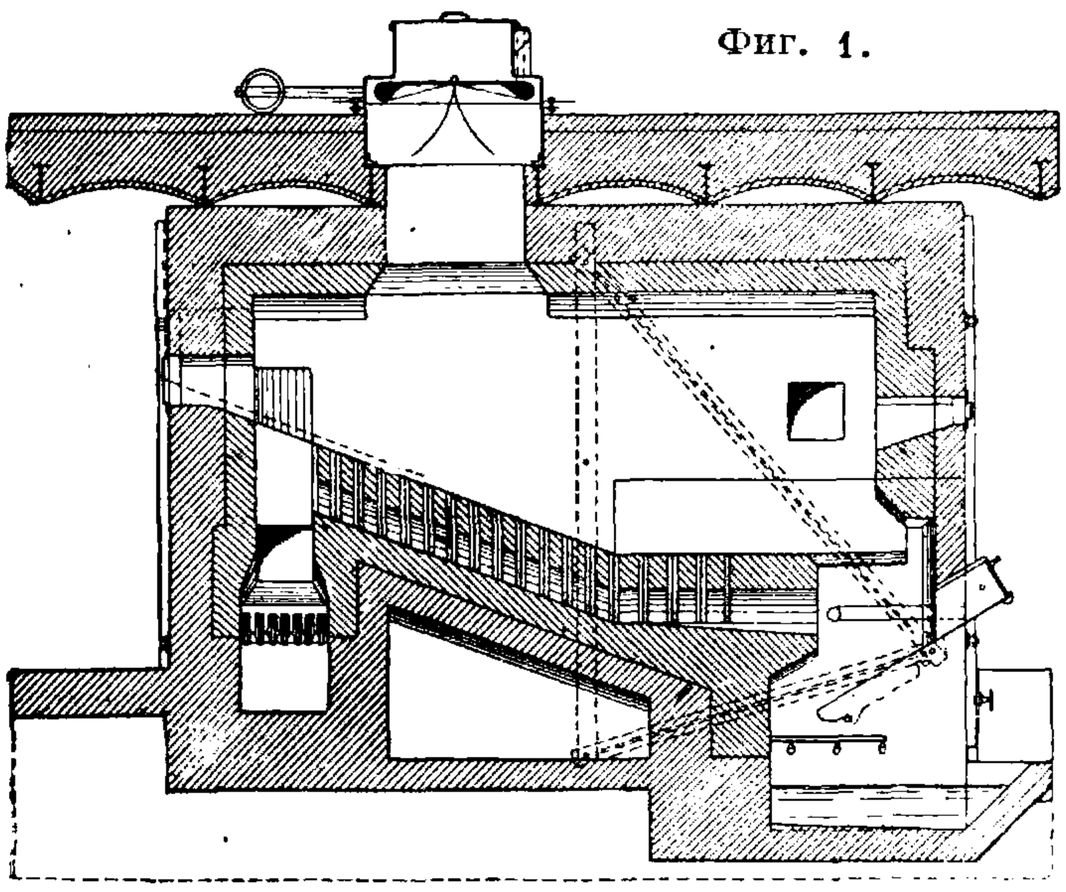
Н. Божич.

УТИЛИЗАЦИОННЫЕ ЗАВОДЫ, предприятия, в к-рых производится утилизация всевозможных отбросов путем фабричной переработки термической и механической—с полным использованием без остатка всех заключающихся в отбросах органич. и неорганич. частей. Известны два типа У. з.: 1) з-ды для утилизации трупов павших животных и разных конфискатов в виде испорченных пищевых продуктов, негодных для питания людей, и 2) з-ды для утилизации мусора (мусороутилизационные).

I. Заводы для утилизации трупов павших животных устраиваются при крупных бойнях

для переработки животных, павших на бойне или оказавшихся заразными, а также забракованных мясных продуктов, конфискуемых ветеринарными врачами. В отличие от последних У. з. устраиваются также У. з. специально для трупов животных, павших от всевозможных заразных болезней вне территории боен, не могущих быть завезенными по санитарным соображениям на территорию боен. Район обслуживания этих У. з., устроенных вблизи населенных пунктов, достигает иногда нескольких десятков *км*. Внутреннее устройство, расположение помещений и оборудование тех и других У. з. совершенно одинаково. В виду опасности для обслуживающего транспорт персонала трупы доставляются на У. з. специальными транспортными средствами, устроенными с соблюдением всех требований, предъявляемых к ним санитарно-ветеринарным надзором. Самыми примитивными и антисанитарными устройствами для утилизации трупов павших

Фиг. 1.



животных являются живодерни со скотомогильниками, в к-рых с павшего животного сдирается кожа как более ценная часть трупа, а тушу или зарывают в землю, или сжигают в открытом поле, или варят в котлах для добычи сала, или оставляют на открытом поле как приманку для отравления и ловли бродячих в окрестности животных. Такие устройства, крайне антисанитарные, ускользающие иногда от наблюдения санитарно-ветеринарного надзора, могут явиться распространителями различных острозаразных и гибельных для людей болезней, как сибирская язва, сап, туберкулез. В этих случаях трупы д. б. уничтожены целиком, без снимания шкуры. Кроме того нетерпим неприятный запах, распространяемый живодернями вблизи населенных пунктов. Сжигание трупов животных является наиболее совершенным обезвреживанием заразных трупов; сжигание производится или в открытом поле в специально выкопанных ямах или в специальных печах. Наиболее употребительная система печей для сжигания трупов—печь сист. Кори (Cori)—представлена на фиг. 1.

Трупы мелкие целиком, а крупные—разрезанными частями вводятся в топку через загрузочное отверстие; топка представляет наклонную шамотную колосниковую решетку с шамотным сводом. Пламя от горючего, загружаемого на колосниковую решетку, расположенную справа внизу, омывает тушу и уходит в трубу. Отверстие с левой стороны—для шурования во время сжигания и для удаления золы, оставшейся после сжигания трупа. С левой стороны внизу устроена добавочная топка, пламя к-рой омывает отходящие из главной топки газы перед их выходом в дымовую трубу и тем дожигает несгоревшее почему-либо в газах и совершенно их обезвреживает; по наклонной плоскости стекает вниз жидкость; передняя часть шамотной решетки сделана плоской и служит для предварительной подсушки. Внутренние размеры топки 0,77 × 2,20 *м*. Вес шихты 750 *кг*, расход топлива 350 *кг*, продолжительность сжигания трупа 7 ч.

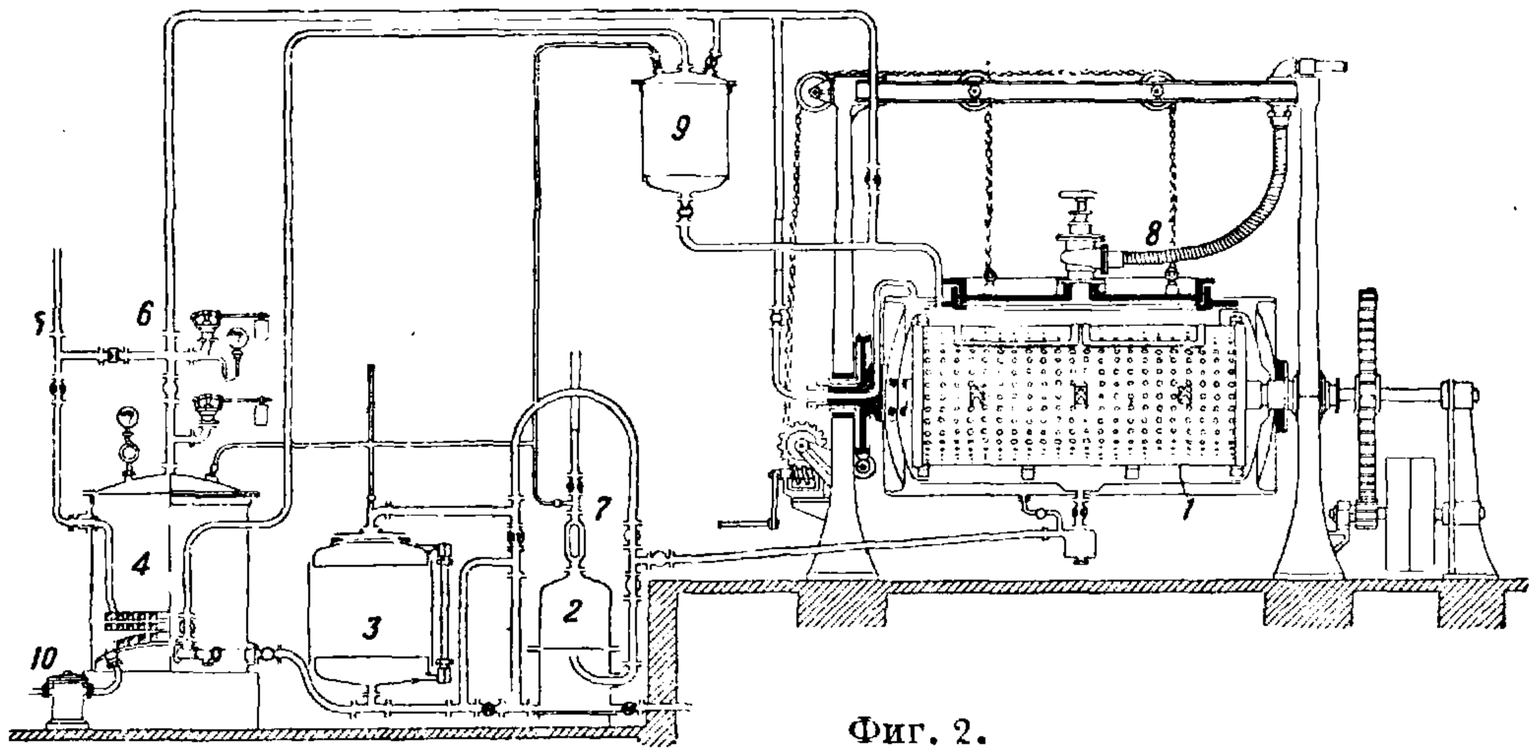
Обезвреживание трупов павших животных путем сухой перегонки производится в железных ретортах; при этом способе получаются обугленный труп и светильный газ высокой теплопроизводительности; но этот способ не привился из-за присутствия в газе большой пропорции сернистых соединений.

Химич. переработка трупов серной кислотой производится в бетонных ямах размерами в длину 2,50 *м* и в глубину 1 *м*, куда наливается серная кислота 60° Bé в количестве, достаточном для полного погружения трупа в цельном, неразрезанном виде; процесс проходит при обычной *t*° и длится 24—48 часов; сокращается процесс при высокой *t*° с сокращением времени до 3 ч., если на труп, опущенный в медный чан, воздействовать паром; серная к-та совершенно разрушает мясо, кости же остаются недостаточно разрушенными; жир всплывает вверх и легко м. б. удаляем. В чане остается раствор темного цвета, очень неприятного запаха; он насыщается трехкальциевым фосфатом, к-рый нейтрализует излишек к-ты; после просушки этой массы получается удобрительный тук—суперфосфат, содержащий большое количество азота; просушка сопровождается выделением очень неприятного запаха. Недостатки—несовершенство разрушения и большая продолжительность процесса.

Способ растворения в щелочи основан на том, что едкие щелочи вызывают сильную реакцию во всех химических соединениях органич. происхождения; применяется для этой цели 10%-ный раствор каустич. соды, подогретый до 95°; в этом растворе происходит постепенное и последовательное растворение сначала волоса, потом кожи, мышц, внутренностей и наконец органич. клетчатки и костей. Процесс продолжается 1—3 ч. в зависимости от объема погруженных частей; по окончании процесса получается скелет с признаками б. или м. полного распада и красноватый раствор, соответствующий органич. части трупа. После охлаждения раствор принимает вид желе, покрытого слегка омыленной пленкой жира. Процесс протекает без выделения какого-либо запаха; при подогреве, если раствор доводить до состояния кипения, наблюдается слабое выделение аммиака. Аппарат представляет продолговатый чан чугунный или из материалов, не разъедаемых щелочью, монтированный т. о., чтобы можно было его подогреть углем или газом или перегретым паром, и снабженный кранами для выпуска различных слоев растворенного вещества. Доза каустич. соды, вводимой в чан, равна $^1/_{10}$ веса трупа; вода добавляется в количестве, достаточном для получения 12—15% щелочи, и разогревается до кипения; после этого погружается труп; во избежание выделения аммиака следят за тем, чтобы температура не поднималась выше 95°; жиры используются в мыловаренном производстве; кости и вся органическая масса с большим содержанием азота, измельченные и высушенные, используются как удобрение. Тот и другой химические способы совершенно уничтожают все зародыши инфекционного характера (споры сибирской язвы и др.).

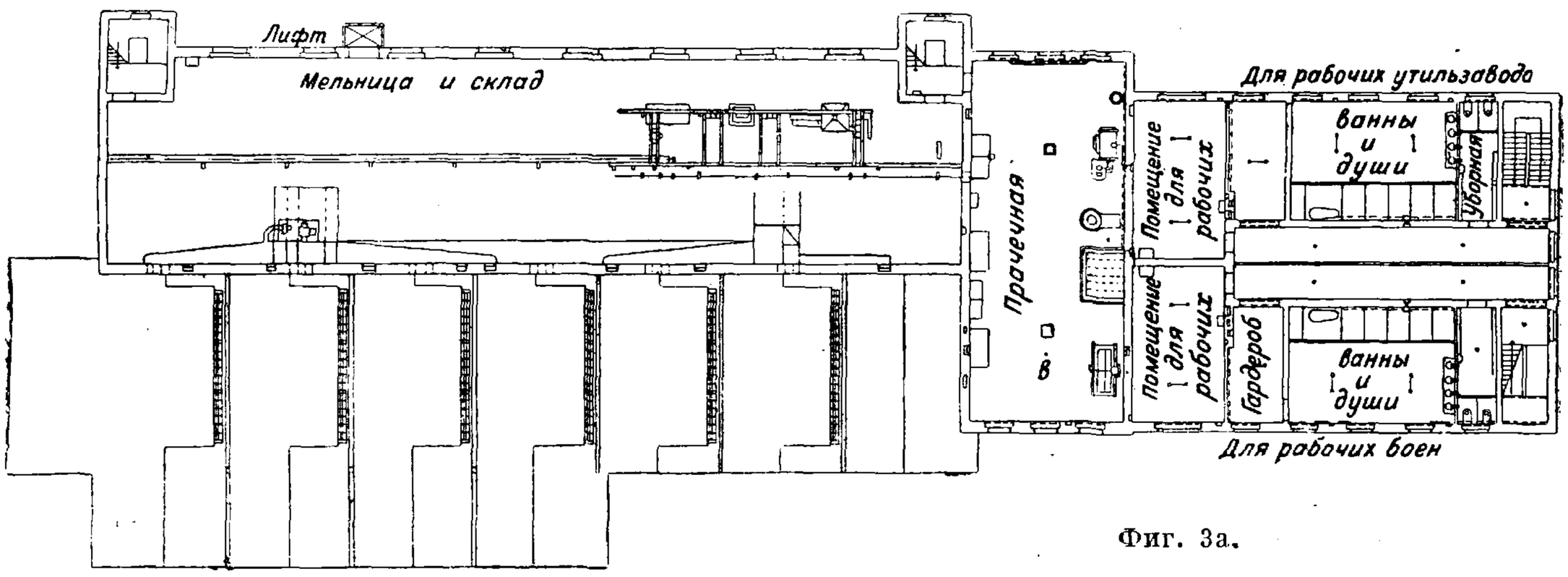
Варка с кипячением при атмосферном давлении при 100° растапливает жир и извлекает желатину; для облегчения извлечения жирных

веществ добавляют H_2SO_4. Вскипяченное мясо разрезается на части и сушится в сосудах, энергично проветриваемых; бульон-желе идет для технич. использования; высушенные кости превращают в костяную муку. Недостатки этого способа заключаются в недостаточности $t°$ варки (100°), не обеспечивающей уничтожения патогенных микробов, несовершенном извлечении жиров (в меньшем количестве); мясокостная мука не может быть использована как корм для животных; при кипячении выделяются плохо пахнущие пары. Наиболее совершенным и получившим большое развитие способом является варка трупов под давлением до 5 *atm* при $t°$ до 150°, достаточной для уничтожения самых стойких спор; при этом происходит полное растапливание жиров и частичное растворение белковых веществ; твердый остаток подвергается просушке и помолу. Количество экстрагированных жиров колеблется в зависимости от упитанности животного от 7 до 48%. Обычно предпочитают иметь дело со свежими трупами. Желатинный бульон, содержащий органические и неорганические вещества, легко подвергается гниению. Во избежание этого бульон под действием пара высокого давления концентрируют до полужидкого состояния и в таком виде примешивают его как вяжущее вещество к известковым растворам для штукатурных работ или просушивают вместе с мясокостной мукой, чем хотя и достигается обогащение этой последней, но придается способность к их быстрому разложению. Мясокостная мука, полученная при этом способе, является хорошим кормом для поросят, цыплят, уток и других домашних животных; ее средний химич. состав: H_2O—5%, сухие вещества—95%, из них: минеральные вещества—20%, фосфорная к-та (P_2O_5)—7%, азот—9%, протеин—50%, жиры—14%. Мясокостная мука с содержанием влаги 6—10% меньше подвержена разложению. Варку производят в герметически закрытых котлах под давлением в 5 *atm*. Самые простые паровые аппараты высокого давления д и г е с т о р ы—вертикальные паровые котлы—не обеспечивают выполнения санитарных требований за неимением соответствующих приспособлений для улавливания газов. У. з. распространяют зловоние как при варке, так и при сушке несмотря на то, что технич. процессы и производятся в герметически закрытых аппаратах. Более усовершенствованный аппарат — стерилизатор-д е с с и к а т о р, состоящий из трех сосудов; во время варки пары и жидкости удаляются во второй сосуд-приемник, в к-ром отделяются жиры и бульон, выпускаемые оттуда специальными кранами, а пары конденсируются впрыскиванием холодной воды; конденсат с парами выпускается в третий сосуд, где достигается окончательная конденсация. Процесс варки продолжается 6 ч.; мясо и кости, выгруженные из дезинфектора-стерилизатора, загружают в специальные сушильные камеры. Передача материала из аппарата в камеры связана с возможностью передачи инфекции.



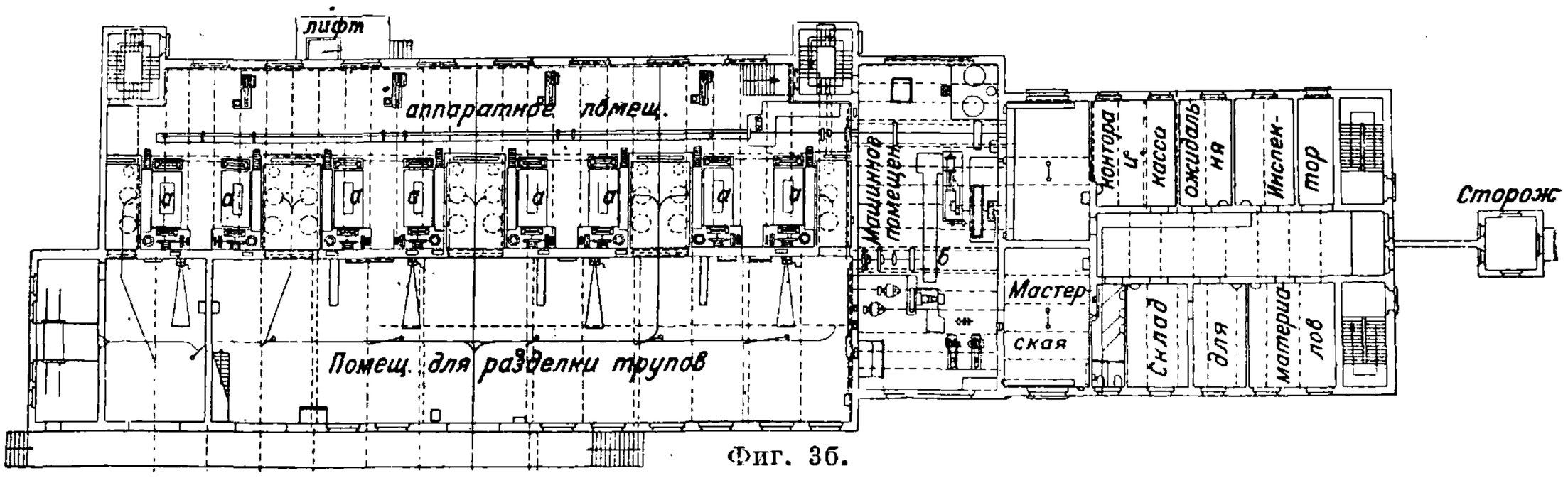
Фиг. 2.

Самыми распространенными в СССР и Зап. Европе являются аппараты Гартмана (фиг. 2). По этой системе устроены: самый крупный з-д в Зап. Европе, в Руднице (под Берлином), на 8 аппаратов, з-д на московских бойнях и з-д, перестраивающийся в Ленинграде. Эта система основана на принципе действия поступающего из котельной пара во время варки и сушки не прямо на загруженный материал, а через превращение в пар заключающейся в трупе воды. Агрегат состоит из экстрактора *1*, жироотделителя *2*, приемника *3*, испарителя *4*, котельной трубы *5*, трубы, соединяющей испаритель с экстрактором, *6*, трубы для отвода клея *7* (верхние отверстия экстрактора *8*), собирателя клея *9* и спускного крана *10*. Вся закладываемая загрузка в аппараты этой системы равна 500 *кг*. На фиг. 3а и 3б изображено в плане двухэтажное здание крупной установки утилизационного з-да в Руднице (под Берлином) на 8 агрегатов *а* емкостью в 500 *кг* каждый. В нижнем этаже—аппаратное отделение и по-



Фиг. 3а.

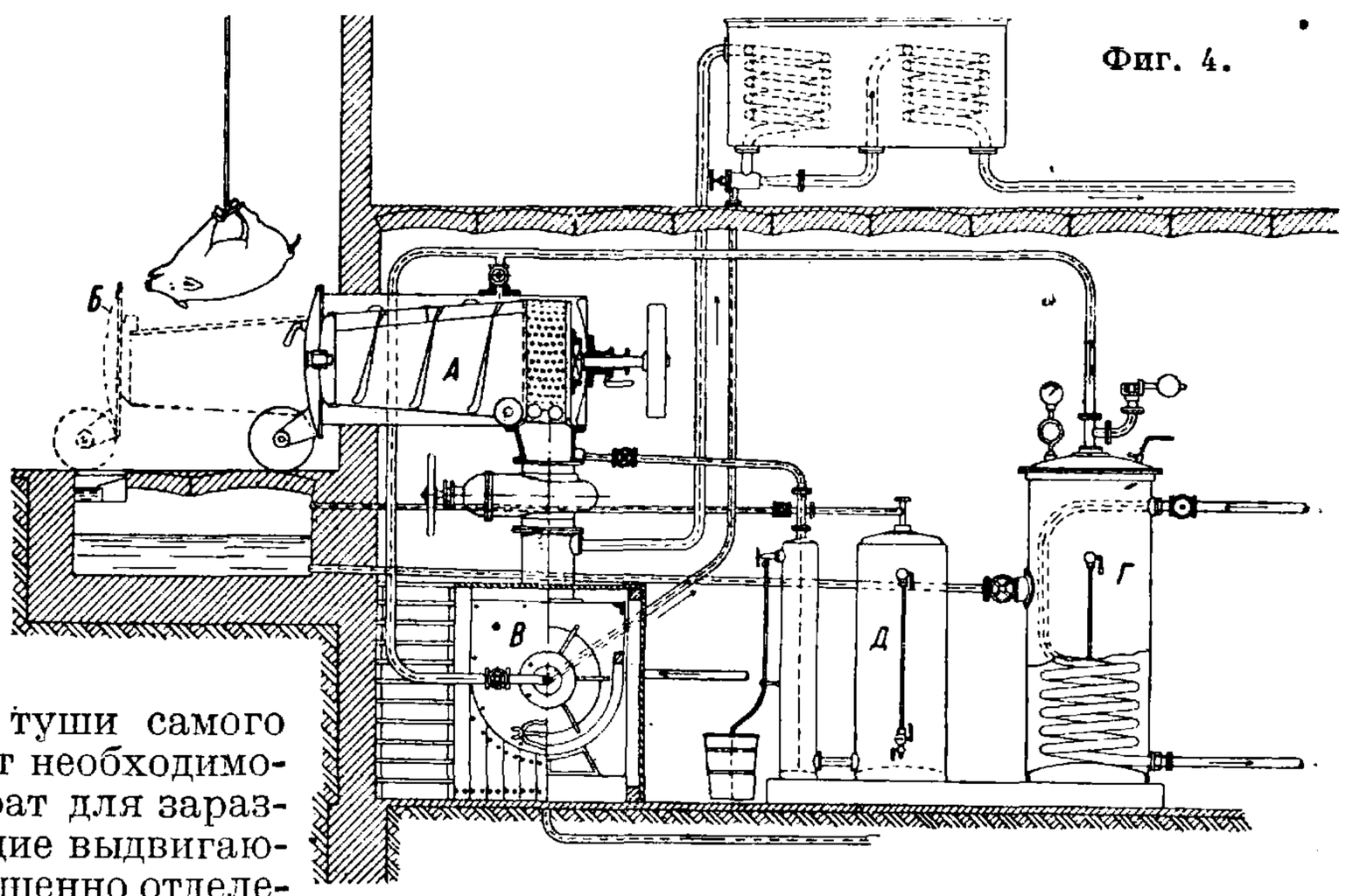
мещение для предварительной обработки трупов до загрузки с выделением специального аппарата—крайнего левого—для загрузки в неразрезанном виде заразных трупов; помещение совершенно изолировано от остального помещения, обслуживающего остальные 7 агрегатов. К аппаратному отделению примыкает машинное отделение *б*, а за ним—различные служебные помещения: для мастера, контора,



Фиг. 3б.

склад материалов, инспекция, лаборатория; в нижнем этаже под аппаратным отделением находится отделение с мельницей (фиг. 3а) для превращения в мясокостную муку извлеченных из экстрактора после варки костей и мяса; аппаратное и мельничное отделения соединены друг с другом двумя лифтами. Под машинным отделением устроена прачечная *в* для стирки спецодежды; под служебными помещениями расположены баки с гардеробом и раздевальни.

Имеется еще конструкция раздельной системы переработки, отвечающая всем предъявляемым к аппаратам требованиям: исключается возможность распространения заразы; промывные воды, смешанные с кровью, удаляются испарением; ввоз в У. з. трупов и вывоз готовых продуктов происходят в совершенно отдельных друг от друга помещениях; также отделены загрузка и выгрузка аппарата, и т. о. исключена всякая возможность передачи инфекции мясокостной муке; варка и сушка производятся одновременно в одном и том же аппарате, т. ч. за те же 4 ч., что и в аппаратах сист. Гартмана, м. б. переработано двойное количество сырья, и следовательно количество обслуживающего персонала м. б. значительно сокращено; размер барабана соразмерен с объемом туши самого большого животного, и потому нет необходимости выделять специальный аппарат для заразных трупов; все аппараты, имеющие выдвигающиеся на роликах барабаны, совершенно отделены от загрузочного отделения сплошной стеной с оставленными в ней отверстиями для выдвигаемых барабанов; в выдвинутый барабан туша м. б. закладываема без прикосновения рабочих к трупу. На фиг. 4 изображен такой аппарат. Он состоит из дезинфектора-стерилизатора *А*, *Б*—отъемная крышка барабана дезинфектора, *В*—сушильный аппарат с механич. мешалкой, *Г*—испаритель, обогревающий рубашку дезинфектора, *Д*—аппарат для приемки из дезинфектора варочной жидкости и разделения ее по уд. в. Применение пара в аппаратах раздельной системы, образуемого при испарении



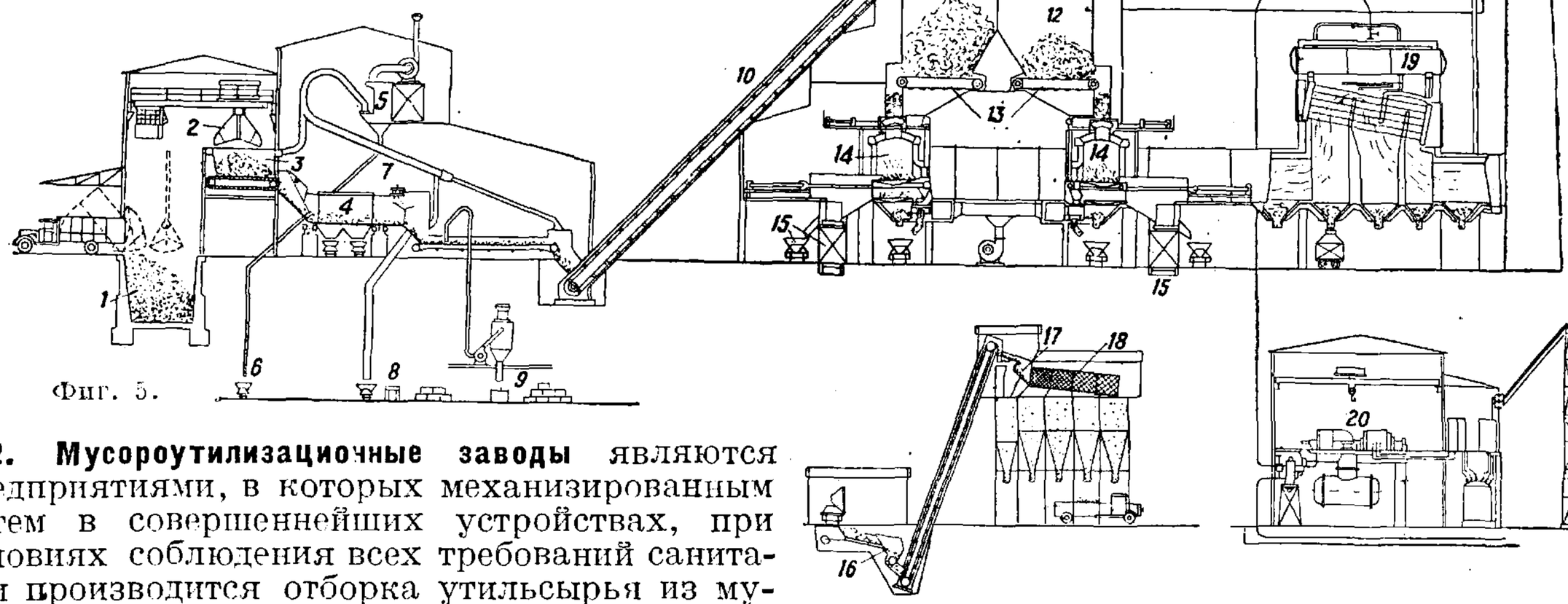
Фиг. 4.

пастбищ, от водных протоков—поверхностных и грунтовых; должны находиться под постоянным наблюдением ветеринарного врача, с доведением до сведения милиции в течение 24 ч. о каждом заразном трупе и с занесением в шнуровую книгу предприятия; транспорт трупа д. б. произведен в течение 24 ч. с момента падежа в специальных перевозочных средствах, снабженных кузовами, обитыми оцинкованным железом, легко промываемыми и дезинфицируемыми; У. з. должны быть окружены стеной в 2 *м*; помещения для переработки трупов должны иметь непроницаемые для жидкостей и легко промываемые полы; трупы д. б. переработаны в течение 24 часов с момента поступления на место утилизации; обслуживающий персонал д. б. огражден от заражения; содержание животных на территории мест утилизации д. б. запрещено.

Чистого строительства вместе с котельной и другими службами требуется ок. 1 000 $м^3$ на одну *т* 10-часовой производительности. Стоимость оборудования вместе с котлом на каждый аппарат емкостью в 2 000 *кг* можно считать по заграничным данным в 26 900 швейц. фр. При ориентировочном определении необходимой мощности У. з. для принятого радиуса обслуживания для предварительных расчетов

можно пользоваться немецкими статистическими данными. Падеж животных от естественной смерти считают в % от наличного количества: лошадей—1,5%, крупного рогатого скота—1,2%, свиней—2%, овец—4%, коз—3,8%, телят—3,8%; для Москвы эта цифра для крупных животных принимается в среднем 3%.

В СССР строят аппараты системы Гартмана (на з-де им. Марти в Николаеве).



Фиг. 5.

2. Мусороутилизационные заводы являются предприятиями, в которых механизированным путем в совершеннейших устройствах, при условиях соблюдения всех требований санитарии производится отборка утильсырья из мусора, его переработка без остатка в продукт, направляемый для дальнейшей переработки на з-ды и ф-ки. Описание технологических процессов — см. *Мусор*. Здесь дан схематический чертеж этих устройств по новейшей системе, устроенной в Лионе фирмой Бамаг-Мегюин (фиг. 5), где *1*—силос, *2*—кран-грейфер, *3*—загрузочная воронка, *4*—барабанное сито, *5*—вентилятор, *6*—тележка, *7*—магнитный сепаратор, *8*—паковальный пресс, *9*—пресс, *10*—элеватор, *11*—распределительный стол, *12*—силосы. *13*—ленточные распределители, *14*—печи, *15*—транспортная лента, *16*—дробилка, *17*—сепаратор, *18*—барабан, *19*—котел, *20*—агрегат турбогенератор. Стоимость такой установки для суточной производительности в 440 *m* выразилась суммой в 23 млн. фр., или 1 800 000 руб. золотом, что на 1 *m* суточной производительности составляет около 4 000 р., или 2 р. на жителя, при накоплении мусора на 1 жителя в сутки 0,5 *кг*. При наших условиях, когда индивидуальное питание все больше и больше заменяется общественным питанием, печей д. б. выстроено меньшее количество, а электростанция с очень дорогим оборудованием должна отпасть, т. к. выгоднее использовать пар непосредственно для прачечных, душей и других нужд станции, и потому стоимость должна снизиться не менее чем на 40%, т. е. должна выразиться в сумме ок. 2 500 р. на 1 *m* суточной производительности, или 1 р. 25 коп. на жителя. Предварительные расчетные данные, произведенные автором статьи для проектируемых мусороутилизационных заводов в Москве для населения в конце 1942 года в 5 000 000 жителей, выразятся в следующем: при 80% населения, охваченном к тому времени общественным питанием, ежедневно летом в течение 180 дней будет перерабатываться 1 745 *m*, что при чистом доходе в 2 рубля 60 копеек с *m* привезенного на станцию мусора должно дать цифру в 816 660 руб. в год (принято, что 1 *m* утильсырья, неликвидного, стоит 60 руб., 1 *m* ценностей выбирается из 7,70 *m* мусора, а стоимость сортировки и сжигания ок. 5 р.; при сортировке 66% и сжигании 34%, при стоимости сортировки 1 *m* 3 р., а сжигания 9 р.); летом же количество утиля в день составляет 1 140 *m*, а в 180 дней при чистом доходе с 1 *m* в 1 р. 20 коп. весь доход с утильсырья составит 246 240 руб., а всего за год 1 062 900 р. По тем же расчетам доход с продажи пара, полученного после сжигания негодных остатков, составит 823 500 р., от продажи шлака 756 000 р., а всего по всем 3 статьям дохода 2 642 400 р.

Лит.: Бурче Ф., Монография, Очистка Москвы от твердых отбросов и жидких нечистот с полной ее реконструкцией в связи с генеральной перепланировкой, «Труды сектора технико-экономич. изысканий Архит.-планир. управления Моссовета», М. (печат.); Bamag, Die Verwertung von Hausmüll als die zukunftige Müllbeseitigung, B., 1927; Fischer R., Die Beseitigung, Vernichtung u. Verarbeitung d. Schlachtabfälle u. Tierleichen, Stg., 1905; Goltz J., Abdeckereiwesen, Weyl's Handbuch d. Hygiene, B. 2, Abt. 2, Lief. 6, Lpz., 1912; Haefcke H., Handbuch des Abdeckereiwesens, B., 1906; Koller Th., Handbuch d. rationellen Verwertung, Wiedergewinnung u. Verarbeitung von Abfallstoffen jeder Art, 3 Aufl., Lpz., 1921; Koller Th., The Utilisation of Waste Products, 3 ed., L., 1918; Putzeys F., Schoofs F., Traité de technique sanitaire. Assainissement des villes et cimetières, т. 6, Paris—Liège, 1925; Chalumeau C., L'usine d'incineration des ordures ménagères de la ville de Lyon, «GC», 1932.

Ф. Бурче.

УТОК, нить, расположенная в ткани по ее ширине. Уток укладывается между нитями основы при пролете челнока между ними во время образования зева (см. *Ткацкие станки*). Пряжу для У. применяют меньшей крутки и более слабую, чем для основы; только для выработки тканей, требующих большой прочности (одежда, брезент и др.), пряжа для основы и У. берется одинаковой прочности. Тканье плотных тканей из лубяных волокон иногда производят мокрым У.

Н. Армянд.

УЧЕТ в промышленности. I. Общее понятие об У. и его методах. Понятие об У. возникает в сфере промышленной хозяйственной деятельности из определения общих задач и методов управления производственным х-вом (см. *Административная техника*). Термин этот не выражает собою с должной конкретностью содержания понятия, т. к. У. можно мыслить как в проспективно-провизорном смысле (предвидение или предустановление фактов), так и в ретроспективно-последующем (отчетность о совершившихся фактах). Обычно термин «учет» употребляется в порядке общего обозначения различных форм последующей отчетности, для обобщения методов статистич. и бухгалтерского У., а также

калькуляции, тесно связанной с балансом и выполняемой у нас в СССР бухгалтерским аппаратом. Провизорный У. входит в задачи планирования как одной из важнейших и конкретных функций управления социалистич. хозяйством, ставящей перед собою в каждом отдельном предприятии общие цели рационализации, нормализации и стандартизации. В данной статье У. будет трактоваться как отчетность.

Особо широкое значение приобретает У. в условиях планового советского социалистич. х-ва. «Социализм—это учет» (Ленин). «Учет и контроль—вот главное, что требуется для налаженния, для правильного функционирования первой фазы коммунистического общества» (Ленин, т. 14, ч. 2, стр. 379). «Девять десятых социалистического аппарата—это общегосударственное счетоводство, общегосударственный учет производства и распределения продуктов, это, так сказать, нечто вроде скелета социалистического общества» (Ленин, т. 14, ч. 2, стр. 291). «По уничтожении капиталистического способа производства, но при сохранении общественного производства... бухгалтерия становится важнее, чем когда бы то ни было» (К. Маркс, Капитал, ч. 3. стр. 389).

II. Регистрация и документация хозяйственных действий. Основой У. в промышленном х-ве является первичная регистрация совершаемых в нем актов или операций. Операцией следует считать всякое изменение в формах или стоимости обращающихся в предприятии средств (ценностей), имеющее экономич., т. е. технич. или финансово-правовое, значение. Объектами У. являются также различные моменты в производстве чисто технич. порядка, а также носящие широко-экономич. характер, выходящий за пределы интересов единичного х-ва, и учитываемые статистич. методом (статистика использования оборудования, состава рабочей силы, труддисциплины, производительности труда, заработка рабочих и т. п.—см. *Статистика*). Документальное оформление всех первичных операций в х-ве практика возлагает на бухгалтерию. Наше законодательство поддерживает эту установку, предоставляя главному (трест) или старшему (предприятие) бухгалтеру х-ва особые права на основе осуществления функций государственного контроля.

Приводим выдержки из постановления СНК Союза ССР № 1511 от 29 сентября 1932 г. «Главный или старший бухгалтер наряду с руководителем учреждения, предприятия или хозорганизации несет полную ответственность за соблюдение финансовой, бюджетной и сметной дисциплин, за правильное ведение бухгалтерского учета и составление бухгалтерской отчетности в данном учреждении, предприятии и хозорганизации, а также за общую постановку бухгалтерского учета в отдельных, входящих в состав данного учреждения, предприятия или хозорганизации, хозяйственных единицах или частях, самостоятельно ведущих бухгалтерский учет и представляющих законченную бухгалтерскую отчетность». «Главные или старшие бухгалтеры учреждений, предприятий и хозорганизаций действуют в соответствии с законом и распоряжениями правительства, а также инструкциями вышестоящих органов». «В административном отношении они подчиняются непосредственно руководителю данного учреждения, предприятия или хозорганизации, в отношении же порядка и методов ведения бухгалтерского учета и составления бухгалтерской отчетности подчиняются вышестоящим органам, которым непосредственно подчиняется данное учреждение, предприятие или хозорганизация». «Назначение, увольнение и перемещение главных и старших бухгалтеров производится вышестоящим органом по представлении руководителя данного учреждения, предприятия или хозорганизации». «Балансы и бухгалтерские отчеты подписываются руководителем и главным или старшим бухгалтером». «Все документы денежного, материального, имущественного, расчетного и кредитного характера, служащие основанием для выдачи и приемки денег кассой учреждения, предприятия или хозорганизации, а также документы, служащие основанием для производства бухгалтерских записей, скрепляются подписью главного или старшего бухгалтера или лицом, им на то уполномоченным». «Главный или старший бухгалтер в случае получения незаконного распоряжения или распоряжения, противоречащего установленному порядку бухгалтерской отчетности, обязан до приведения его в исполнение письменно обратить внимание лица или органа, давшего распоряжение, на незакономерность последнего. При получении письменного подтверждения распоряжения главный или старший бухгалтер обязан исполнить таковое с немедленным уведомлением о том руководителя вышестоящего органа и надлежащего органа рабоче-крестьянской инспекции. Если однако распоряжение содержит явные признаки действия, влекущего за собою уголовную ответственность, главный или старший бухгалтер обязан, не приводя распоряжения в исполнение, немедленно сообщить об этом указанным выше органам».

Первичный документ, являющийся объектом бухгалтерского У. и калькуляции, должен содержать в себе следующие данные: 1) № документа, 2) дату совершения операции, 3) технич. название ценности, с к-рой совершается действие, 4) количество, цену и стоимость таковой (цена и стоимость в исключительных случаях м. б. указаны в последующем порядке), 5) куда и с какой целью поступают, выбывают или передвигаются предметы, 6) подписи лиц, правомочных на прием и отпуск ценностей, 7) подписи администрации, дающей распоряжение и санкционирующей совершение операции, и 8) подпись счетного контроля, принимающего документ к У. для занесения его по соответствующим отчетным формулярам. Кроме документов, устанавливающих первичные операции х-ва с ценностями или с правами, т. е. с дебиторами и кредиторами его, различают еще операции в порядке бухгалтерского учета и регистрации внутренних перегруппировок средств по балансу х-ва, связанных с У. его накоплений или потерь, как результатов хозяйственной деятельности, или обусловленных самой техникой У. Особо сложной проблемой документирования оказывается в промышленности первичный У. производственных процессов, имеющий большое значение для определения (диференцированно по цехам и по отдельным работам) стоимости продукции, а также для организации расчетов с рабочими по зарплате в виду возникающих трудностей при фиксации движения полуфабрикатов в порядке измерения их количества, перебрасываемого по машинам (учет отходов и угаров).

III. Конкретные задачи У. а) Обслуживание оперативного руководства хозяйственными процессами. Задача эта является одной из основных в технике У. Отсюда на практике возникают весьма часто т. н. оперативные формы У., способные дать администрации х-ва в кратчайшие сроки нужные отчетные информационные данные с предельно-практич. точностью о наличии тех или иных действующих средств или о совершаемых в х-ве действиях. При разрешенной проблеме У. «ажур» (à jour) работа эта выполняется на основе бухгалтерских и статистич. материалов и форм У. Особо эффективные формы приобретает оперативный У. в графич. его построении, выявляя динамику хозяйственной деятельности (напр. система графиков, предложенная Гантом). Последующие формы отчетности—статистические и бухгалтерские — также используются для оперативного руководства х-вом. Промышленная статистика, ориентируясь на бухгалтерские и административно-технические документы и данные У., систематизирует их свойственными ей методами

и в наиболее полной форме обслуживает в практике настоящего времени оперативное руководство производственными процессами. Бухгалтерская отчетность в систематизированной ее форме служит гл. обр. для оперативного руководства материально-финансовой частью предприятия. Бухгалтерский баланс, составляемый в промышленном х-ве не чаще как ежемесячно (в более уточненной форме поквартально), является формой отчетности, носящей преимущественно ретроспективно-контрольный характер, и т. о. косвенно выполняет свою оперативную функцию. Калькуляция в настоящее время принимает наиболее срочные формы (10—15 дней) после окончания месяца и тем стремится в наиболее эффективной форме выполнить директиву правительства и партии. «Отчетность по себестоимости должна стать основным материалом для технического руководства и мероприятий по рационализации...» [Постановление ЦК ВКП(б) от 5 января 1929 г.].

б) Контроль хозяйственной деятельности. Эту свойственную У. функцию контроля органы У. до начала нашего столетия выполняли преимущественно формально, заботясь гл. образом о наличии в документах в той или иной форме разрешения (визы) на совершение операции, исходящего от ответственной администрации, распоряжающейся предприятием. Только в условиях государственного х-ва органы У. приобретают вышеуказанное особо ответственное значение, т. к., эмансипируясь в должной степени от подчинения администрации предприятия по линии техники У., они обеспечивают себе возможность осуществления функции автономного контроля. Однако наиболее эффективную контрольную форму принимает У. с начала настоящего столетия, переключаясь на проверку выполнения плановых заданий. Это новое направление в У. исходит из Америки, к-рая первая из капиталистических стран перешла на метод планирования производственного процесса на самих предприятиях. В условиях капиталистич. единичного хозяйства однако это планирование не может в достаточной мере гарантировать предприятию твердого выполнения заданий не только по линии сбыта продукции (влияния давления рынка, конкуренция), но даже и по линии заготовок материалов и прочих средств и предметов труда, а иногда и по найму рабочей силы должной специальности по запланированным ставкам. Запроектированная цена продукции на основе рационализации и технормирования процессов производства (т. е. стандартная стоимость стандартизированной продукции) и является в лучших предприятиях Америки объектом бухгалтерского У., проверяющего как в оперативно-текущем, так и в последующем порядке выполнение предприятием его калькуляционно-производственного плана. Отсюда эта современная система У. и называется в Америке «стандарт-кост» (Standard-cost system, автор Гаррисон). В условиях нашего х-ва У., особенно оперативно-статистический, переводится последовательно на проверку плановых заданий (промтехфинплана) с самого начала советской власти. Бухгалтерский У. и калькуляция приняли у нас специфич. методы проверки выполнения плана, начиная с 1928 года, при значительном отражении в них идей америк. калькуляции «стандарт-кост», о чем подробнее будет сказано далее. Т. о. отчетный контроль с чисто формальных его методов переключается на контроль с учетом существа хозяйственных функций по критерию их хозяйственной целесообразности, каковая форма придает у нас счетному контролю более углубленную и ответственную цель стимулировать выполнение плановых заданий х-вом и отсюда активизировать развитие техники и социалистич. экономики. Своеобразной и весьма эффективной формой У., преследующего ту же цель оперативной проверки выполнения нормативных заданий, являются т. н. технико-производственные показатели, широко используемые в промышленной практике. По своему замыслу они должны дать в технич. форме контроль развития важнейших этапов технологич. процесса производства (как основной базы промышленного х-ва), предвосхищающий выводы последующей отчетной калькуляции, к-рая определяет эти этапы преимущественно в ценностном их выражении.

Приводим основные виды технич. показателей (по формам Наркомтяжпрома за 1932/33 г.): 1) расход топлива по целевому назначению (дрова в $м^3$, прочие виды в m)—под котлами (в том числе на силовые нужды), в двигателях внутреннего сгорания, в печах специального назначения (каких?), в прочих установках (каких?); 2) уд. расход топлива на производство пара (выработано m нормального пара, израсходовано m топлива в переводе на условное, расход на m нормального пара—по плану, фактически, фактич. расход в % к плановому), кпд котельной (за текущий отчетный период, за предыдущий отчетный период, текущий отчетный период в % к предыдущему); 3) удельный расход топлива на производство электроэнергии: наименование электроэнергии (1 000 kWh), израсходовано m топлива в переводе на условное, уд. расход топлива на 1 000 kWh энергии (по плану, фактически, фактич. расход в % к плановому), кпд отдельных двигателей и установок в целом (за текущий отчетный период, за предыдущий отчетный период, отчетный период в % к предыдущему); 4) уд. расход топлива на производство газа ($м^3$, млн. Cal), израсходовано топлива в m условного, уд. расход топлива на 1 000 $м^3$ (по плану, фактически, фактич. расход в % к плану); 5) уд. расходы топлива, пара и электроэнергии: наименование продукции или объектов производства и прочих статей расхода, единица измерения, выработка за отчетный период (по плану, фактически), за отчетный период израсходовано (m условного топлива, m пара, нормальной электроэнергии в 1 000 kWh, газа в m условного топлива), уд. расходы топлива (по плану, фактически), пара (по плану, фактически), электроэнергии (по плану, фактически), газа (по плану, фактически); 6) расход рабочей силы на единицу продукции: на какой продукт, единица измерения продукта, выработано продукта (за предыдущий отчетный период, за текущий—по плану, по отчету), израсходовано рабочей силы чв.-ч. на единицу продукции (в предыдущий отчетный период, в текущий—по плану, по отчету, %-ное отношение текущего отчетного периода к предыдущему и к намеченному по плану); 7) расход рабочей силы на единицу оборудования: наименование оборудования, время работы оборудования в часах, расход рабочей силы в чв.-ч. на единицу оборудования в течение одного часа его работы (в прошлом отчетном периоде, в текущем—по плану, по отчету, %-ное отношение к прошлому отчетному периоду, к плану); 8) производительность оборудования в единицах основной продукции: наименование оборудования, время работы оборудования в часах, наименование продукции, единица измерения продукции, выпуск продукции на единицу оборудования в час (в прошлом отчетном периоде, в текущем—по плану, по отчету, %-ное отношение текущего отчетного периода к прошлому, к плану); 9) стоимость брака и потери от брака: наименование производств или цехов за прошлый отчетный период, по плану, за текущий отчетный период; 10) удельные нормы отходов на единицу сырья, основных материалов или главнейших продуктов: наименование сырья, основных материалов или главнейших продуктов, единица измерения, получено отходов на единицу сырья, основных материалов или главнейших продуктов (наименование полученных отходов, единица измерения, количество в прошлом отчетном периоде, в текущем, %-ное отношение отчетного периода к прошлому).

IV. Методы учета и отчетности. Отчетность в пром-сти по методам своим разделяется на 3 основные исторически сложившиеся специализированные формы: а) *статистику* (см.), б) бухгалтерию (см. *Бухгалтерия промышленного предприятия*) и в) *калькуляцию* (см.). Без знаний методов бухгалтерского У. и тесно

связанной с ним калькуляции невозможно конкретно руководить современным крупным промышленным х-вом и быть в должном курсе эффектов развития его техники и экономики. Бухгалтерские формы учета, будучи основными в промышленном х-ве, являются не только глазами х-ва, но и в значительной степени его разумом. Бухгалтерский учет посредством баланса возник в средние века при зарождении товарного капиталистического х-ва. Первые найденные в Италии следы бухгалтерского баланса — 1406 г.; выход научно-систематизированного печатного труда по балансовому методу учета известного математика того времени Л. Пачиоло—1494 г. (Италия, Венеция). Чрезвычайная устойчивость бухгалтерской системы учета посредством баланса, существующая весьма давно и переходящая из капиталистич. х-ва в наше советское социалистическое, м. б. научно обоснована наиболее глубоко только как логическая форма изображения процесса кругооборота капитала, каковой кругооборот в счетном его построении является изображением замкнутой цепи материальных превращений (метаморфоз) одних видов товарных ценностей в другие, выраженном в денежном счете. В условиях советского социалистич. х-ва кругооборот материальных фондов совершается вне условий эксплоатации рабочего класса капиталистами и с отмиранием товарной формы производства. Отсюда после революции отмерло и самое понятие капитала, а также и прибыли, которая заменяется формами социалистич. накопления, поступающего на расширение воспроизводства, имеющее основной своей целью наиболее целесообразное удовлетворение потребностей трудящихся. Однако существующее у нас на настоящем этапе развития социалистич. экономики денежное обращение и денежная форма У. хозяйственной деятельности дают возможность использовать в полной мере балансовый метод У. кругооборота капитала, перенеся его на У. кругооборота наших материальных фондов—основного и оборотного. Бухгалтерские записи различаются по трем их формам. Первая форма. Счетно-правовая констатация циркулирующих в х-ве средств (активы) с правами на них как самого х-ва, так и кредиторов его (пассивы). Это перманентно поддерживаемое равенство формулируется счетным принципом равновеликости актива и пассива. Фонды х-ва находят себе двойное выражение в балансе: в активе—как материальные ценности, в пассиве—как правовые категории. Вторая форма. Изображение цепи операционного движения материальных фондов хозяйства как перемещения и метаморфоз их на счетах баланса, где каждый счет отражает собою ту или иную ценность или целевую операцию. Отсюда и возникает принцип двойной счетной записи, являющейся научной идеей баланса: убывающая (перемещающая, превращающая) ценность записывается на кредит одного балансового счета (правая сторона листа—фолио) и прибывающая (перемещенная, превращенная) на дебет другого балансового счета (левая сторона листа—фолио). Поэтому возможно кредит счета считать причиной или началом операции, а дебет — ее следствием (Л. Гомберг).

«Дебет и кредит можно объяснить также из определения бухгалтерии. Бухгалтерия представляет собою историю кругооборота капитала. Этот кругооборот состоит из связанного ряда преобразовательных процессов; пока х-во

Табл. 1.—Запись операций по счетам баланса.

№ 13
Счет уставного фонда

Д-т	К-т
	а) 1 000
	б) 500
	в) 200
	1 700
	Констатация прав
	10б 10
	1 710

№ 1
Счет средств труда

Д-т осн. средств.	К-т
а) 1 000	

№ 2
Счет материалов

Д-т	К-т
б) 500	1) 500
15) 200	
15а) 150	
850	

№ 3
Счет Госбанка

Д-т	К-т
	2) 200
в) 200	7) 100
6) 630	11) 81
	12) 7
	13) 2
	14) 60
	15) 200
	16) 50
830	700

№ 6
Счет производства

Д-т	К-т
1) 500	4) 710
2) 200	
3) 50	
750	

№ 14
Счет амортизационного фонда (износ имущества)

Д-т	К-т
	3) 50

№ 7
Счет продукции на складе

Д-т	К-т
4) 710	5) 700

№ 9
Счет реализации

Д-т	К-т
5) 700	5а) 900
8) 100	
9) 100	
900	

№ 10
Счет издержек обращения (контр. счет)

Д-т	К-т
7) 100	8) 100

№ 8
Счет покупателей (дебиторов)

Д-т	К-т
5а) 900	6) 630

№ 16
Счет накопления и потерь

Д-т	К-т
10) 81	9) 100
10а) 9	
10б) 10	
100	

№ 15
Счет ФУБР

Д-т	К-т
13) 2	10а) 9

№ 11
Счет НКФ

Д-т	К-т
11) 81	10) 81

№ 4
Счет Цекомбанка

Д-т	К-т
12) 7	

№ 12
Счет поставщиков (кредиторов)

Д-т	К-т
16) 50	15а) 150

№ 5
Счет Промбанка

Д-т	К-т
14) 60	

находится в бездействии, нет нужды ни в каком ведении счетоводных книг. Но как только начинается кругооборот, каждый преобразовательный процесс даст повод к записи в книги. Каждый такой отдельный процесс состоит в превращении одной формы благ в другую, в движении, которое имеет исходный и конечный пункты. И вот исходным, или начальным, пунктом каждого из этих движений является кредит одного счета, а целью, или конечным пунктом, служит, напротив, дебет другого счета. При превращении денег в товар (покупка товара за наличные) соответствующая стоимость перемещается с кредита счета кассы на дебет счета товаров» (И. Шер). Поскольку перемещающиеся и превращающиеся массы материальных фондов и денежные средства в этом процессе не теряют свою первоначальную стоимость, постольку обеспечивается контрольное равенство сумм дебетов и сумм кредитов всех балансовых счетов, так как одна и та же сумма операций записывается в дебет одного и в кредит другого балансового счета. Абсолютные суммы накопления и потерь х-ва заносятся на особый счет *накоплений и потерь*, причем дебитовый остаток (сальдо-дебет) этого счета выражает собой чистый убыток, уменьшающий фонды х-ва, а кредитовый (сальдо-кредит) увеличивает их, если накопления эти не изъемлются НКФ из хозяйства. Третья форма. Эта форма бухгалтерской записи специфически выражает собой контроль над теми статьями затрат, которые регламентируются сметою или планом. Например: кредит счета кассы — дебет счета общезаводских расходов (расход средств на оплату административных накладных расходов предприятия); кредит счета общезаводских расходов—дебет счета производства (перечисление их в издержки производства). Т. о. счет общезаводских расходов закрылся (забалансировался) после осуществления им своей контрольной функции. Приведенные здесь объяснения значения дебета и кредита вполне соответствуют классич. формулировке, принадлежащей А. Цамбелли (1681 г.): «дебитуется тот (счет), который получает, кредитуется тот (счет), который дает».

Пример элементарной схемы корреспонденции счетов баланса промышленного х-ва для освоения общей техники построения баланса, необходимой для чтения и понимания балансов. Состояло к началу года в хозяйстве (в тыс. руб.): а) средств труда: руб. 1 000; б) материалов: руб. 500; в) денежных средств в Госбанке: руб. 200. Итого уставного фонда: руб. 1 700. Операции: 1) отпущено материалов в производство: руб. 500; 2) оплачены денежные издержки на производство: зарплата рабочим и служащим, соцстрах, ремонты и прочие прямые и косвенные расходы: руб. 200; 3) отчислена в издержки производства амортизация (накопление фонда погашения износа имущества) в размере 5% от балансовой стоимости средств труда: руб. 50; 4) выработанная продукция по калькуляционной себестоимости ее сдана на склад: руб. 710, осталось полуфабрикатов на машинах и станках: руб. 40; 5) продано продукции покупателям: руб. 700 за 900; 6) получено от покупателей в уплату долгов их: руб. 630; 7) оплачены торговые расходы (издержки обращения): руб. 100; 8) издержки обращения покрываются доходами от реализации продукции: руб. 100; 9) констатируется сумма накоплений х-ва: руб. 100; 10) чистый доход х-ва распределяется: 81% НКФ, 9% в фонд улучшения быта рабочих и служащих и 10% остается в х-ве на расширение его деятельности — итого: руб. 100 (установленная законом форма распределения накопления в промышленности); 11) выплачиваются НКФ, причитающиеся ему отчисления от накоплений: руб. 81; 12) вносятся в Центральный коммунальный банк отчисления в ФУБР по плану на финансирование жилищного строительства: руб. 7 (75%, точно 6,75); 13) остальная сумма ФУБР (25%) передается профорганизациям на культнужды: руб. 2; 14) остающиеся в х-ве 10% накопления: руб. 10, а также амортизационные накопления: руб. 50 вносятся в Промбанк для финансирования (в дальнейшем) его капитального строительства: руб. 60; 15) куплено материалов за наличный расчет: руб. 200, то же в кредит: руб. 150; 16) уплачено поставщикам в погашение долга: руб. 50. Итого сумма операции: руб. 4 640. Образцы записи счетов см. табл. 1 и 2.

Табл. 2. — Проверочный оборотный баланс (в тыс. руб.).

Название счетов баланса	Состояло средств к началу отчетн. периода		Обороты (операции)		Состоит средств к концу отчетного периода	
	Сальдо Д-т Актив (средства)	Сальдо К-т Пассив (права на средства)	Д-т	К-т	Сальдо Д-т Актив (средства)	Сальдо К-т Пассив (права на средства)
1) Счет средств труда	1 000	—	—	—	1 000	—
2) » материалов	500	—	350	500	350	—
3) » Госбанка	200	—	630	700	130	—
4) » ЦКБ	—	—	7	—	7	—
5) » Промбанка	—	—	60	—	60	—
6) » производства	—	—	750	710	40	—
7) » продукции на складе	—	—	710	700	10	—
8) » покупателей	—	—	900	630	270	—
9) » продажи	—	—	900	900	—	—
10) » издержек обращения	—	—	100	100	—	—
11) » НКФ	—	—	81	81	—	—
12) » поставщиков	—	—	50	150	—	100
13) » уставного фонда	—	1 700	—	10	—	1 710
14) » амортизацион. фонда	—	—	—	50	—	50
15) » ФУБР	—	—	2	9	—	7
16) » накоплений и потерь	—	—	100	100	—	—
	1 700	1 700	4 640	4 640	1 867	1 867

Табл. 3. — Сравнительный анализ балансов к началу и концу отчетного периода.

Название счетов баланса	Изменения по активу		Изменения по пассиву	
	*1	*2	*2	*1
1	2	3	4	5
1) Счет средств труда (без изменения)	—	—	—	—
2) Счет материалов	—	150	—	—
3) » Госбанка	—	70	—	—
4) » ЦКБ	7	—	—	—
5) » Промбанка	60	—	—	—
6) » производства	40	—	—	—
7) » продукции на складе	10	—	—	—
8) » покупателей	270	—	—	—
9) » поставщиков	—	—	—	100
10) » уставного фонда	—	—	—	10
11) » амортизацион. фонда	—	—	—	50
12) » ФУБРа	—	—	—	7
	387	220	—	167

*1 Увеличения. *2 Уменьшения.

После проведения у нас кредитной реформы 1930—1931 гг. всякие операции авансирования поставщиков и всякое оказание кредита по куплям-продажам между хозорганами, а также и с кооперацией запрещены, так как нужный кредит представляется в прямой форме нашими банками.

Конечная сумма (разница) всех увеличений по активу (колонки 2—3, табл. 3) д. б. равна конечной сумме всех увеличений по пассиву (колонки 4—5) 387−220=167; 167−0=167. Так. обр. и после совершения операции сохранилось перманентное равенство средств актива с правами на них пассива. Средства х-ва возросли на руб. 167, каковая сумма слагается: 1) из накоплений, оставленных в распоряжение х-ва, руб. 10 (свои права); 2) из стоимости неоплаченных еще кредиторами материалов руб. 100 (чужие права); 3) из накоплений в оборотных средствах амортизационных отчислений руб. 50, каковое накопление по существу его не увеличивает общей суммы действующих в х-ве собственных фондов, т. к. на такую же сумму износились, т. е. обесценились, и средства труда в активе. Возможно оставить в активе средства труда в сумме руб. 950, исключив из пассива амортизационный фонд без нарушения тем правильности баланса. Амортизационный фонд следовательно оказывается контрактивом, т. е. простым показателем износа имущества. Если будет произведен капитальный ремонт на ту же сумму, восстанавливающий физич. износ имущества, то тогда эти временные накопления оборотных средств будут израсходованы, и тем восстановится прежнее соотношение между основным и оборотным фондами. Запись: К-т сч. Промбанка (оплачен счет строительной конторы за ремонт); Д-т сч. амортизационного фонда: руб. 50 тыс.

Существующие в практике системы счетов баланса (счетные планы) представляют средства хозяйства и операции его более диференцированно, причем количество балансовых счетов достигает 150. Однако как бы глубоко ни была произведена эта конкретизация учета в системе счетов баланса, все же балансовые счета будут представлять собою о б о б щ е н и е каких-то групп конкретных ценностей и операций х-ва. Отсюда вся система счетов баланса называется У. с и н т е т и ч е с к и м, имеющим основною целью дать периодич. смотр средствам х-ва и его задолженности, а также произведенным х-вом операциям в их и т о г о в о й форме. У. конкретных средств х-ва, т. е. отдельных видов средств труда, материалов, отдельных лицевых счетов дебиторов и кредиторов, к-рых м. б. в хозяйстве очень большое номенклатурное количество, осуществляется по специальным книгам или карточкам 2-го порядка, т. е. формами т. н. а н а л и т и ч е с к о г о У. Означенный У. является разложением общих сумм дебета и кредита отдельных балансовых счетов на конкретные виды средств или совершенных операций. В качестве сверки этих счетов с балансом для устранения могущих быть ошибок применяются так называемые оборотные ведомости, в которых складываются все дебеты, все кредиты и все остатки аналитических счетов, и итоги эти сопоставляются с соответствующими суммами счетов баланса. Пример дан в табл. 4 и 5.

Т а б л. 4. — П р о в е д е н и е о п е р а ц и й п о к н и г а м.

Синтетический счет Счет товаров		Аналитические счета товаров					
		а		б		в	
(по балансу) Д-т	К-т	Прих.	Расх.	Прих.	Расх.	Прих.	Расх.
1 000	750	500	400	430	300	70	50
	250						
	С-до 1 000						

Т а б л. 5. — П р о в е р о ч н а я о б о р о т н а я в е д о м о с т ь.

Название товаров	Приход	Расход	Остаток
а	500	400	100
б	430	300	130
в	70	50	20
	1 000	750	250

Аналогично строится аналитический учет и по другим счетам баланса.

К а л ь к у л я ц и е й называется определение стоимости продукции по видам, или артикулам, ее (согласно номенклатуре, устанавливаемой по сбытовому прейскуранту) с разложением таковой на отдельные статьи, определяющие основные экономич. элементы затрат и дающие возможность аналитич. локализации достижений и прорывов в выполнении предприятием плана стоимости продукции или по сравнению с предыдущим отчетным периодом. Калькуляция в СССР выполняется исключительно бухгалтерским аппаратом с тесной увязкой ее с балансом и статистикой, поскольку х-во наше не только не заинтересовано в сохранении технических секретов производства, но принимает все меры к популяризации технич. и экономических знаний среди широких рабочих масс. Схема связи калькуляции с балансом м. б. выражена в следующей форме:

Д-т — Счет производства — К-т

1) Сальдо Д-т (полуфабрикаты в незавершенном производстве к началу отчетного периода) $а_1+б_1+в_1+г_1+д_1 \ldots = п$

2) Поступило затрат за отчетный период $а_2+б_2+в_2+г_2+д_2 \ldots = т$

ИТОГО: $(а+б+в+г+д)=(п+т) = у$

1) Калькуляционная стоимость продукции:
Прод. А $а_2+б_2+в_2+г_2+д_2 \ldots = к_1$
» Б $а_3+б_3+в_3+г_3+д_3 \ldots = к_2$
$а_4+б_4+в_4+г_4+д_4 \ldots = к$

2) Сальдо Д-т (полуфабрикаты в незавершенном производстве к концу отчетного периода) $а_1+б_1+в_1+г_1+д_1 \ldots = ж$

БАЛАНС: $(а+б+в+г+д)=(ж+к) = у$

Слагаемые суммовые статьи общей (итоговой) суммы затрат на производство (у):
а—сырье (материалы)
б—топливо
в—зарплата
г—амортизация
д—накладные (косвенные) расходы

Знаки: 1, 2. 3, 4... означают какие-либо части от общих сумм статей затрат

п, т, ж, к — итоговые суммы статей затрат (к—общая стоимость выпущенной продукции)

В каждой отрасли промышленности имеется своя система постатейного разложения затрат на производство, регламентируемая инструкциями отраслевых наркоматов. Большие споры возникают на практике за выражение этих статей затрат в поэлементной или в комплексной форме. За элементы принимается следующая номенклатура статей согласно установленной форме промфинплана: 1) сырье и

основные материалы; 2) полуфабрикаты из остатка на 1/I текущего отчетного года; 3) вспомогательные и ремонтно-строительные материалы (текущий ремонт); 4) топливо; 5) электроэнергия со стороны; 6) зарплата основная и дополнительная денежная; 7) начисления на зарплату денежные; 8) амортизация; 9) разные денежные расходы. Такого рода классификация удобна для установления денежной сметы производства, но не для анализа затрат, каковые при целевом их построении выражаются в комплексной форме. Так напр., на дополнительную зарплату могут итти не только деньги, но и материалы (ремонт жилищ рабочих), а топливо при использовании его на двигательную энергию или на технологич. пар сочетается в процессе производства этих продуктов с зарплатой и другими статьями прямых и накладных (косвенных) затрат (зарплата рабочим котельной, материал для ремонта машин, зарплата техперсоналу и пр.). Отсюда возникает потребность выразить калькуляционную стоимость продукции в смешанной поэлементно-комплексной форме, выше нами приведенной. В этом случае все статьи затрат подразделяются на прямые и косвенные (накладные), трактуемые так сообразно с методом локализации их в стоимость продукции по калькулируемым видам ее. Т. о. понятия эти для каждой отрасли пром-сти становятся относительными. Например если фабрика электрифицирована и имеется возможность стоимость использованной двигательной энергии в kWh распределить с максимально возможной точностью по машинам, а отсюда—по видам переработанного продукта (пропорционально времени их работы), то статья эта именуется как прямая, в противном случае она окажется косвенной, т. к. требует для своего распределения в стоимость продуктов по видам их предварительного нахождения каких-либо условных зависимостей или соотношений между данным расходом и ассортиментом калькулируемой продукции. Если предприятие вырабатывает только один конкретный вид калькулируемого продукта, напр. сахарный песок, то все затраты на производство как бы становятся прямыми, так как они распределяются все по весу этого товара. Оказавшиеся качественные (сортовые) различия в выработанной продукции отражаются на стоимости ее соответствующими скидками, т. е. путем установления между отдельными сортами ценностных соотношений по коэф-там. Существенное значение для анализа калькуляции приобретает деление всех косвенных затрат на постоянные (стабильные) и переменные (пропорциональные), поскольку всякое увеличение выпуска продукции должно как общее правило выявить снижение стоимости таковой по статьям постоянных затрат и отсутствие этого факта показывает скрытый перерасход постоянных затрат (содержание служащих конторы, з-да, двора, складов, противопожарной охраны; текущие ремонты зданий, отопление и освещение, командировки, канцелярские расходы и пр.). Не следует думать, что постоянные затраты не имеют никакой тенденции расти вслед за ростом производства и сокращаться при уменьшении выпуска продукции. Практически бывает достаточно констатировать их ретроградность.

«Выражение „постоянные накладные расходы“ вовсе не следует понимать так, как будто сумма затрат не подвергается изменениям. Вполне очевидно напр., что и масса потребляемой электрич. энергии и стоимость—величины изменчивые. Существенно не это, а то, что, если размер выработки цеха падает ниже нормы,—себестоимость единицы выработки возрастает даже в том случае, если общая сумма данного расхода остается неизменной. Т. о. себестоимость единицы выработки возрастает против стандартной нормы вследствие того, что данный расход приходится распределять между меньшим количеством выработки. Вот в этом смысле и употребляется термин „постоянные накладные расходы“. В отношении этой категории возникает необходимость установить, в какой мере рост себестоимости вызывается простоем» (т. е. недовыработкой товара против плана. П. И.) (Ч. Гаррисон).

Схема соотношения постоянных и переменных затрат дана в табл. 6.

Табл. 6.—Соотношение постоянных и переменных затрат.

Затраты	Существ. объем производства		При увеличении на 25%		При увеличении на 50%	
	Руб.	Уд. в., %	Руб.	Уд. в., %	Руб.	Уд. в., %
А. Прямые						
1. Материалы .	10 000	9,1	12 500	9,4	15 000	9,7
2. Зарплата . .	50 000	45,5	62 500	47,3	75 000	48,3
Б. Косвенные						
1. Постоянные .	20 000	18,2	20 000	15,1	20 000	12,9
2. Переменные .	30 000	27,2	37 500	28,2	45 000	29,1
Итого . .	110 000	100	132 500	100	155 000	100

Динамика изменения стоимости продукции (зарплата принимается по отношению к другим статьям затрат за 100%):

а) Прямые	120	120	120
б) Косвенные:			
1) Постоянные $\left(\frac{20\,000\cdot 100}{50\,000}\right)$	40	$\frac{20\,000\cdot 100}{62\,500}$ 32	$\frac{20\,000\cdot 100}{75\,000}$ 26,66
2) Переменные	60	60	60
	220	212	206.66

Первое снижение стоимости продукции за счет стабилизации постоянных расходов:

$$40 - 32 = 8 \text{ р.} = 20\%;\ \frac{20 \cdot 18{,}2}{100} = 3{,}64\%;$$

второе снижение

$$40 - 26{,}66 = 13{,}34 = 33{,}35\%;\ \frac{33{,}35 \cdot 18{,}2}{100} = 6{,}07\%.$$

На развитие нашей калькуляционной техники оказывает в настоящее время большое влияние американская калькуляция «стандарт-кост». Калькуляция эта стремится быть оперативной, а не последующей («посмертной»—Ч. Гаррисон). Для этого нужно однако организовать производство на таких началах, которые давали бы возможность отмечать все отклонения от технических норм затрат оперативно, т. е. по ходу производства. Это возможно только в том случае, когда выдачи материалов в работу производятся по нормам, время труда рабочих (конвейерным или иным способом) контролируется с нормой одновременно с приемкой от них работ; также контролируются и другие материальные статьи затрат: двигательная энергия, ремонтные материалы, отопление и освещение и т. п. При данной системе нет нужды составления повторной бухгалтерской калькуляции — достаточно ограничиться поправками соответствующих статей сметно-плановой калькуляции на основе данных оперативного учета. Порядок этот не только приводит к резкому сокращению времени для составления поверочной отчетной калькуляции, но и дает возможность оперативно констати-

ровать и исправлять дефекты производств. В условиях нашего хозяйства америк. калькуляция в этом направлении не получила еще должного применения по ряду причин: период бурной реконструкции средств труда, освоение новых методов техники, недостаток квалифицированных технич. кадров, слабость счетного аппарата и пр. приводят к необходимости базироваться на ретроспективно-отчетной бухгалтерской калькуляции. Вторым характерным методом америк. калькуляции является разложение всех производственных затрат на две основные, образующие стоимость фактора: норм и цен. Первый определяет собою соблюдение плана по линии технормирования всех затрат в порядке установления по калькулируемым единицам продукции жесткой рецептуры потребляемых материалов, трудовых норм в чв.-ч. по каждой квалификации рабочих и т. п. Второй выявляет отклонение от плана по линии закупочной стоимости различных потребленных материалов и топлива, а также изменений в расценке труда по специальностям рабочих. Первый фактор трактуется как базисный, т. к. он определяет собою основное бытие промышленного х-ва—прогресс или регресс его техники, обусловленной умелым техническим руководством, выполнением рабочими трудовых норм, качественным состоянием оборудования, качеством перерабатываемых материалов и прочими технич. причинами. В условиях советского х-ва причины эти в массе зависят от самого предприятия. Второй фактор рассматривается как коммерческий, поскольку рыночные колебания закупочных цен на материалы и рабочие руки, а также прочие случайности влияют здесь на изменение запланированной стоимости продукции. В условиях советского промышленного х-ва причины эти рассматриваются как объективные, т. к. цены на материалы устанавливаются для предприятия органами снабжения. Что касается изменений в сдельных тарифах и иных формах расчетов с рабочими, они определяются хозяйственным руководством в зависимости от ряда условий и устанавливаются для предприятий вышестоящими органами труда и профорганизаций. В таком порядке общая стоимость продукции составляется из двух факторов: технического и коммерческого порядка. Данный метод изоляции этих двух первопричин дает возможность с абсолютной конкретностью исследовать все перепитии, повлиявшие на отклонения стоимости продукции от плановых нормативов. Метод этот применяется также и в нашем счетоводстве и калькуляции, с той лишь разницей, что мы ограничиваемся выделением колебаний цен на потребленные материалы против твердоплановых, а изменения в расценках труда не выявляются методом специального переучета зарплаты на плановые ставки. Принцип разделения норм и цен можно выразить следующим образом.

На изготовление 100 *кг* продукции А запланирована например норма сырья (основных материалов): 105 *кг*×2р. = 210; фактически употреблено 102 *кг*×2.10 = 214.20; таким образом общая разница р. 4.20.

Анализ с разложением на факторы цен и норм: экономия на угарах сырья 3 *кг*×2 = 6. Перерасход вследствие удорожания цен 102 *кг*× ×10 коп. = р. 10.20. Общая разница 10.20—6=р. 4.20. Однако даже в условиях советского х-ва при наличии специализации органов производства и органов снабжения нельзя в полной мере считать перерасход в ценах независящей от ф-ки причиной, т. к. в случае одновременного перерасхода в нормах перерасход в ценах в известной части окажется связанным с перерасходом норм. Руководящая идея заключается лишь в отделении чисто технич. факторов (включая сюда и все косвенные производственные расходы) от всех прочих факторов по существу своему финансово-конъюнктурного и экономич. свойства. Анализ калькуляции под этим углом зрения на образующие стоимость продукции основные факторы м. б. представлен двумя методами: а) последующим отчетным сравнительным анализом; б) оценкой всех статей материальных затрат на производство по твердоплановым ценам. Первый метод м. б. выражен следующей схемой (табл. 7).

Табл. 7. — Отчетный сравнительный (последующий) анализ.

	Смета (план) нормализ. стоимости 100 *кг* продукции А				Отчетная калькуляция			Анализ расхожд.			
	Статьи затрат	Колич.	Цена	Сумма	Колич.	Цена	Сумма	изменения в ценах		изменения в нормах	
								+	−	+	−
Прямые	1. Сырье (основн. материал)	105	2—	210	102	2,10	214.20	10,20	—	—	6
	2. Материалы вспомогат.	0,5	10—	5—	0,6	9—	5.40	—	—30	1—	—
	Итого материала	105,5	—	215—	102,6	—	219.60	10,20	—60	1—	6
Косвен.	3. Зарплата (основная, дополнит. и соц. отчисл.)	60 час.	—50	30	58 час.	—60	34.80	5,80	—	—	1
	4. Топливо-электроэнергия от станции	120 kWh	4,2	5.04	125 kWh	4,5	5.63	0,38	—	0,21	—
	5. Цеховые расходы	—	—	43 —	—	—	43.92	—	—	0,92	—
	6. Общезав. расходы	—	—	21.50	—	—	19.77	—	—	—	1,73
	7. Амортизация	—	—	10.75	—	—	10.75	—	—	—	—
	Итого стоим. обработки	100 *кг*	1,10¼	110.29	100 *кг*	1, 14¾	114.87	6,18	—	1,13	2,73
	Итого фабрично-заводск. стоимость	100 *кг*	3,25¼	325.29	100 *кг*	3,34½	334.47	—	—	—	—
	8. Адм. торговые расх. треста	от ф. з. 3%	—	9.75	от ф. з. 3%	—	10.03	0,28	—	—	—
	Итого коммерч. стоим. продукции	100 *кг*	3,35	335.04	100 *кг*	3,44½	344.50	16,61	0,60	2,13	8,73

На основании анализа, приведенного в табл. 7, необходимо сделать следующие выводы:

I. Сырье и материалы. Общий перерасход:	219,60−215 = (+)4,60
Изменения в нормах: экономия (−)5	
» » ценах: перерасход (+)9,60(+)4,60	
II. Обработка. Общий перерасход	114,87−110,29 = (+)4,58
Изменения в нормах: экономия (−)1,60	
» » ценах: перерасход (+)6,18(+)1,58	
III. Административно-торговые расходы. Общий перерасход (по статьям независящих от предпр. расходов)	(+)0,28
Общий перерасход	344,50−335,04 = (+)9,46
Изменения в нормах: экономия 8,73−2,13=(−) 6,60	
» » ценах: перерасход 16,66−0,60=(+)16,06	(+)9,46
По суммам положительных и отрицательных эффектов	(16,66+2,13)−(0,60+8,73)=9,46

При применении этого метода не представляется возможным разложить все косвенные расходы—цеховые и общие—на индекс цен и норм в виду чрезвычайного разнообразия статей материальных затрат, в них заключающихся. Кроме того метод последующего анализа запаздывает и требует большого труда при более конкретном постатейном и поцеховом анализе. Поэтому с 1930 года в нашей практике получил большое распространение 2-й вышеназванный метод, в общих принципах санкционированный постановлением СТО от 20 января 1932 г. № 30.

Сущность его заключается в оценке всех предметов материального снабжения производства (кроме зарплаты, т. к. труд, как сказано ранее нами, пока не пересчитывается на плановые расценки) по твердым ценам, предусмотренным по плану. Разница же таковых с реальными ценами покупок перечисляется на особый балансовый счет разниц (конъюнктурных) от применения твердых цен на материалы. Счет этот м. б. в последующем порядке закрыт отнесением его в издержки производства для определения полной отчетной стоимости продукции. Однако точное распределение общей суммы т. н. «конъюнктурных разниц» в калькуляционную стоимость продукции по видам (артикулам) ее делается весьма условным, что и является основным недостатком этой системы учета производства, затрудняющим точное определение стоимости продукции по товарным артикулам ее. Тем не менее метод этот дает возможность непосредственного сравнения отчетной стоимости продукции с плановой и нахождения общей суммы расхождения с планом по причинам чисто технического порядка и притом немедленно после составления баланса и отчетной калькуляции, т. е. без составления какой-либо дополнительной аналитич. таблицы приведенной здесь формы.

Применительно к приведенному выше примеру концепция соответственных балансовых счетов примет следующий вид (табл. 8).

Табл. 8.—Оценка затрат на производство по твердоплановым ценам.

Дебет		Кредит
С К-та с соответствующих счетов в твердых ценах		На Д-т Сч. продукции
Затраты:		Стоимость продукции по плановой цене:
1. Сырье 102 × 2 =	204	100 кг × 3,25 1/4 = 325.29
2. Материалы 0,6 × 10 =	6	
3. Зарплата 58 ч. × 50 =	29	
4. Электроэнергия 125 kWh × 4,2=	5.25	
5. Цеховые расходы	43.92	
6. Общезаводские расходы	19.77	
7. Амортизация	10.75	
	318.69	
На К-т счета экономии	6.60	
	325.29	325.29

Д-т	Счет конъюнктурных разниц	К-т	Д-т	Счет экономии и перерасхода	К-т
С К-та соответствующих счетов				Со Сч. производства (Экономия в нормах)	
16.06				6.60	

При данном методе из цеховых и общезаводских расходов (косвенных затрат на производство) также будет исключено колебание цен на материалы, заключающиеся в отдельных статьях их затрат (здесь это не показано).

В нашей бухгалтерской практике ведутся интенсивные исследования для уточнения и изучения данного метода калькуляции, дающего возможность весьма эффективного контроля работы цехов предприятия, переведенных на хозрасчет, так как при устранении из анализа калькуляции их всех факторов оценки предоставленных им предметов снабжения оказывается возможным быстро и конкретно учесть чисто технич. результаты выполнения ими плановых заданий.

Приводим типовую калькуляцию обрабатывающей промышленности массового производства (табл. 9).

Форма отчетной калькуляции на продукт, выраженная по статьям затрат и по цехам (нарастающая стоимость обработки первичного сырья, см. форму). Форма эта взята из практики текстильной пром-сти. Построение стоимости готовой продукции, исходя от стоимости первичного сырья, возможно только

Табл. 9.—Калькуляция от хлопка 100 *м* ситца № 6а набивн. кр. № 3.

Цехи (процессы производства)	Сырье в производстве	Отходы (возвраты)	Сырье в продукции	Обработка: Материалы	Обработка: Зарплата	Обработка: Дополн. зарплата и соц. начислен.	Обработка: Цеховые расходы	Обработка: Общезаводские расходы	Обработка: Итого	Итого фабричная стоимость
Прядение	31,12% 9.94,70	2,56% 0.81,93	28,56% 9.12,74	0,02% 0.00,78	5,11% 1.63,24	2,71% 0.86,62	11,26% 3.59,70	2,08% 0.66,42	21,18% 6.76,86	=19,74% P. 15.89,60
Ткачество	49,74% 15.89,60	0,21% 0.06,88	49,53% 15.82,72	0,33% 0.11,59	11,42% 3.65,08	5,60% 1.78,84	9,77% 3.12,03	2,72% 0.86,84	29,87% 9.54,41	=29,35% P. 25.37,13
Отделка	79,89% 25.52,78	0,33% 0.10,39	79,53% 25.42,39	4,08% 1.30,25	2,71% 0.86,35	1,35% 0.43,36	10,91% 3.48,63	1,39% 0.44,55	20,44% 6.53,17	= +20,61% P. 31.95,56
Транспортн. междуфабр. *	0,49% 0.15,65									
Итого 100 *м*	9.91,70 0.15,65	0.99,23	9.11,12	1.42,62	6.14,77	3.08,82	10.20,42	1.97,81	22.84,44	P. 31.95,56
Удельный вес в %	31,13 0,49	3,11	28,51	4,46	19,24	9,66	31,94	6,19	71,49	100

* Переброска пряжи на ткацкие фабрики и суровья—на красильно-отделочные.

в пределах одного предприятия комбината. В случаях переброски полуфабрикатов из одного з-да в другой стоимость обработки у з-да-получателя ведется от стоимости полученного им от отправителя полуфабриката, а не от стоимости сырья з-да-отправителя с добавлением к своим (получателя) расходам от переработки аналогичных статей расходов з-да-отправителя.

Методы анализа калькуляции. Экономически углубленное исследование всех конкретных причин, повлиявших на изменение стоимости продукции против плановых нормативов или против цен предыдущего отчетного периода, в обрабатывающей пром-сти строится по трем основным разделам: 1) исследование эффективности использования материалов, 2) определение производительности труда рабочих, 3) контроль накладных (косвенных) расходов. Указываем основные моменты специфич. методов анализа.

Анализ производительности труда производственных рабочих.

Помимо методов статистич. исследования производительности труда (см. *Статистика*) приводим бухгалтерские методы, основанные на данных: а) калькуляции, показывающей изменение стоимости 1 единицы продукции по зарплате, и б) расчетной конторы, ведущей учет изменений заработка рабочих (на 1 отработанный чв.-д.), например по профессиям их и средневзвешенный по всему предприятию в целом. Метод этот исходит из следующих общих принципов расценки труда:

Характеристика	Нормы выработки продукции в единицах технич. счета	Сдельная оплата или стоимость труда (зарплата) в 1 ед. прод.	Заработок рабочего в руб.
	1	2	3
а) Прежняя норма	100 ед.	1 р.	100
б) Новая »	125 »	0,90 к.	112.50
Изменения в абс. сумме	+ 25 ед.	−0,10 к.	+ 12.50
Изменения в %	125% (b)	−10% (c)	112,5% (a)

Нахождение отдельных величин по формуле. Изменение производительности труда (обычно искомая величина по всему предприятию в целом его, т. к. в технич. единицах учета продукции изменение производительности труда можно установить только по отдельным частным операциям по цехам):

$$b = x;\ x = \frac{a}{1-\frac{c}{100}} = b = 125\%;$$

$$c = x;\ x = 100\left(1-\frac{a}{b}\right) = c = 10\%;$$

$$a = x;\ x = \left(1-\frac{c}{100}\right) b = a = 112{,}5\%.$$

Первый случай. Так, если зарплата всех рабочих на 1 отработанный чв.-д. увеличилась (средневзвешенное увеличение по профессиям) за отчетный период на 30%, а в калькулируемых единицах продукции (по средневзвешенному по видам ее определению на основе данных калькуляции) стоимость зарплаты снизилась на 0,5%, то прирост производительности труда всех рабочих з-да будет равен:

$$1+\left(-\frac{130}{\frac{0{,}5}{100}}\right) = 130{,}65\%, \text{ или } +30{,}65\%.$$

Второй случай. Заработок рабочих возрос на 2%; калькулируемая продукция по зарплате удорожилась на 2%:

$$\frac{102}{1+\frac{2}{100}} = 100\% = 0.$$

Вывод. Производительность труда осталась без изменений (худшая форма политики оплаты труда).

Третий случай. Заработок возрос на 22,4%; зарплата в продукции возросла на 2%; $\frac{122{,}4}{1+\frac{2}{100}} = 120\%$, или на 20% произошло увеличение производительности труда (один из вариантов прогрессивной сдельщины). Метод этот не меняется следовательно при всех случаях установления сдельных расценков и прочих форм оплаты труда. Недостаток его только в том, что он определяет изменения производительности труда тех групп рабочих,

Анализ использования материалов на продукт.

1. Общее сопоставление плана и отчета и выводы.

План (нормы) сырья разного вида:	Руб.	Отчет (фактич. употребл.) сырья разного вида:	Руб.
1 000 *кг* за *т*	1 119.83,26	1 000 *кг* за *т*	1 017.50,23
угары 235 *кг* (23,5%, в том числе отходов 15,0%=150 *кг*×800 р.=120 р).	−120	угары 237 *кг* (23,7%, в том числе отходов 15,6% = 156 *кг* × 750 = 117)	
Стоимость товара по сырью (материалам) 765 *кг* × 1 306.97,07=999.83,26 / за 1 000 *кг*		Стоимость товара по сырью (материалам) 763 *кг* × 1 180.21,27=900.50,23 / за 1 000 *кг*	
Выход от сырья=76,5%		Выход от сырья=76,3%	

1 306.97,07 (план)
Общая разница: 1 180.21,27 (отчет)
(дешевле) (−) 126.75,8
или 9,7%

2. Пересчет фактически употребленного состава материалов на твердо-плановые цены.

Наименование сырья (материалов)	Фактически употребленное количество материалов в *кг*	Плановые цены	Руб.
Материал «а»	1 338,8	1 456	1 949.29
» «б»	1 490,0	695	1 035.55
» «в»	151,2	1 165	176.15
» «г»	1 467,8	920	1 350.38
	4 447,8	1 014.29,24	4 511.37

3. Анализ причин изменения стоимости продукции по сырью (материалам).

а) Изменение удельного веса ассортимента употребленных материалов против плановых норм:

Руб. 1 119.83,26 − 1 014.29,24 = $\frac{105.54,02 \times 1\,000}{\text{(выход) } 763}$ (−) Руб. 138.32,27 (10,58%)

б) Изменение стоимости материалов против плана:

Руб. 1 017.50,23 − 1 014.29,24 = $\frac{3.20,99 \times 1\,000}{763}$ = (+) 4.20,69 (0,32%)

в) Разница в стоимости отходов:

1. Оценка (качество) 156 × 800 = 124.80
(хуже) − 117 − (−) 7.80
2. Увеличение количества 6 *кг* × 800 = (+) 1.80
(120 − 117) = 3−

Итого: $\frac{3 \times 1\,000}{763}$ = (+) 3.93,18 (0,30%)

г) Разница в выходе товара из сырья (в угарах):

76,5% − 76,3% = 0,2% или 2 *кг* × 1.30,7 = $\frac{2.61,4 \times 1\,000}{763}$ = (+) 3.42,59 (0,23%)

Итого (на тонне товара) (−) 126.75,8 (9,7%)

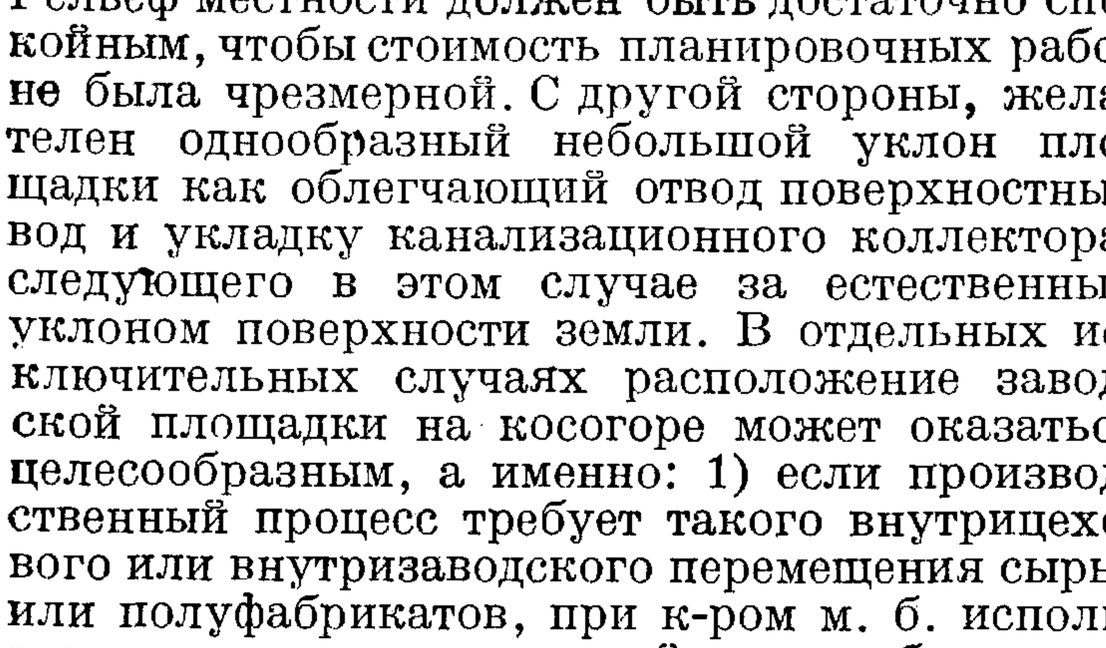
которые в калькуляции фигурируют как прямая производственная зарплата в соответствующей колонке (см. форму отчетной калькуляции), тогда как зарплата всех прочих подсобных и обслуживающих рабочих весьма часто в калькуляции заносится в графу цеховых и общезаводских расходов (иногда распределяется пропорционально прямой зарплате), смешиваясь с прочими статьями косвенных расходов. Статистич. метод решает этот вопрос для более широких групп рабочих, однако со значительно меньшей точностью и на основе трудно проверяемого материала. Анализ косвенных расходов сводится к постатейной проверке всех постоянных расходов со сметою. Эффективность переменных расходов выявляется при сравнении стоимости их по расчету на 1 машино-час по плану и по отчету или по количеству единиц выпущенной продукции, там где это возможно (при однородности продукта).

Лит.: Стоцкий В., Основы калькуляции и экономического анализа себестоимости, М.—Л., 1933; Александровский А., Калькуляция и анализ работы предприятия в металлопромышленности, М.—Л., 1932; Гаррисон Ч., Оперативно-калькуляционный учет производства и сбыта, пер. с англ., 2 изд., М., 1931; Кипарисов Н., Теория советского хозяйственного учета, М., 1933; Сорокин М., Наглядный учет в производстве, М.—Л., 1932; Кларк У., Графики Ганта, пер. с англ., 3 изд., М., 1930; Иванов П., Курс промышленного счетоводства и калькуляции, М., 1934; Шер И., Бухгалтерия и баланс, 1925; Gomberg L., L'Économologique science comptable et son histoire, Genève, 1912.

П. Иванов.

Ф

ФАБРИЧНО-ЗАВОДСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО. Выбор участка, отводимого под ф.-з. строительство, зависит от местных условий и определяется следующими обстоятельствами. Рельеф местности должен быть достаточно спокойным, чтобы стоимость планировочных работ не была чрезмерной. С другой стороны, желателен однообразный небольшой уклон площадки как облегчающий отвод поверхностных вод и укладку канализационного коллектора, следующего в этом случае за естественным уклоном поверхности земли. В отдельных исключительных случаях расположение заводской площадки на косогоре может оказаться целесообразным, а именно: 1) если производственный процесс требует такого внутрицехового или внутризаводского перемещения сырья или полуфабрикатов, при к-ром м. б. использован в качестве движущей силы собственный вес перемещаемых материалов, и 2) если производственный процесс в какой-либо стадии происходит на уровне выше пола первого этажа при невозможности использования нижележащих этажей или пространства. Примером использования косогора для первой цели может служить представленный на фиг. 1 попе-



Фиг. 1.

речный разрез бетонного завода, сооруженного фирмой Сименс Бау Унион при постройке Шварценбахской плотины в Шварцвальдене. Поступление инертных материалов и цемента происходит с нагорной стороны. После ряда следующих один за другим процессов сортировки, дозировки и перемешивания готовый бетон поступает через отгрузочные бункеры в вагонетки для следования к месту укладки. Т. к. каждый последующий процесс происходит на уровне, лежащем ниже предшествующего, то перемещения отчасти осуществляются за счет использования силы тяжести с незначительной затратой энергии механических двигателей. На фиг. 1: *A* — горизонтальный транспортер, *B*—бункеры для вяжущих материалов, *C*—ленточные транспортеры, *D*—внутризаводская подвесно-канатная дорога, *E*—дробилки и мельницы, *F*—ковшевой элеватор, *G*—барабан для сортировки, *H*—бункеры для песка и щебня, *I*—бетономешалка. Здания обогатительных ф-к также обыкновенно располагают на косогорах, чтобы использовать благодаря падению местности гравитационную энергию материалов. Второй принцип иногда используется на современных стекольных заводах. Механизированный процесс производства оконного стекла по способу Фурко определяет выход готового стекла из вальцовой машины в уровне площадки 3-го этажа. Резка стекла должна совершаться в том же уровне, ибо спуск стекла в этой стадии считается опасным как дающий значительный процент боя, неизбежного при этой операции. Поэтому здание резки надлежало бы устраивать тоже трехэтажным, в то время как использование обоих нижних этажей невозможно. В таком случае косогорность позволяет расположить здание резки на более высоких черных отметках и потому проектировать его двухэтажным. Проектирование описанных заводских установок на горизонтальном участке привело бы к бесполезному увеличению объемов зданий и следовательно к увеличению их стоимости.

Возможность получения воды в достаточном количестве и требуемых качеств при невысокой стоимости ее представляет собою одно из требований, предъявляемых к участку, избираемому для Ф.-з. с., в виду того, что промышленные предприятия потребляют значительные количества воды для питания котлов, для производственных процессов, для хозяйственных целей и питья. Предприятия нек-рых видов производства, например каменноугольные обогатительные установки, большинство химических производств, электролитические, красильные цехи, бумажные ф-ки, сахарные з-ды и другие виды пищевой пром-сти, а также большие электростанции являются столь крупными потребителями воды, что обеспечение достаточной мощности источников водоснабжения является существенным признаком, определяющим пригодность участка.

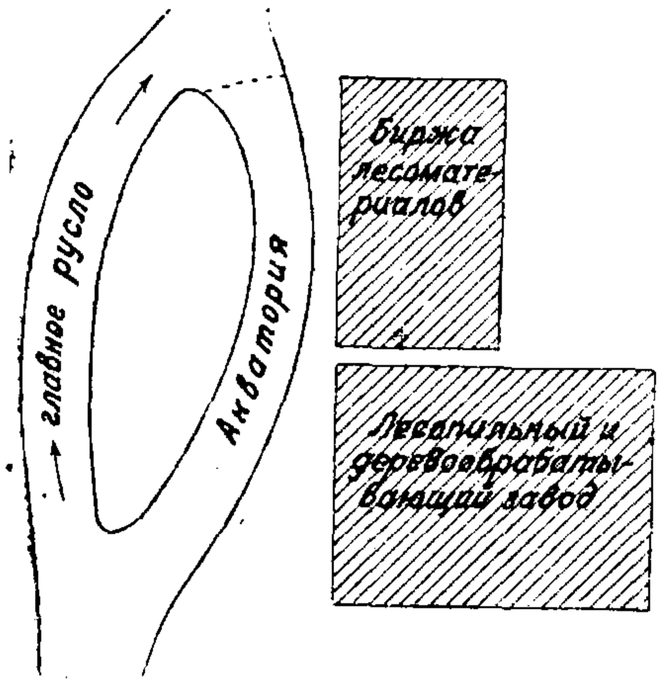
При сооружении промышленных предприятий вне городской территории приобретает весьма серьезное значение вопрос о жилищном строительстве. При постройке

крупных фабрик и заводов, не говоря уже о современных индустриальных гигантах, заводские поселки вырастают в города, насчитывающие десятки тысяч жителей. При таких условиях д. б. предусмотрено наличие достаточной по величине и удобной площадки для строительства заводского поселка вблизи промпредприятия. Площадка для поселка д. б. расположена с наветренной стороны по отношению к заводской площадке с той целью, чтобы вредные газы, уносимые вместе с дымом, и другие выделяемые производством запахи, а также шум, вызываемый работой заводских установок, не причиняли беспокойства и вреда здоровью населения поселков. С этой же целью по существующему в СССР законодательству между границами заводской территории, с одной стороны, и поселка,—с другой, оставляется незастроенная полоса шириной от 0,5 до 1 *км* в зависимости от вредности производства, а при некоторых особо вредных производствах с большой мощностью установок, например при доменных цехах (в Магнитострое), этот разрыв устанавливается в 2 *км*. Для уменьшения опасности распространения пожара, а также и по санитарно-гигиеническим соображениям полосы, отделяющие заводской участок от поселка, покрывают зелеными насаждениями, образующими зеленые защитные зоны. В виду отмеченного выше большого потребления воды промышленные предприятия большей частью располагаются вблизи берегов рек или других достаточно надежных водоемов, служащих в этом случае источниками водоснабжения для производственных целей. Так как в эти же водоемы нередко спускают сточные воды и канализационные коллекторы, то местоположение поселка выбирают таким образом, чтобы он находился выше устья водостока. Стремление к уменьшению расходов по устройству напорной водопроводной линии приводит иногда к чрезмерному приближению фабрично-заводских зданий к урезу воды, результатами чего может явиться обнажение фундаментов этих зданий, причиняемое подмывом берегов течением реки при отсутствии надлежащих берегоукрепительных сооружений, а также затопление подвальных этажей зданий высокими водами. По этим соображениям в отличие от практики дореволюционного строительства сравнительно мелких предприятий современные фабрично-заводские здания в СССР обыкновенно располагают на таком расстоянии от берегов рек, которое исключает опасность подмыва, для чего требуется производство гидрометрич. и геологич. исследований, обычно предшествующих возведению такого рода сооружений. Гарантия от затопления заводской площадки при подъемах воды в близлежащем водоеме д. б. обеспечена назначением таких отметок полов нижних этажей зданий и внутризаводских путей и проездов, а равно и площадей для открытых складов, к-рые возвышались бы над наивысшими по многолетним наблюдениям горизонтами высоких вод по крайней мере на 0,25—0,5 *м*. В соответствии с этим требованием участки, имеющие хотя бы частично затопляемую территорию, являются мало пригодными для Ф.-з. с. Низменные и заболоченные участки непригодны и для расположения поселкового строительства. Однако в известных случаях технические и экономические соображения в пользу намеченного участка заставляют несмотря на затопляемость его сооружать на нем значительные ф.-з. здания, не останавливаясь перед крупными затратами по подсыпке территории до требуемого уровня. Та же цель иногда достигается более дешевым мероприятием—обвалованием территории. Примеры такого рода расположения фабрично-заводских предприятий на затопляемой территории нередки, если строительство намечено в устьях судоходных рек и на островах, образуемых дельтой этих рек. Громадные преимущества такого местоположения вблизи глубоководного фарватера при отсутствии более возвышенного подходящего участка нередко приводят к такому решению даже несмотря на необходимость искусственного повышения всей территории и связанные с этим крупные земляные работы, выполняемые иногда рефулированием грунта из дна реки. Так как сооружение промышленных предприятий связано со строительством поселков, то пригодность участка, избираемого для заводской площадки, обусловливается удовлетворительностью поселкового участка, к-рый должен быть подвергнут изучению с точки зрения санитарно-гигиенических требований, какими являются отсутствие заболоченности, малярийности, наличие годной питьевой воды и др. Кроме того является нежелательным удаление поселка далее $1^1/_2$ *км* от заводской площадки. При расположении поселка в расстоянии далее $1^1/_2$—2 *км* обыкновенно приходится сооружать трамвайную линию или организовывать доставку рабочих на автобусах. Благодаря развитию транспорта (автобусы, автомобили) получается возможность удалять постройку рабочих трудовых поселков от непосредственной близости фабрик и заводов. За границей нередки случаи расположения рабочих трудовых поселков в 5—10 *км* от заводов.

Грунтовые условия являются существенным фактором, определяющим пригодность и достоинства изучаемых участков. Стоимость фундаментов фабрично-заводских зданий, возводимых на грунтах средней плотности в нормальных условиях, составляет 5—7% от полной стоимости этих зданий, повышаясь до 12—15% при возведении их на слабых грунтах, требующих устройства искусственного основания. В случае сооружения зданий, имеющих подвальные помещения, высокое стояние горизонта грунтовых вод требует устройства водонепроницаемых полов на бетонной или железобетонной плите и обеспечения стен от проникания воды, что вызывает дополнительные расходы на строительство.

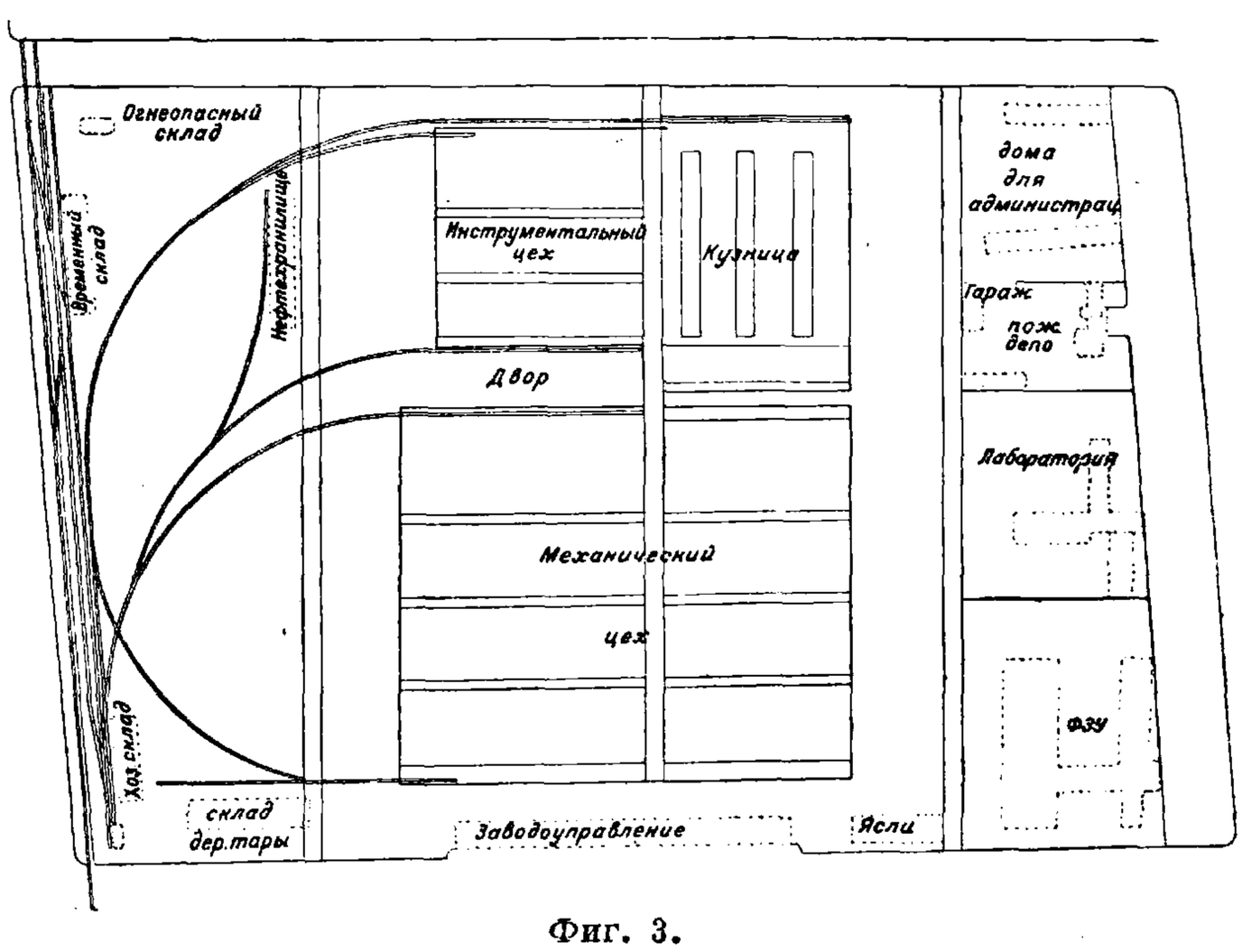
Нормальное функционирование фабрично-заводского предприятия невозможно при отсутствии удовлетворительных путей, связывающих предприятие с пунктами заготовки сырья и материалов и местами сбыта готовых изделий. В виду этого предпочтительным является расположение заводских предприятий на площадках, находящихся вблизи ж.-д. путей и берегов судоходных и сплавных рек. Нередко строительство нового достаточно крупного промышленного предприятия требует проведения специальной ж.-д. ветки на заводскую территорию. Однако рентабельность сооружения ж.-д. пути д. б. всякий раз проверена, ибо при малых грузооборотах может оказаться более выгодным как с точки зрения эксплоатационных расходов, так и особенно

в отношении единовременных капитальных затрат, сооружение безрельсовой дороги. Лесопромышленные заводы, перерабатывающие малоценные, но весьма громоздкие материалы и выпускающие также малоценные полуфабрикаты, не выдерживающие дальних ж.-д. перевозок, как правило располагаются на берегах сплавных или судоходных рек и получают сырье сплавом по реке. В виду кратковременности сезона сплава и большого объема перерабатываемых материалов у заводской площадки такого предприятия требуется в о д о е м, или акватория, с площадью зеркала, достаточной для вмещения прибывающего лесоматериала. Одним из обычных решений является выбор такого участка в месте разделения реки островами на два или более рукавов на противоположном главному руслу берегу с тем, чтобы расположенные в акватории лесные материалы не препятствовали сплаву или судоходству по главному фарватеру реки. На фиг. 2 представлена схема расположения лесопильного и деревообделочного завода и биржи лесоматериалов на берегу одного из рукавов реки.



Фиг. 2.

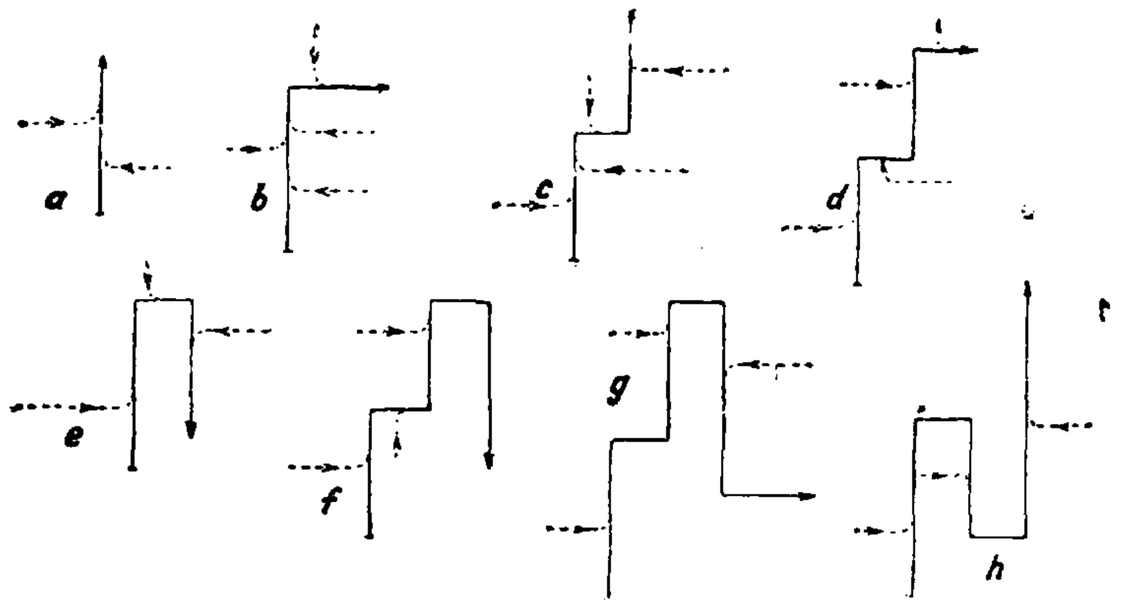
При выборе участков для промышленных предприятий, дающих отходы, утилизируемые для другого производства, располагаемого на той же или смежной площадке, необходимо учесть потребности обоих предприятий с точки зрения достаточности площадей и удовлетворения специфич. условиям обоих производств. Расположение ф.-з. построек в черте больших городов представляет большие преимущества с точки зрения приближения продукции промышленных предприятий к потребителю, а также в отношении вербовки квалифицированной рабочей силы и расселения рабочих. Равным образом при этом отпадает часть расходов по электросиловым, водопроводным, канализационным, планировочным и прочим видам работ по благоустройству, неизбежным при освоении неподготовленной для строительства площадки вне городской территории. Однако ряд неудобств исключает для некоторых отраслей производства возможность расположения промышленных предприятий в пределах городов. Сюда относится упомянутое ранее требование разрывов, а также затруднительность, а иногда и полная невозможность проведения железнодорожной ветки во двор предприятия. Ветка должна проходить в уровне улиц без устройства насыпей или выемок, дабы не стеснять уличного движения, или же на эстакадах. В виду того что уклоны улиц нередко превосходят уклоны, допускаемые для ж.-д. веток, эта задача иногда весьма затруднительна. Так, при проектировании завода шарикоподшипников им. Кагановича (генеральный план которого изображен на фиг. 3) в Москве в виду значительного уклона площадки, следующего за уклоном поперечной улицы, для ввода на территорию ж.-д. ветки потребовалось трассировать ее тупиками. В виду значительной затруднительности оборудования заводских предприятий железнодорожным транспортом в городах располагают главным образом предприятия легкой и отчасти пищевой промышленности, не требующие перевозок значительных объемов материалов и не оказывающие вредного влияния на благополучие жителей соседних кварталов.



Фиг. 3.

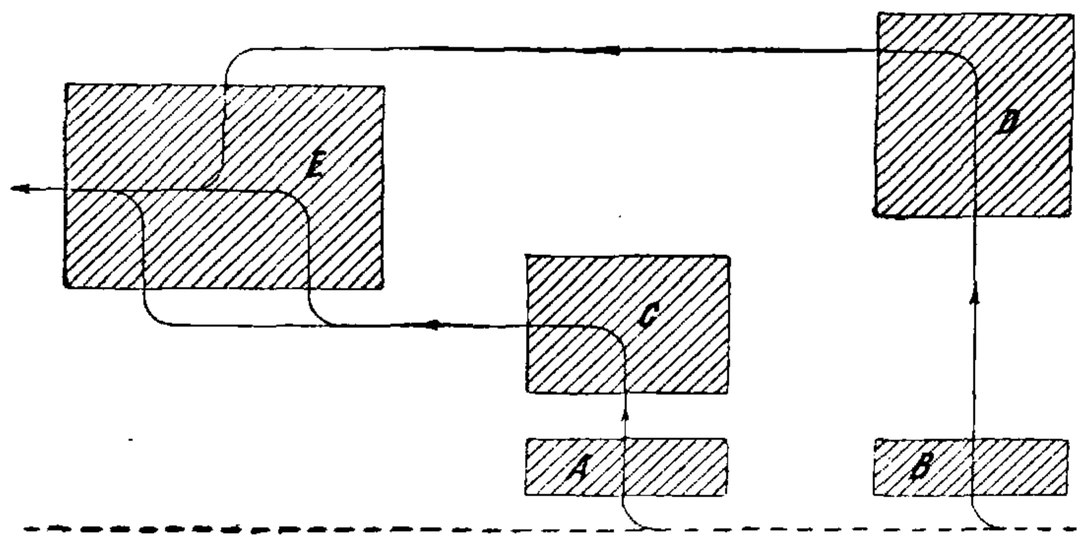
О б щ и е п р и н ц и п ы р а с п о л о ж е н и я ф.-з. п о с т р о е к н а у ч а с т к е. Независимо от рода организуемого промышленного производства каждое предприятие требует возведения целого ряда построек, которые м. б. обобщены по некоторым функциональным признакам. Таковы: 1) постройки, служащие для приема и хранения сырьевых материалов, т. е. амбары, механизированные и специально приспособленные для хранения материалов склады, силосы, пакгаузы и т. п., причем в некоторых случаях в этих же зданиях может происходить первичная обработка или сортировка материалов, 2) заготовительные цехи, в которых происходит переработка материалов до стадии полуфабрикатов: кузница, литейная, шихтовая и т. п., 3) склады полуфабрикатов, 4) главные производственные цехи, в которых происходит окончательная обработка полуфабрикатов, сборка, отделка и т. д., 5) склады запасных частей или деталей, приобретаемых извне, 6) склады готовых изделий, 7) вспомогательные цехи: ремонтно-механические, ремонтно-строительные, деревообрабатывающие, тарные, инструментальные и прочие мастерские, 8) постройки для теплосилового хоз-ва: склады топлива, котельные, электрические и трансформаторные станции, дымовые трубы, градирни, 9) обслуживающие и административно-хозяйственные постройки: лаборатории, школы ф.-з. ученичества, пожарные депо, заводоуправления, гаражи, паровозные депо, конные дворы и др., 10) внешние сооружения: мосты, эстакады, ж. д., туннели для трубопроводов, переходные галлереи, бесколейные дороги, 11) водопроводные и канализационные сооружения: отстойники, насосные станции, фильтры, водоприемники и др. Иногда нек-рые из поименованных видов построек объединяются, другие же по особенностям данного производ-

ства оказываются ненужными, вследствие чего комплекс ф.-з. построек на площадке может содержать меньшее число сооружений, нежели перечисленные выше. Иногда на заводской территории располагаются отдельные здания столовых, предназначенных только для работающих на предприятии, причем члены семьи



Фиг. 4.

в эти столовые обыкновенно не допускаются. Заводская территория обязательно ограждается забором. Вход на территорию завода допускается только через проходную контору, расположенную у заводской ограды, обыкновенно вблизи общезаводской конторы. Пожарные депо по большей части выносятся за пределы ф.-з. площадки, но располагаются в непосредственной близости от нее с тою целью, чтобы была облегчена возможность обслуживания



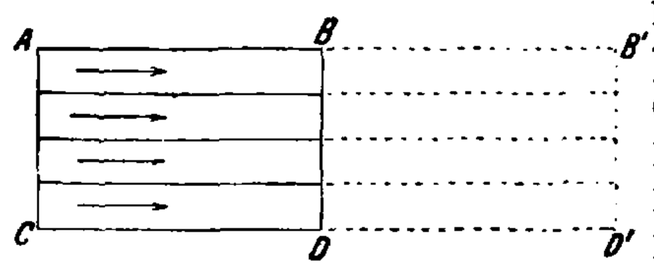
Фиг. 5.

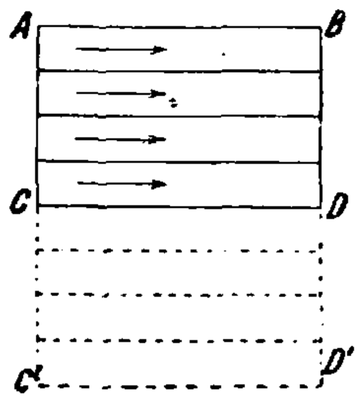
пожарным депо как самого заводского участка, так и жилого поселка. Расположение всех построек, составляющих комплекс ф.-з. предприятия, зависит от рода производства и местных условий.

Основные условия, определяющие правильное размещение ф.-з. построек на участке, таковы: 1) основное движение сырья и полуфабрикатов от момента начала первичной обра-

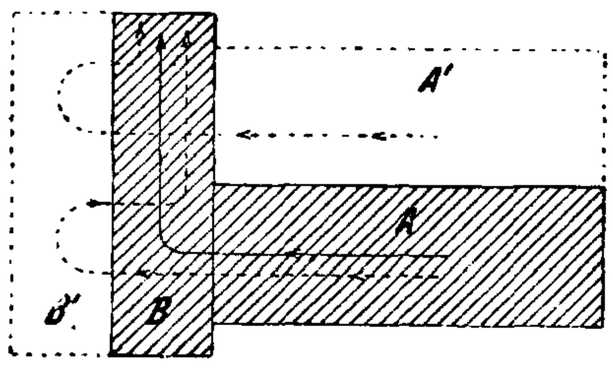
Фиг. 6.

ботки и вплоть до полного завершения производственного процесса д. б. прямоточным, т. е. обратные направления основного производственного потока не должны иметь места. Возможные схемы производственных потоков представлены на фиг. 4,*a*—*h*. Схемы по фиг. 4, *a*, 4,*b*, 4,*c* и 4,*d* являются более удачными как исключающие обратную поточность основных процессов. Схемы 4,*e*, 4,*f*, 4,*g* и 4,*h* дают неудовлетворительное решение. На этих чертежах сплошные линии относятся к главному производственному потоку, а пунктирные—к вспомогательным. 2) Пересечение грузовых потоков в одном уровне на заводской площадке при достаточно интенсивном грузообороте является нежелательным. Фиг. 5 показывает схему генплана с неудачным пересечением потоков. Из склада *A* сырье поступает в заготовительный цех *C*, откуда полуфабрикат направляется в главный цех (напр. сборочную) *E*. Таким же способом сырье из склада *B* проходит через заготовительный цех *D* (кузницу) в здание *E*. На фиг. 6 та же задача решена более удовлетворительно. 3) Генеральная планировка ф.-з. построек должна предусматривать возможность будущего развития предприятия, в связи с



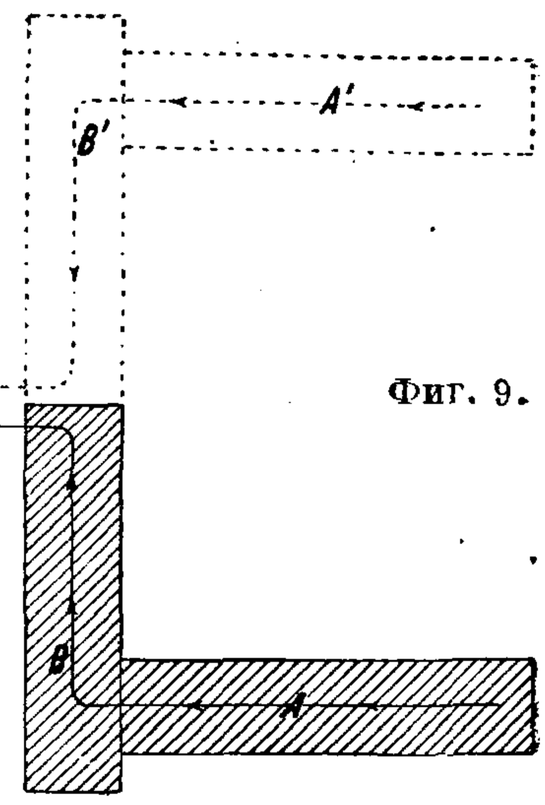


Фиг. 7.



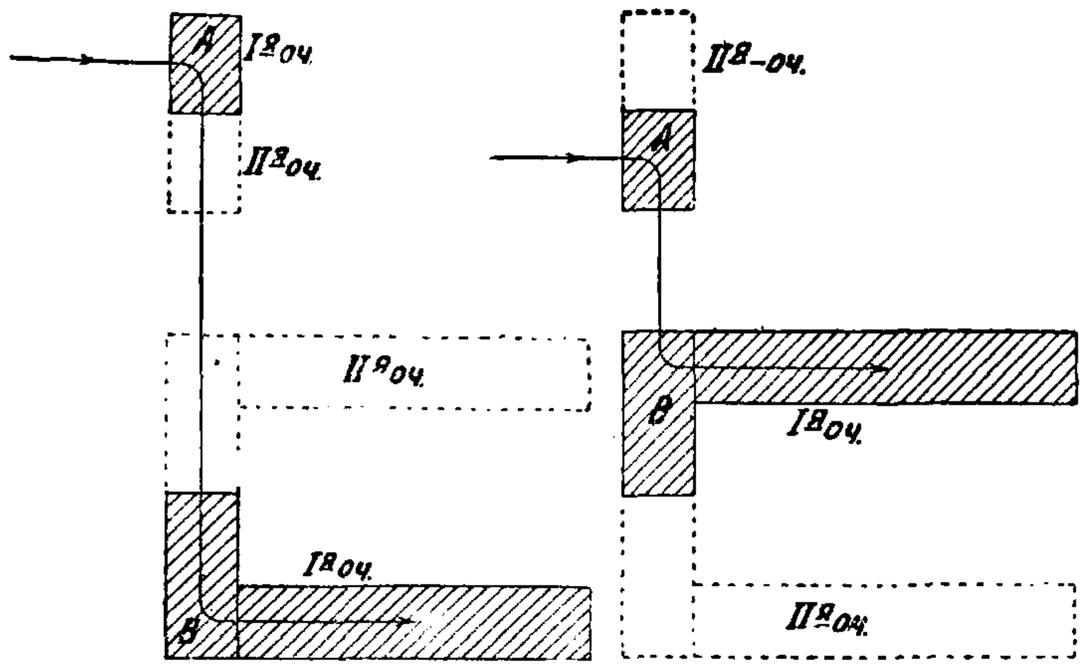
Фиг. 8.

чем места, предназначаемые для расширения здания первой очереди, не должны застраиваться. 4) При расчете на расширение следует располагать здание т. о., чтобы впоследствии, т. е. после осуществления расширения, не ухудшались условия эксплоатационного режима. Если производственный поток направлен в здании, как указано стрелками на фиг. 7, и *AB* есть тот путь, к-рый совершает сырье (или полуфабрикат) от начала производства до полного его завершения, то при будущем расширении здания по направлению *B*—*B'* тем самым удлинялся бы путь прохождения сырья, увеличивалась бы стоимость внутризаводского транспорта и понижалась бы величина выпускаемой продукции, отнесенная на единицу площади. Поэтому расширение следует предусматривать в направлении *C*—*C'* (фиг. 7), ибо в этом случае пути движения продукции не удлиняются. На фиг. 8 и 9 представлены возможные схемы расширения прессового цеха *A* и термического цеха *B*. Из прессового цеха *A* после обжатия болванки поступают для термич. обработки в цех *B*. После осуществления расширения производственный поток направляется, как показано пунктиром, т. е. будет неизбежно пересечение и удлинение движения. Кроме того ухудшаются условия освещения и проветривания здания. Схема, показанная на фиг. 9, является более удовлетворительной, будучи свободна от этих недостат-



Фиг. 9.

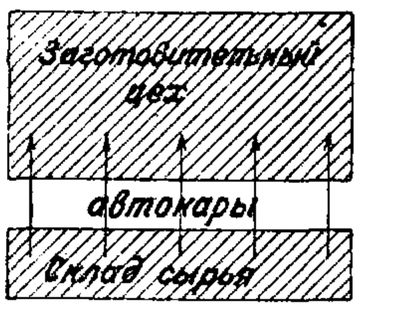
ков, но вместе с тем требует больше площади на территории участка. 5) Предусматриваемое для будущего расширения и оставляемое незастро-



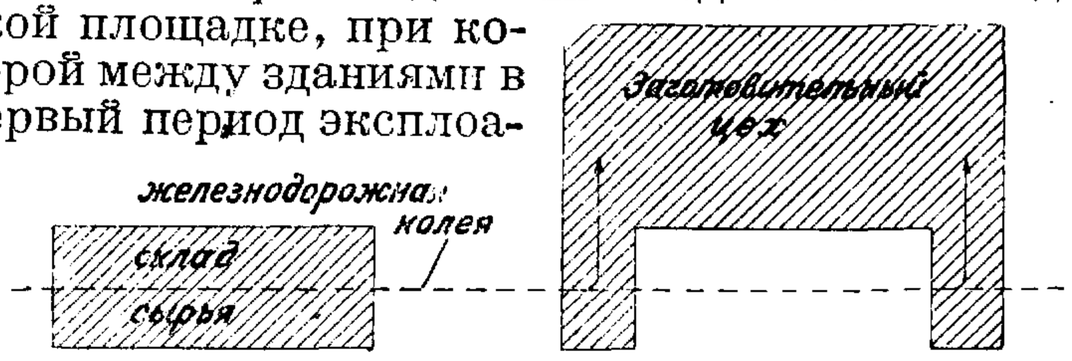
Фиг. 10.

Фиг. 11.

енным пространство по возможности не должно находиться между зданиями, а наоборот, должно приближаться к границам участка с тою целью, чтобы в период эксплоатации первой очереди не производить работ по благоустройству и освоению той части площади, которая предназначается для расположения построек второй очереди, и не производить на этой площади ежегодных работ по ремонту, очистке снега и т. д. На фиг. 10 показана такая схема расположения двух взаимозависимых производственных зданий на заводской площадке, при которой между зданиями в первый период эксплоа-



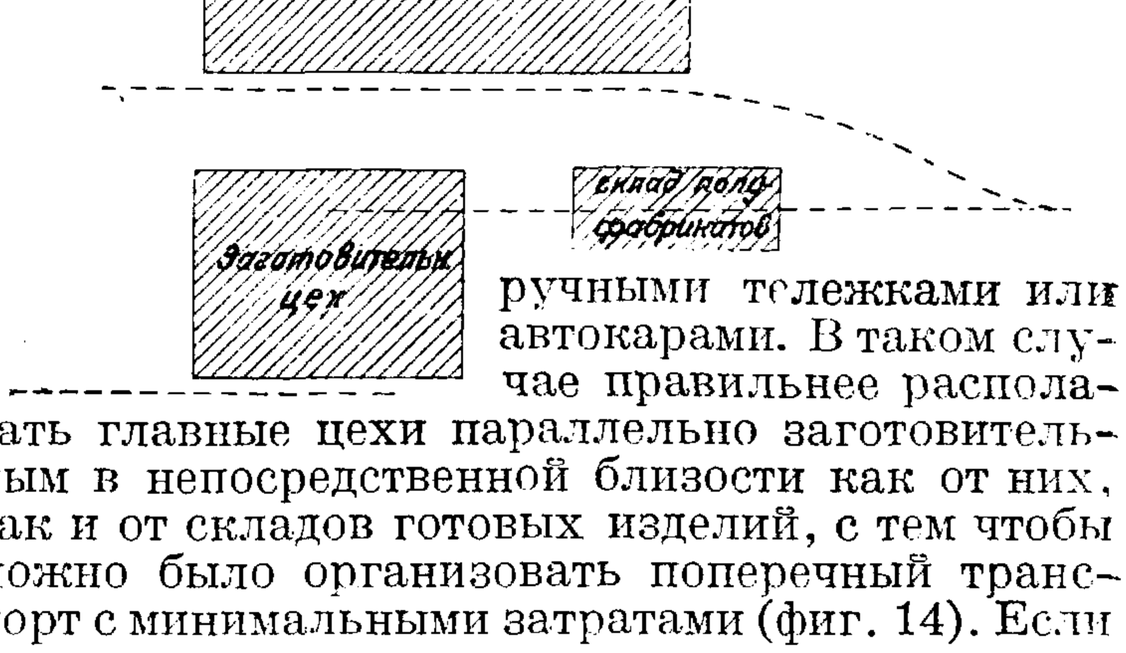
Фиг. 12.



Фиг. 13.

тации оказывается незастроенная площадь, бесполезно увеличивающая длину перемещений материалов. Схема по фиг. 11 более удачна, если ее допускает производственный процесс.

Все складочные помещения как правило располагаются вдоль подъездных, колейных или бесколейных дорог, причем предпочтительнее располагать здания складов вдоль путей с целью увеличения фронта разгрузки и нагрузки. При незначительном потреблении сырья, топлива и т. п. возможно обращать складочные постройки торцами к подъездным путям, если такое расположение диктуется другими соображениями. Заготовительные цехи следует располагать непосредственно против складов сырья, по возможности параллельно друг другу (фиг. 12). При этом подача сырья может производиться специальными механич. транспортерами, тележками и автокарами. При перемещении ж.-д. транспортом правильнее последовательное расположение зданий (фиг. 13), при к-ром ж.-д. колея проходит через склад вдоль его и далее, пропуская вагоны с сырьем в особо устраиваемые тамбуры, рассчитанные на постановку одновременно одного или более вагонов. Расположение главных цехов на генеральном плане относительно заготовительных и вспомогательных, а также и складов зависит от характера производственного процесса и обусловливаемого этим процессом вида транспорта. Если производится серийная работа сплошным производственным потоком, т. е. так, что отдельные детали или элементы (полуфабрикаты) поступают из заготовительных цехов, минуя склады полуфабрикатов, прямо в главные цехи для окон-

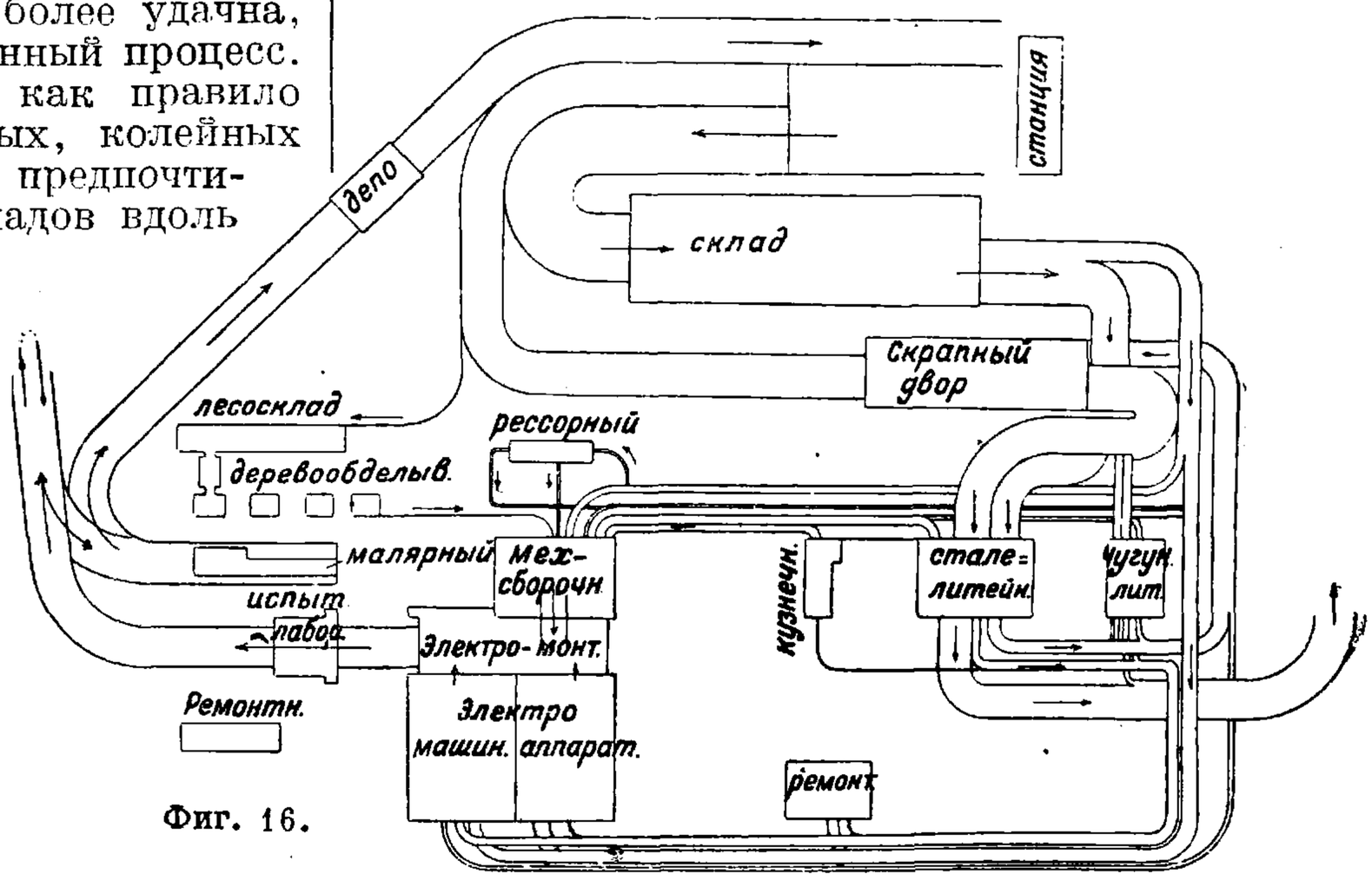


Фиг. 14.

чательной обработки или сборки, то предпочтительным является перемещение полуфабрикатов транспортерами, вагонетками, монорельсами,

Фиг. 15.

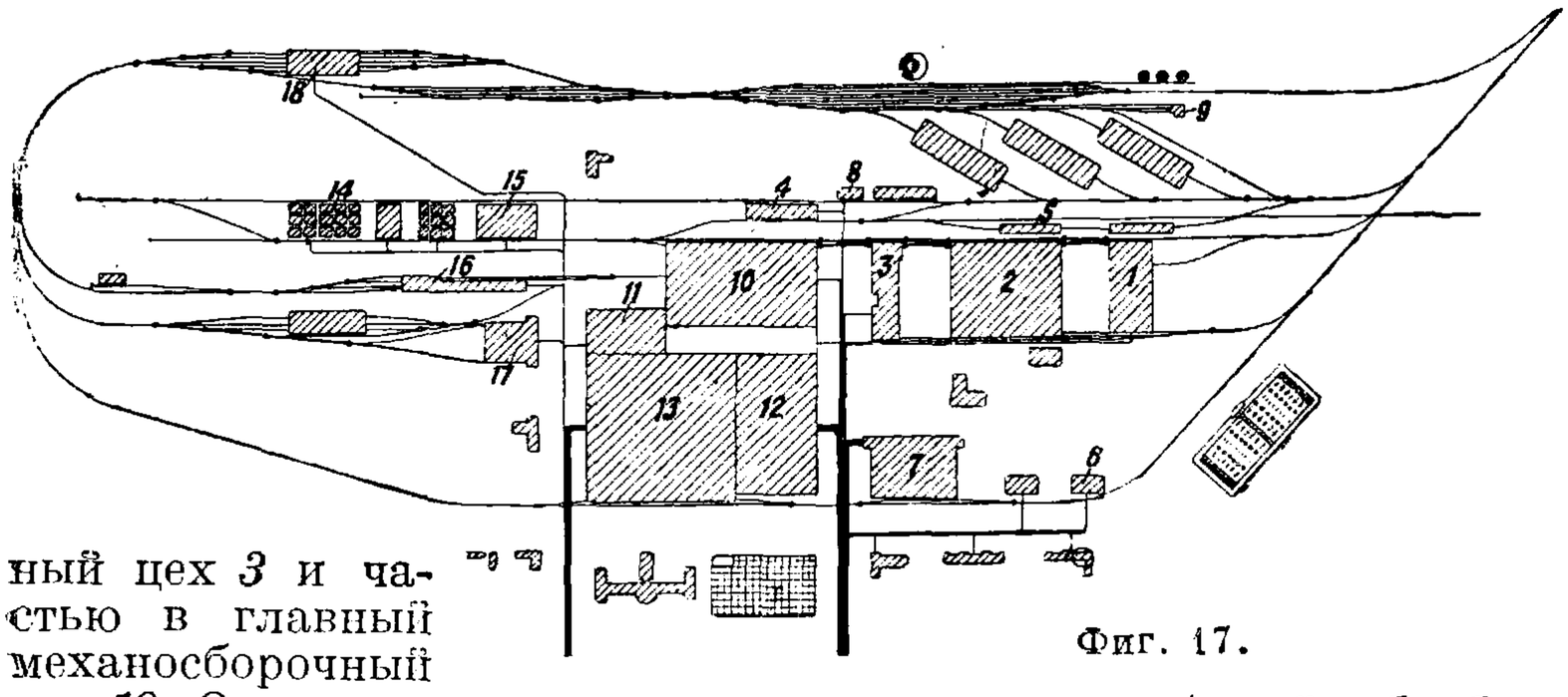
ручными тележками или автокарами. В таком случае правильнее располагать главные цехи параллельно заготовительным в непосредственной близости как от них, так и от складов готовых изделий, с тем чтобы можно было организовать поперечный транспорт с минимальными затратами (фиг. 14). Если же характер производства не допускает непрерывной конвейерной поточности и полуфабрикат должен пройти предварительно через склад, то указанная четкость взаимного расположения



Фиг. 16.

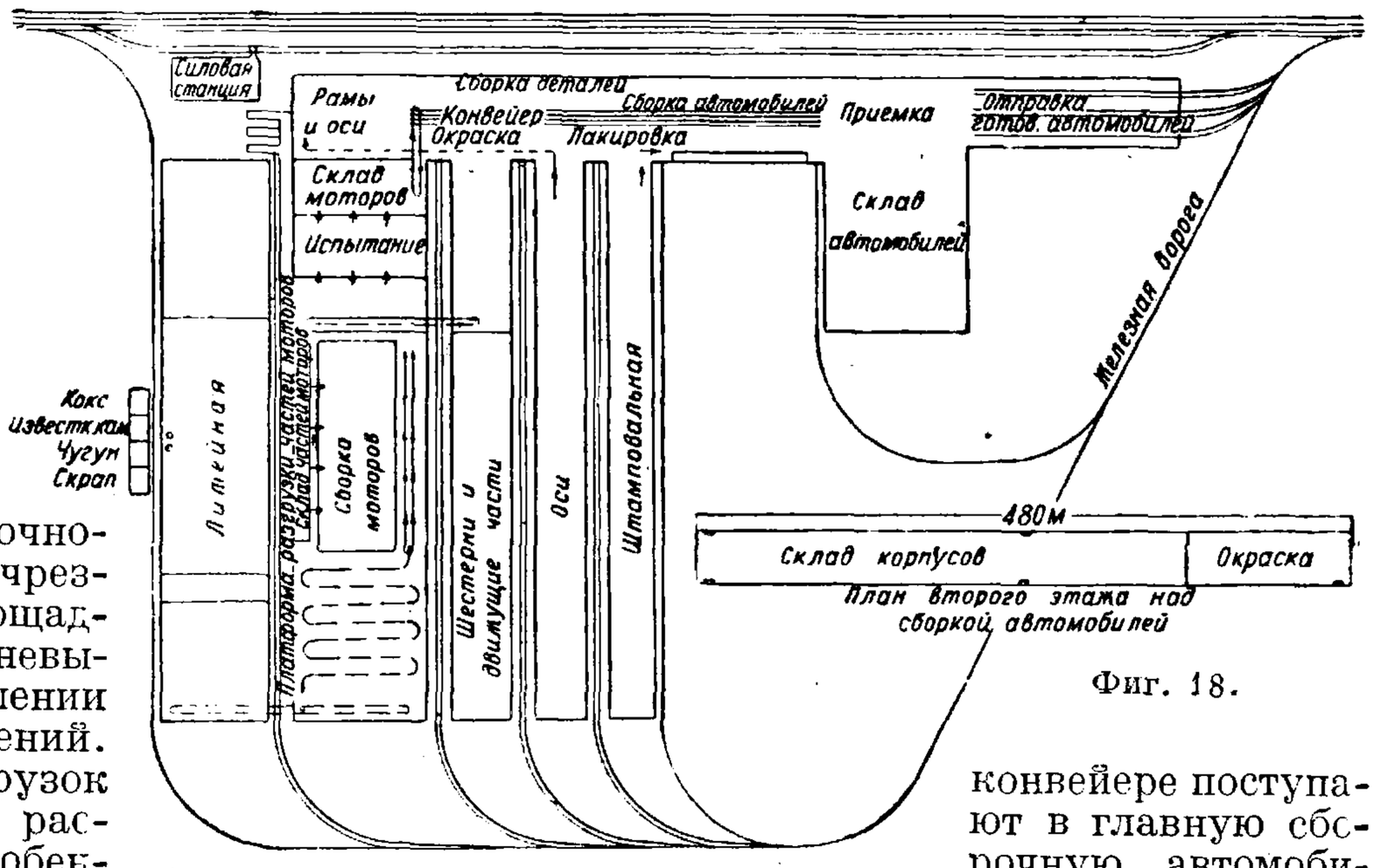
главных и заготовительных цехов необязательна. Однако при больших массах транспортируемых полуфабрикатов, в особенности при оборудовании площадки ж.-д. транспортом, склад полуфабрикатов следует располагать между заготовительным и главным цехом, на одной прямой,

а если по конфигурации площадки такое расположение невозможно, то приходится располагать здания по фиг. 15. При этом возможно пользоваться двоякого рода транспортом, т. е. и железнодорожным и автокарами, что в известных случаях может представить преимущества. Фиг. 16 представляет схему грузопотоков по проекту Каширского з-да электровозов и фиг. 17—проект генплана. Поступающие по ж. д. чугун, кокс, песок и др. сырые материалы после рассортировки вагонов на сортировочной станции направляются на скрапный двор *5*, оттуда в вагранки и печи чугуно- и сталелитейных цехов *1* и *2*. Из литейных литье направляется частью в кузнечный цех *3* и частью в главный механосборочный цех *10*. Отвалы удаляются в другом направлении. Другими заготовительными цехами по отношению механосборочной являются группа деревообделочных цехов *14—16*, имеющих свой лесной склад, и рессорный цех *4*, перерабатывающий в свою очередь высококачественную сталь, приобретаемую на стороне и хранящуюся на складах запасных частей *6*, *8* и *9*. Другими обрабатывающими цехами являются электромашинный *12* и электроаппаратный *13* цехи, потребляющие сталь, чугун и запасные части, доставляемые из литейных цехов и складов деталей. Окончательная сборка производится в электромонтажном цехе *11*, после чего электровоз проходит через испытательную лабораторию *17*, идет в обкатку, возвращается для окраски в малярный цех *18* и выводится для стоянки в депо. Ремонт оборудования производится в ремонтно-механическом цехе *7*. Громадные площади цехов, обусловленные большим масштабом производства, приводят к частичному нарушению прямоточности, ибо противное заставило бы чрезмерно удлинять заводскую площадку, что в свою очередь было бы невыгодно в эксплоатационном отношении и в смысле дальности перемещений. Во избежание излишних перегрузок и принимая во внимание, что рассматриваемый завод в силу особенностей производственного процесса не может работать непрерывным конвейерным способом, в каждом цехе выделены достаточно большие площадки для складов изготовляемых деталей. Решение вопроса о предпочтительности железнодорожного внутризаводского транспорта перед автокарным или обратно делается на основе экономических подсчетов. Стоимость железнодорожного внутризаводского транспорта исчисляется примерно в 35 коп. за *т-км*, а автокарного—75 к. за *т-км*. Площадь участка с ж.-д. путями 215 *га*. Площадь застройки 25 *га*. Отношение площади застройки к площади участка $\frac{25}{215} = 11{,}6\%$, что свидетельствует о достаточной плотности для участка, расположенного вне городской территории. (Для Горьковского автомобильного завода им. т. Молотова площадь застройки равна 21,5 *га*. Площадь участка 336 *га*. Коэфициент застройки $\frac{21{,}5}{336} = 6{,}4\%$.)



Фиг. 17.

На фиг. 18 изображен проект автомобильного завода Окленд в Понтиаке (США). Весь производственный поток построен на принципе конвейерного процесса. Здания заготовительных цехов, полуфабрикатов и главного сборочного корпуса расположены по схеме фиг. 5 т. о., что с момента поступления кокса на заводскую площадку материалы и полуфабрикаты имеют непрерывное поступательное движение. С левой стороны по ж.-д. пути доставляются кокс и чугун, поступающие в вагранки литейной, где отливаются части моторов, передаваемые затем открытыми транспортерами в механосборочную моторов. Здесь цилиндры подвергаются дальнейшей обработке на механич. станках, подвигаясь на конвейере вдоль правой стены, в то время как приходящие извне поршневые кольца и другие мелкие части моторов, выгружаемые из ж.-д. вагонов на платформу и в склад вдоль левой стены сборочной, подвергаются предварительной сборке в средней части этого здания и затем на упомянутом конвейере встречаются с цилиндрами моторов. Другой транспортер передает шестерни и движущие части из третьего поперечного корпуса в сборочную моторов, после чего последние испытываются и на конвейере поступают в главную сборочную автомобилей. Здесь же происходит сборка рам и осей. В центральной части автосборочной находятся подъемники, по к-рым спускаются на главный сборочный конвейер кузова из склада, находящегося на втором этаже. Эти кузова доставляются с другого з-да на грузовиках к подъемникам у левой торцовой части автосборочной и хранятся во втором этаже. Здесь же происходит окраска, лакировка и окончательная сборка, причем штампованные части, как радиаторы, подножки и т.п., подаются из штамповального цеха.



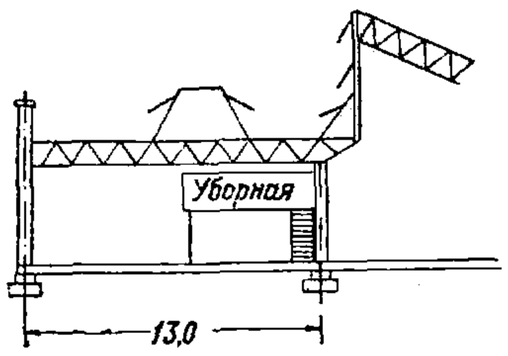
Фиг. 18.

После испытания и приемки автомобили поступают в склад или грузятся в ж.-д. вагоны.

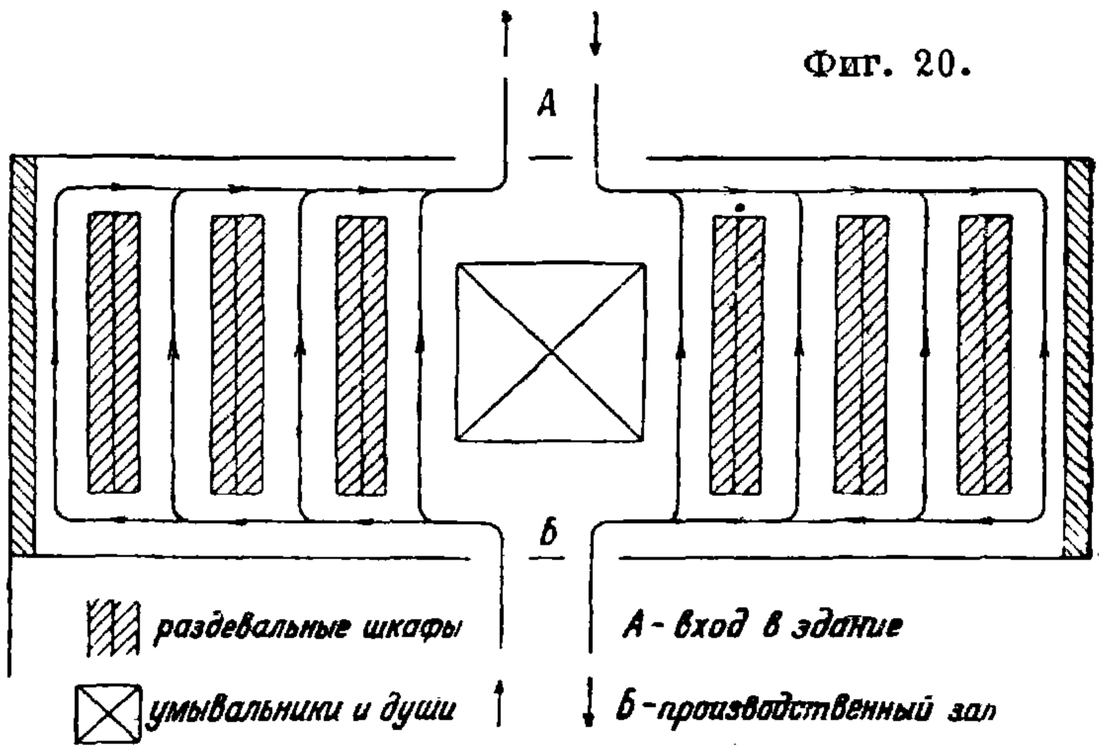
Независимо от взаимного расположения зданий по принципу последовательного или параллельного производственного процесса расстояния, или разрывы, между постройками д. б. возможно меньшими с целью ускорения производства, а следовательно и удешевления стоимости внутризаводского транспорта, ложащегося большим расходом на стоимость продукции. Уменьшение разрывов способствует укорочению длины трубо- и электропроводов, уменьшению объемов земляных работ по планировке площадки и прочим видам благоустройства. Однако пределы взаимного приближения ф.-з. построек определяются требованиями пожарной безопасности и в СССР регулируются «Едиными нормами строительного проектирования».

Пути нормальной ж.-д. колеи, проходящие по ф.-з. территории, следует располагать т. о., чтобы по возможности исключались обратные тупиковые движения, и постановка вагонов на надлежащий путь против складочного или производственного здания могла осуществляться одним прямым движением, причем предпочтительным является положение паровоза в хвосте состава, ибо при этом упрощается возвращение паровоза после постановки вагонов. Если же по условиям работы станции и парка ф.-з. путей паровоз должен находиться в голове состава, то предусматривают устройство съездов и параллельных обгоночных путей, по к-рым паровоз после производства маневров уводится обратно. Как видно из проекта генерального плана Московского з-да шарикоподшипников (фиг. 3), подача сырья в кузницу, материалов в инструментальный цех и в склад нефтематериалов производится по направлению *A—B—C*, т. е. с помощью тупиковых заездов. Таким же порядком обслуживается выдача готовой продукции, причем для производства маневров паровоз должен находиться в голове поезда при входе на площадку. Это тупиковое движение имеет и другую цель: благодаря развитию линии удается опустить путь на отметки площадки у фронта кузницы *CD*, следующего за уклоном улицы. Подачу к главному корпусу удается осуществить без обратного движения. Следует избегать устройства пересечения на уровне земли рельсовых путей с улицами, по к-рым происходит главное пешеходное движение рабочего потока из поселка на заводскую территорию. Во всяком случае нежелательно такое пересечение при достаточно интенсивной работе ж.-д. состава вдоль пересекаемых путей. При невозможности избежать такого пересечения и наличии значительного рабочего потока, движущегося вдоль улицы поперек путей, устраивают пешеходные мостики или путепроводы в повышенном уровне. Вспомогательные, т. е. ремонтно-механические и т. п., здания располагаются по возможности в центре или поблизости группы производственных цехов, а также силовых установок, нуждающихся во время эксплоатации в обслуживании этими вспомогательными цехами. Теплосиловое и паросиловое хоз-во также располагается вблизи цехов, потребляющих электроэнергию, пар и тепло как с целью уменьшения длины трубопроводов, так и для уменьшения тепло- и энергопотерь. Склады топлива располагаются вблизи котельных, однако при больших запасах и в особенности при наличии неогнестойких сооружений на ф.-з. площадке склады топлива располагают в целях уменьшения пожарной опасности в расстоянии не менее 50—100 *м* от любого близлежащего здания. Административные здания обыкновенно располагаются вблизи главного входа на фабрично-заводскую территорию внутри ограды.

При каждом ф.-з. производственном здании с числом рабочих свыше 15 обязательно устраиваются т. н. бытовые и вспомогательные помещения, состоящие из гардеробных, душевых, уборных и пр. По нашему законодательству души обязательно устраиваются при рабочих помещениях, где работа производится в условиях высоких $t°$, напр. в горячих цехах, а также при производствах мокрых, пыльных, грязных и вредных для здоровья, из расчета 1 душ на 6 чел., работающих в смену; уборные—из расчета 1 очко размерами 0,7×1,2 *м* на 25 мужчин или на 20 женщин. Уборные располагаются на расстоянии, не превышающем 125 *м* от наиболее удаленной точки. Бытовые помещения обычно концентрируются в одном каком-либо конце здания, избираемом т. о., чтобы их расположение не препятствовало будущему расширению здания и по возможности не затемняло производственных помещений. Наилучшим решением поэтому является расположение бытовых помещений в торце здания. Если требуемая для бытовых помещений площадь оказывается недостаточной в отводимом контуре, то нередко в части здания, занимаемой бытовыми помещениями, устраивают большее число этажей, чем в производственной его части. В одноэтажных производственных зданиях это достигается устройством двух- и трехэтажных пристроек, а в многоэтажных—подразделением каждого этажа на два полуэтажа, что является осуществимым при высоте производственных помещений, превышающей 5 *м*, т. к. минимальная высота бытовых помещений в чистоте установлена в 2,45 *м*. При большом протяжении производственных зданий иногда располагают уборные внутри цеха на возвышенных площадках с открытыми лестницами (фиг. 19). Площадки для уборных располагаются на добавочных колоннах на высоте не менее 2,25 *м* от пола, благодаря чему возможно свободное движение под площадками. Бытовые помещения располагают т. о., чтобы при движении рабочих не было пересечения рабочих потоков.



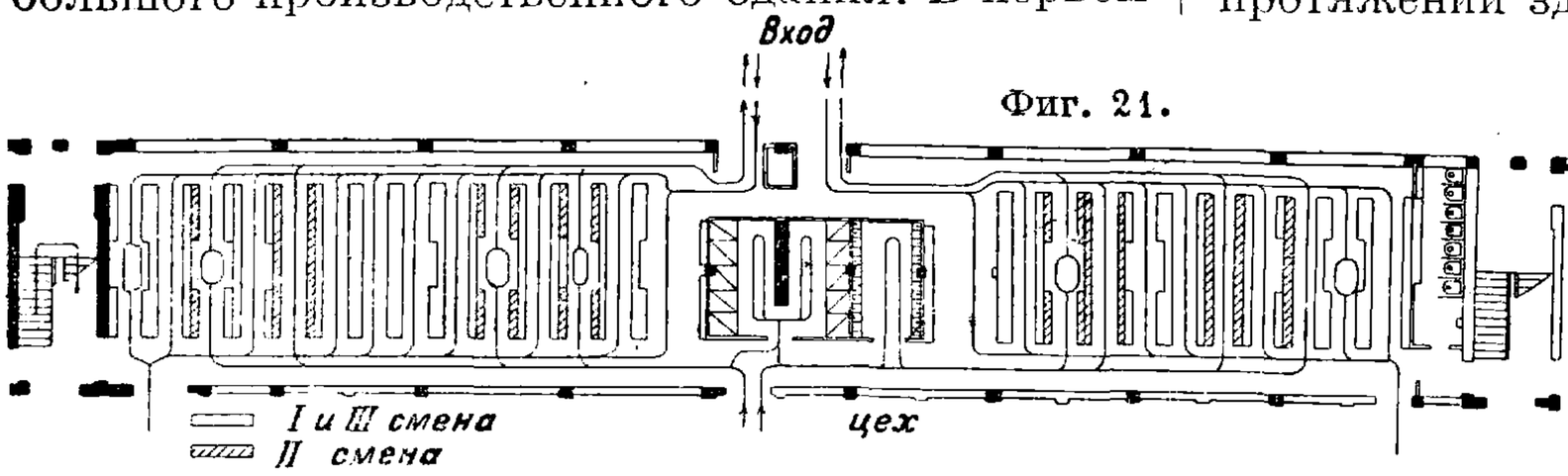
Фиг. 19.



Фиг. 20.

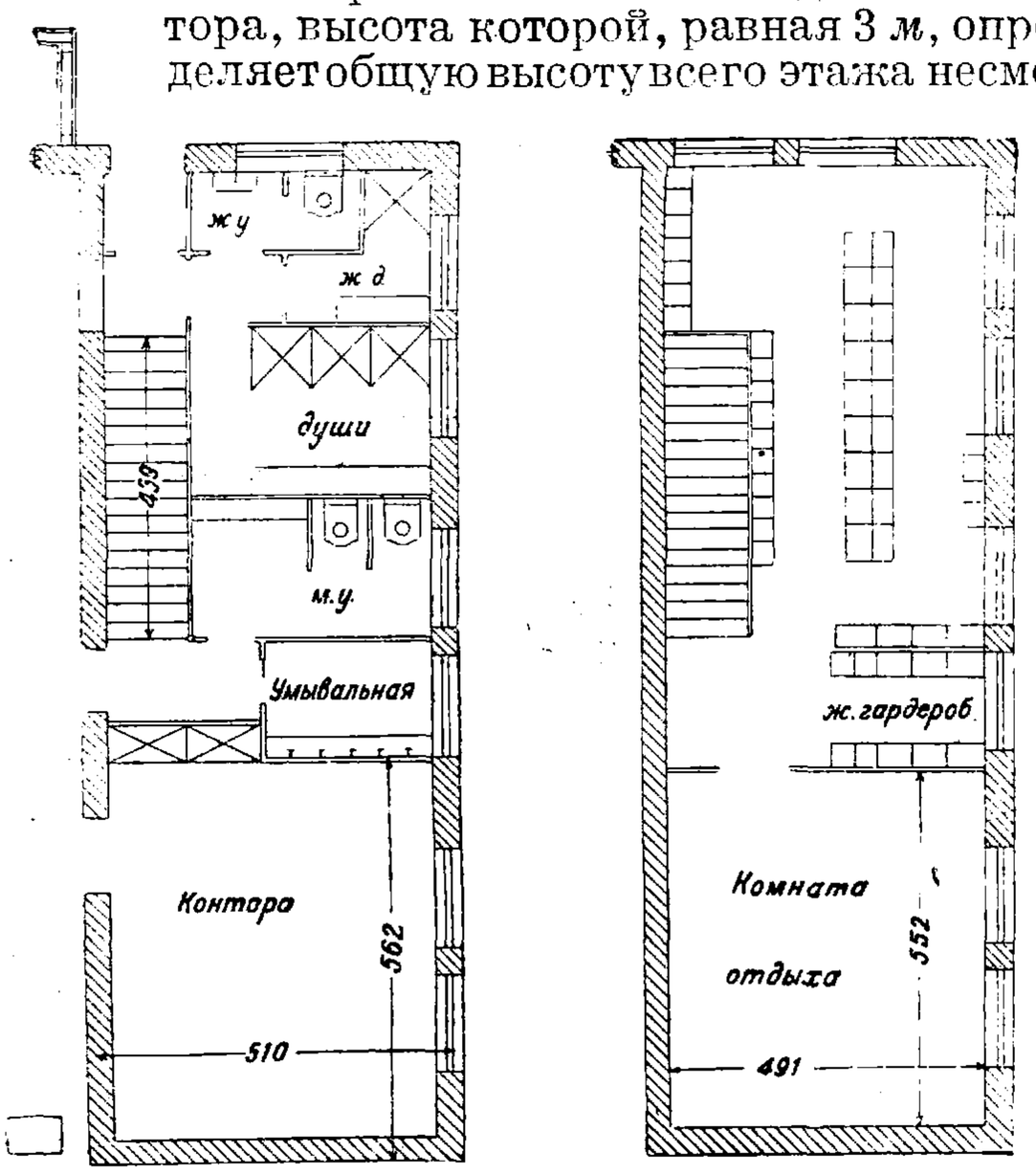
На фиг. 20 представлена схема расположения бытовых помещений в одноэтажной пристройке. Работа в цехе производится в две смены, в соответствии с чем, как видно из схемы, оба ра-

бочих потока разделены т. о., что они не встречаются и не пересекаются. При трехсменной работе труднее достигнуть абсолютного отсутствия встречи смен, ибо для этого пришлось бы устраивать три группы умывальных и душевых и значительно удлинять фронт бытовых помещений. Поэтому иногда совмещают третью, обычно значительно меньшую по численности, смену с первой или второй. План такого расположения раздевален представлен на фиг. 21, где пересечение потоков полностью не устранено, но по возможности обезврежено. Вопрос о правильном распределении рабочих потоков имеет особо существенное значение именно на ф.-з. предприятиях в СССР, где смена происходит обычно у станка. В Зап. Европе и США на многих з-дах, как напр. на предприятиях Форда, по окончании смены все рабочие выходят из цеха, причем машины останавливаются на 15 минут, после чего на работу становятся рабочие следующей смены, и т. о. рабочие потоки встречаются вне здания. На фиг. 22 дан план бытовых помещений, находящихся в торце небольшого производственного здания. В первом



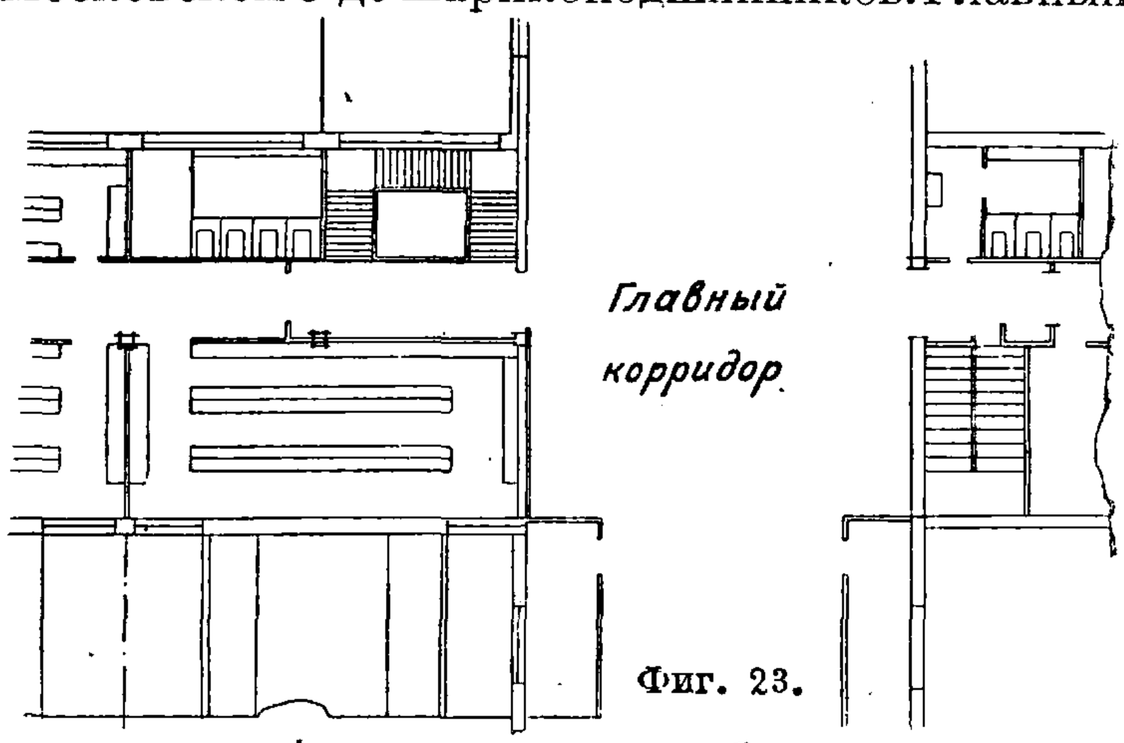
Фиг. 21.

этаже помещаются души, умывальники и уборные, ибо перенос их во второй этаж потребовал бы более сложного устройства водонепроницаемых полов. В первом же этаже находится и контора, высота которой, равная 3 *м*, определяет общую высоту всего этажа несмотря на нек-рую избыточность ее для помещений душевых и уборных. Во втором этаже находятся раздевальни для мужчин и женщин и комната отдыха. Раздевальни обычно во время работы цеха запираются и доступ в них рабочих не разрешается. Поэтому они не д. б. проходными; по тем же соображениям не следует располагать уборные т. о., чтобы в них возможно было попадать только через раздевальни.



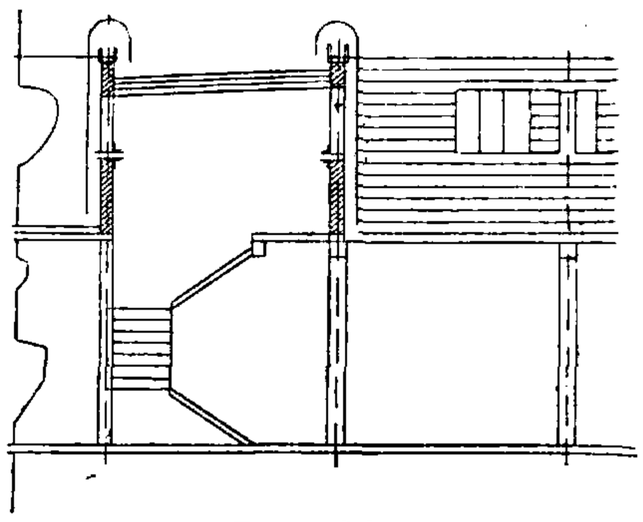
Фиг. 22.

На фиг. 23 и 24 представлено несколько необыкновенное, но чрезвычайно целесообразное решение вопроса о бытовых помещениях на Московском з-де шарикоподшипников. Главный



Фиг. 23.

цех этого з-да представляет собою одноэтажное здание исключительно больших размеров в плане. Передвижение рабочих от входов к рабочим местам на уровне пола при столь значительном протяжении здания создало бы помеху производству и перемещению изделий. Поэтому для этой цели созданы галлереи в повышенных уровнях вдоль и поперек здания. Под полом главного продольного коридора устроен также туннель для укладки производственных трубопроводов. Боковые галлереи служат в то же время для размещения на них гардеробных, умывальных, уборных, душей и т. п. Галлереи сообщаются с полом 1-го этажа рядом открытых лестниц, и таким образом рабочие имеют возможность из раздевален спускаться непосредственно к рабочему месту по ближайшей лестнице. На ф.-з. предприятиях, имеющих большие производственные цехи, иногда устраивают бытовые помещения в отдельных зданиях, соединяющихся с производственными зданиями туннелями. В этих случаях бывает целесообразным устраивать одно бытовое помещение для обслуживания группы производственных цехов. Если характер производства не допускает



Фиг. 24.

курения в общих помещениях, например вследствие огнеопасности или по санитарным соображениям, в цехах устраиваются особые курительные комнаты из расчета ок. 0,1 — 0,12 *м*² на одного рабочего в смену. Если правилами внутреннего распорядка не предусматривается обеденный перерыв, то в цехе должна быть выделена комната для принятия пищи в кратковременные перерывы; она же м. б. использована одновременно и как комната для отдыха. Размеры этих комнат определяются, каждый раз сообразуясь с условиями данного предприятия, имея в виду, что на каждого из рабочих, одновременно находящихся в комнате для принятия пищи, д. б. предусмотрено ок. 1 *м*² площади. На предприятиях с большим числом работающих женщин устраивают возможно ближе к цеху, а иногда в самом цехе, помещение для кормления детей, рассчитываемое обыкновенно,

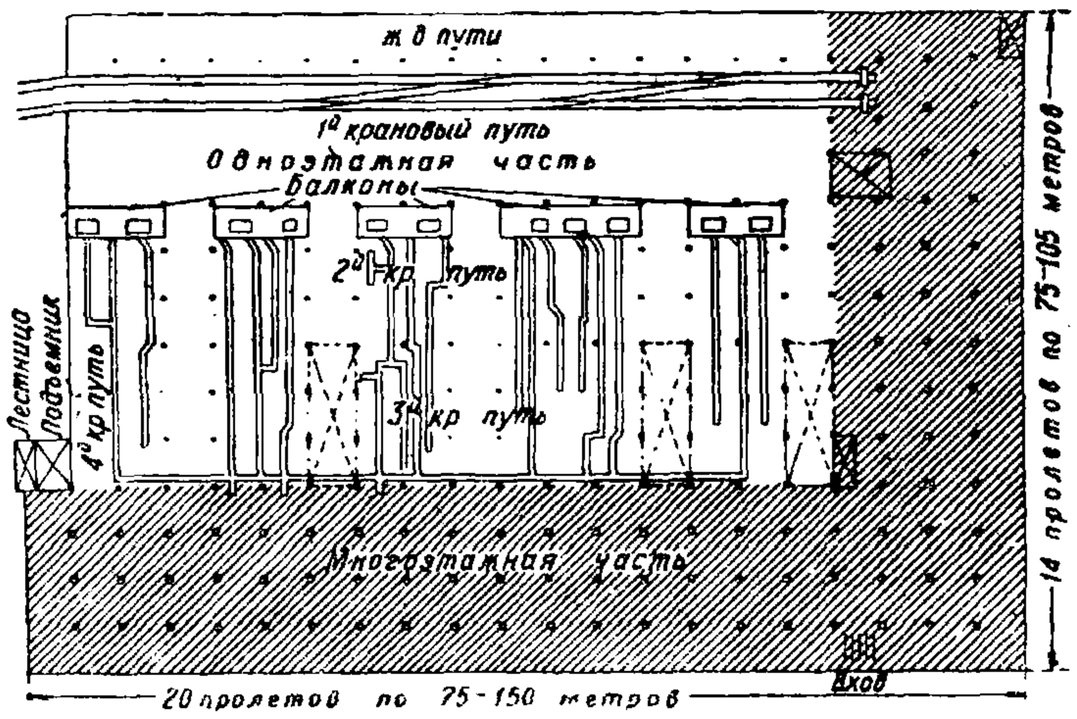
исходя из предположения, что число кормящих составляет 7% от общего числа работающих в смене, а число одновременно кормящих составляет 50% от этого числа.

Вопрос об этажности ф.-з. зданий большей частью решается их функциональным назначением. Так напр., здания литейной, кузницы и др. горячих цехов естественно проектируются одноэтажными. Большинство промышленных производств легкой индустрии выгоднее располагать в многоэтажных зданиях. В некоторых случаях назначения зданий таковы, что они с равными удобствами м. б. спроектированы как одноэтажными, так и многоэтажными. В этих случаях относительные преимущества обоих типов здания д. б. подвергнуты тщательному изучению. В прежнее время технологический процесс в большинстве производств базировался на обслуживании подъемниками, соответственно чему многоэтажные здания получили широкое распространение как в Европе, так и в США. Введение принципа непрерывного конвейера изменило взгляд на вопрос этажности, ибо получилась большая свобода в выборе метода производственных процессов. При отсутствии очевидных преимуществ того или иного типа здания с производственной точки зрения принимаются во внимание следующие преимущества одноэтажных зданий: 1) меньшая стоимость сооружения, отнесенная на единицу производственной площади, обусловливаемая отсутствием дорогостоящих междуэтажных перекрытий, 2) относительные достоинства освещения и вентиляции, 3) удобства надзора за работами при эксплоатации и следовательно повышение производительности труда. С увеличением числа этажей увеличивается риск возникновения и распространения пожара. С другой стороны, одноэтажные здания требуют большей застраиваемой площади, что не всегда оказывается возможным. При возведении сооружений на слабых грунтах, требующих устройства искусственных оснований, строительная стоимость одноэтажных зданий может значительно возрасти по сравнению с многоэтажными зданиями. Тем не менее в нек-рых производствах одноэтажные здания представляют настолько существенные преимущества, что может оказаться выгодным итти на переплаты по устройству такого рода основания. Так напр., одноэтажные здания з-дов Форда на Ривер-Руж сооружены на сваях Рэймонда глубиной до 20 *м* несмотря на строительный перерасход. Для сравнения стоимости одноэтажных и многоэтажных зданий ниже приводится следующий пример, заимствованный из американской строительной практики. По первому варианту здание проектировалось шестиэтажным, размерами в плане 18×60 *м*, по второму—одноэтажным, размерами 45×144 *м*.

Показатели	1-й вариант	2-й вариант
Площадь здания по наружному обмеру, $м^2$	6 480	6 480
Лестницы, $м^2$	189	—
Подъемники, $м^2$	137	—
Площадь перед подъемниками, $м^2$	327	—
Наружные стены, $м^2$	284	115
Колонны, $м^2$	270	103
Полезная площадь, $м^2$	5 273	6 259
Коэф. использования площади	0,82	0,96
Площадь участка, *га*	0,2	0,8
Стоимость здания (долл.)	164 000	122 000
» участка	3 000	12 000
» 1 $м^2$ здания	25,3	18,8
» 1 $м^2$ полезной пл.	31,1	19,5
То же, включая стоимость участка	31,6	21,4

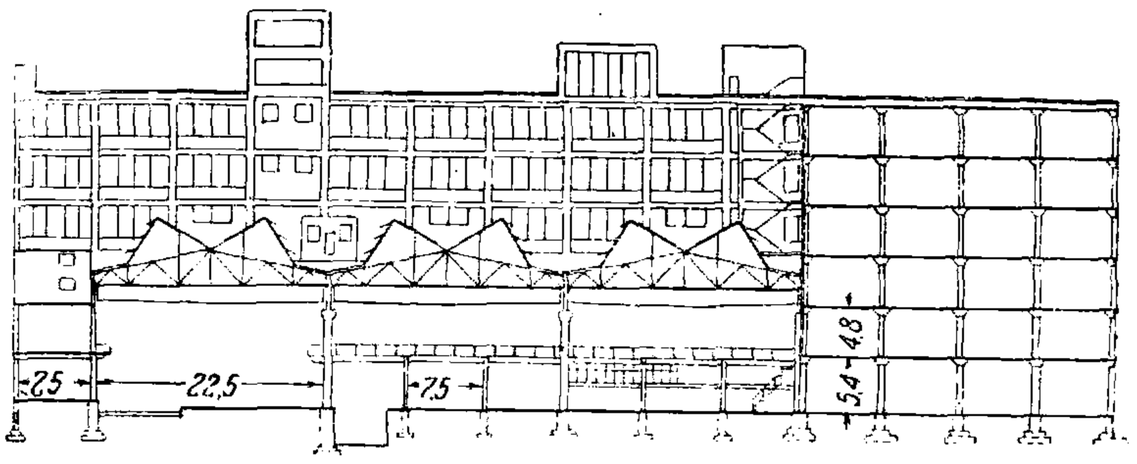
В этом примере получилось решительное преимущество в пользу одноэтажного здания, что главным образом объясняется высокой стоимостью междуэтажных железобетонных перекрытий, к-рые надлежало рассчитать на тяжелую временную нагрузку, а также невысокой стоимостью участка.

Нередко наилучшим решением является комбинированный тип, т. е. частью одноэтажное,

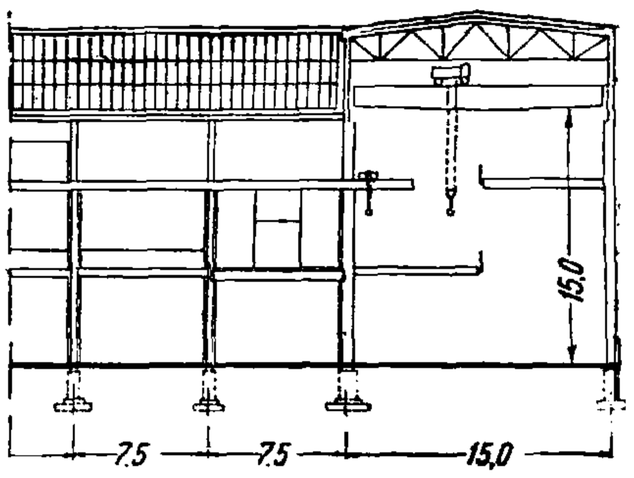


Фиг. 25.

частью многоэтажное здание. На фиг. 25, 26 и 27 представлены план и разрезы здания кузовного автомобильного з-да фирмы Маррей в Детройте. З-д расположен в городской черте на затесненном участке, поэтому здание запроектировано частично многоэтажным (в заштрихованной части) с железобетонными безбалочными перекрытиями с грибовидными капителями, являющимися наиболее распространенным типом междуэтажных перекрытий в ф.-з. зданиях в США. Здание имеет 150 *м* длины и 105 *м* ширины при 7,5-метровых пролетах в обоих направлениях. В первом этаже расположены тяжелые прессы, изготовляющие штампованные части, а в следующих этажах производится механич. обработка частей, сборка и окраска кузовов. В здания входят на высоте пола первого этажа два рельсовых пути нормальной колеи, служащие как для целей доставки материалов, так и для отправки готовых кузовов, к-рые грузятся в закрытые вагоны в несколько ярусов. Для горизонтального перемещения материалов и обрабатываемых частей в одноэтажной части имеется три продольных крана пролетами по 22,5 *м* и один поперечный—пролетом в 15 *м*. Благодаря разнице уровней подкрановых балок поперечного и продольного крановых путей и наличию консольных выносов последних имеется воз-



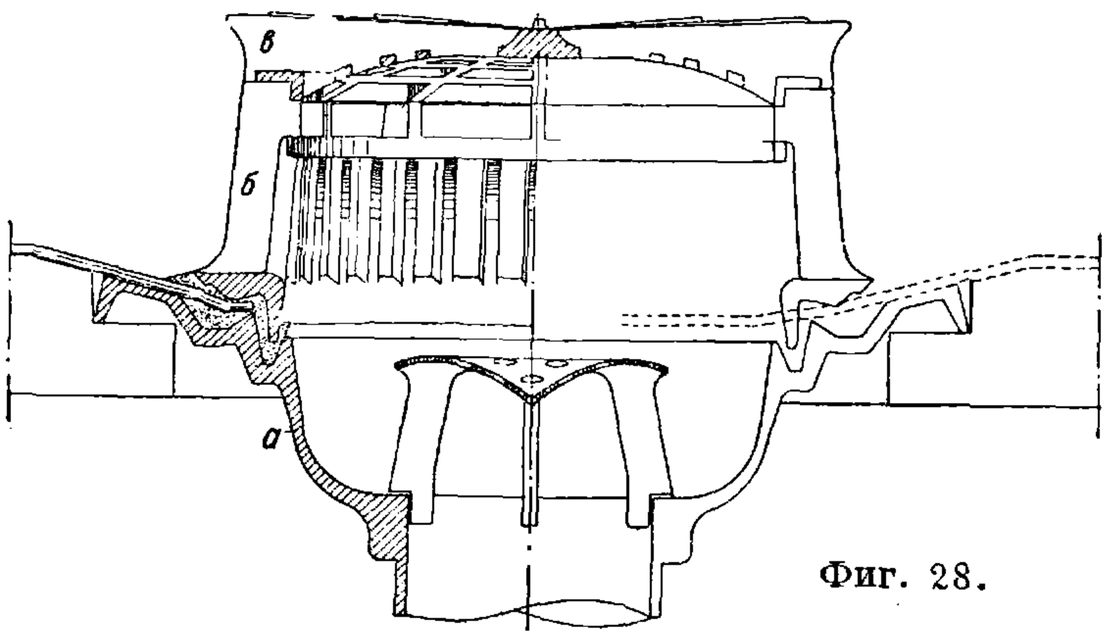
Фиг. 26.



Фиг. 27.

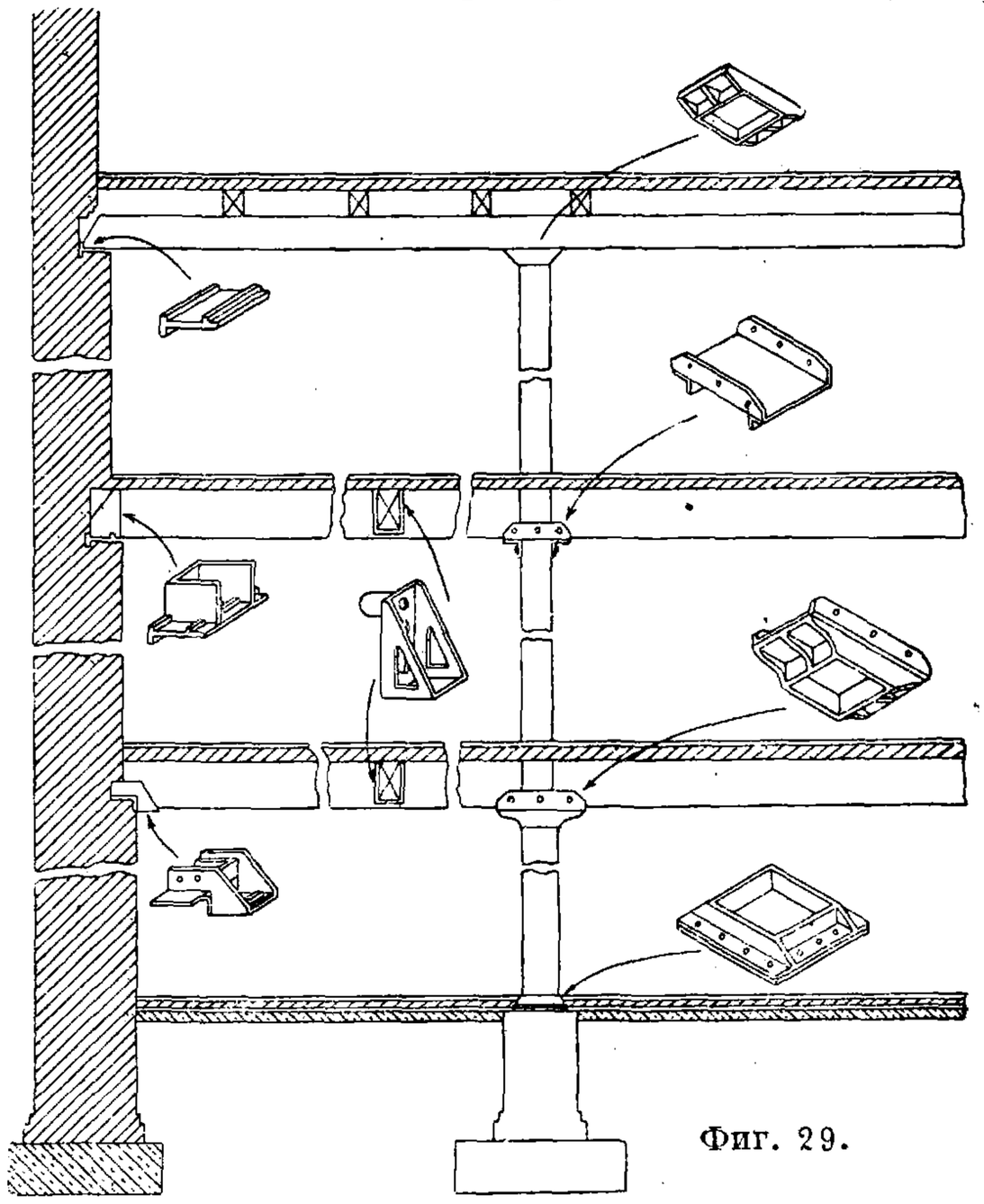
можность передавать материалы и части с кранов одного направления на кран другого направления и обратно. Вертикальные перемещения производятся с помощью двух стационарных шахтных подъемников, обладающих подъемной силой, достаточной для подъема автомобильных грузовиков с полным грузом. Процессы сборки оборудованы конвейерами и электрокарами. В красильном отделении имеются монорельсовые пути, по к-рым движутся окрашенные части, подвергаясь при этом сушке. В одноэтажной части устроен ряд металлических балконных площадок для обслуживания механизмов и станков. Там же в целях наилучшего использования площади расположены раздевальни, а также открытые уборные и умывальные.

В одноэтажных ф.-з. зданиях большой ширины имеет особое значение вопрос об отводе ливневых вод, к-рый разрешается устройством внутренних водоотводов, состоящих из сборных ливневых воронок, устанавливаемых в пониженных местах кровли, вертикальных внутренних водоотводных стояков и подземных ливневых коллекторов, расположенных под полами зданий и выводящих собирающуюся в них воду за пределы заводской территории. Диам. стояков обыкновенно принимается в 10 *см*, диам. коллектора определяется расчетом в зависимости от числа питающих его стояков. Воронки располагают на расстоянии, не превышающем 25 *м* одна от другой, причем общая площадь кровли, обслуживаемая одной воронкой, не должна превышать 400 $м^2$. Воронки устраиваются в виде железного плоского цилиндра, снабженного рядом отверстий для пропуска воды. Однако наблюдения над этими воронками показывают, что отверстия в стенке цилиндра



Фиг. 28.

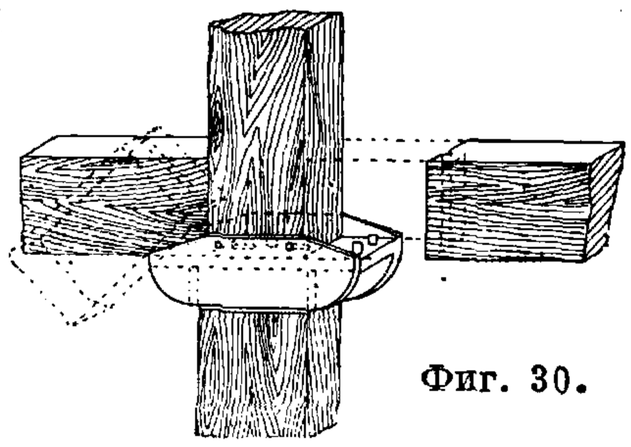
нередко облепляются листьями, попадающими на крышу, вследствие чего воронки забиваются и перестают работать. Для устранения этого недостатка в США сконструирован новый тип воронки (фиг. 28), состоящей из чугунного горшка *а* с закраинами и круглым отверстием для трубы, цилиндра *б* с 12 ребрами и рядом отверстий и крышки *в* с горизонтальными ребрами и расположенными между ними отверстиями. Закраина горшка служит для прикрепления воронки к частям кровельного перекрытия, она имеет уклон по верхней поверхности к центру воронки для устранения застоя воды вблизи воронок. Горшок устанавливается и укрепляется до покрытия крыши руберойдом. По окончании кровельных работ над горшком в слоях ковра прорезается круглое отверстие: концы ковра несколько приподнимаются, как показано пунктиром на чертеже, и борозды закраины горшка заполняются с верхом особой мастикой, совершенно плотной с поверхности, но не теряющей своей эластичности уже на некоторой незначительной глубине от поверхности. Поверх мастики вновь укладываются концы ковра, затем добавляется нек-рое количество мастики, после чего в соответствующие борозды вставляется и плотно к ним прижимается вертикальный чугунный цилиндр. При этом мастика плот-



Фиг. 29.

но заполняет все свободное пространство, образуя совершенно прочный, водонепроницаемый и в то же время эластичный пластырь. Для предохранения от засорения водосточных труб листьями и грязью внутри цилиндра устанавливается конич. проволочная сетка.

Примеры производственных зданий. В дореволюционное время строительство бумагопрядильных фабрик в России рассчитывалось на небольшую мощность этих предприятий, вследствие чего и самые постройки представляли собою обыкновенные кирпичные 3—4-этажные здания с рядом внутренних, б. ч. чугунных, колонн, расставленных на расстоянии ок. 3 *м* по длине здания и 6 *м* по его ширине. Перекрытия представляли собою бетонные сводики по железным балкам. В США и до последнего времени прядильные фабрики представляют собой небольшие предприятия с обычной мощностью в 10—12 тыс. веретен. Для этих зданий выработалась конструкция, представляющая собою 4-этажное кирпичное здание со стенами толщиной $30 \div 45$ *см*, с деревянными промежуточными колоннами и деревянными балками, по которым укладывается половой настил. Правила противопожарной безопасности в США допускают применение деревянных конструктивных элементов в несущих частях фабрично-заводских зданий при том условии, чтобы наименьшее измерение их поперечного сечения не было менее 30 *см*. Это требование основано на том соображении, что, чем меньше отношение периметра к площади поперечного сечения бал-

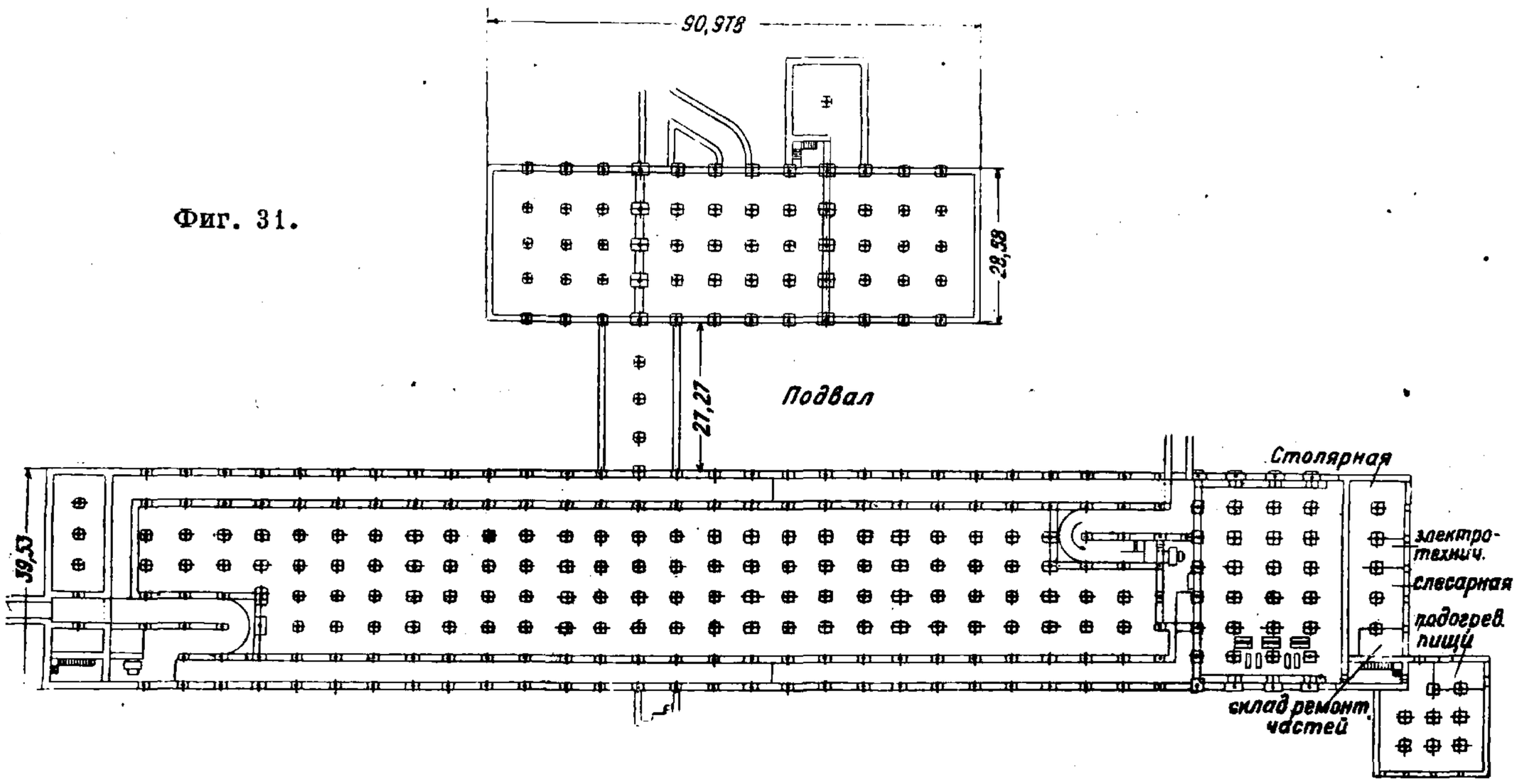


Фиг. 30.

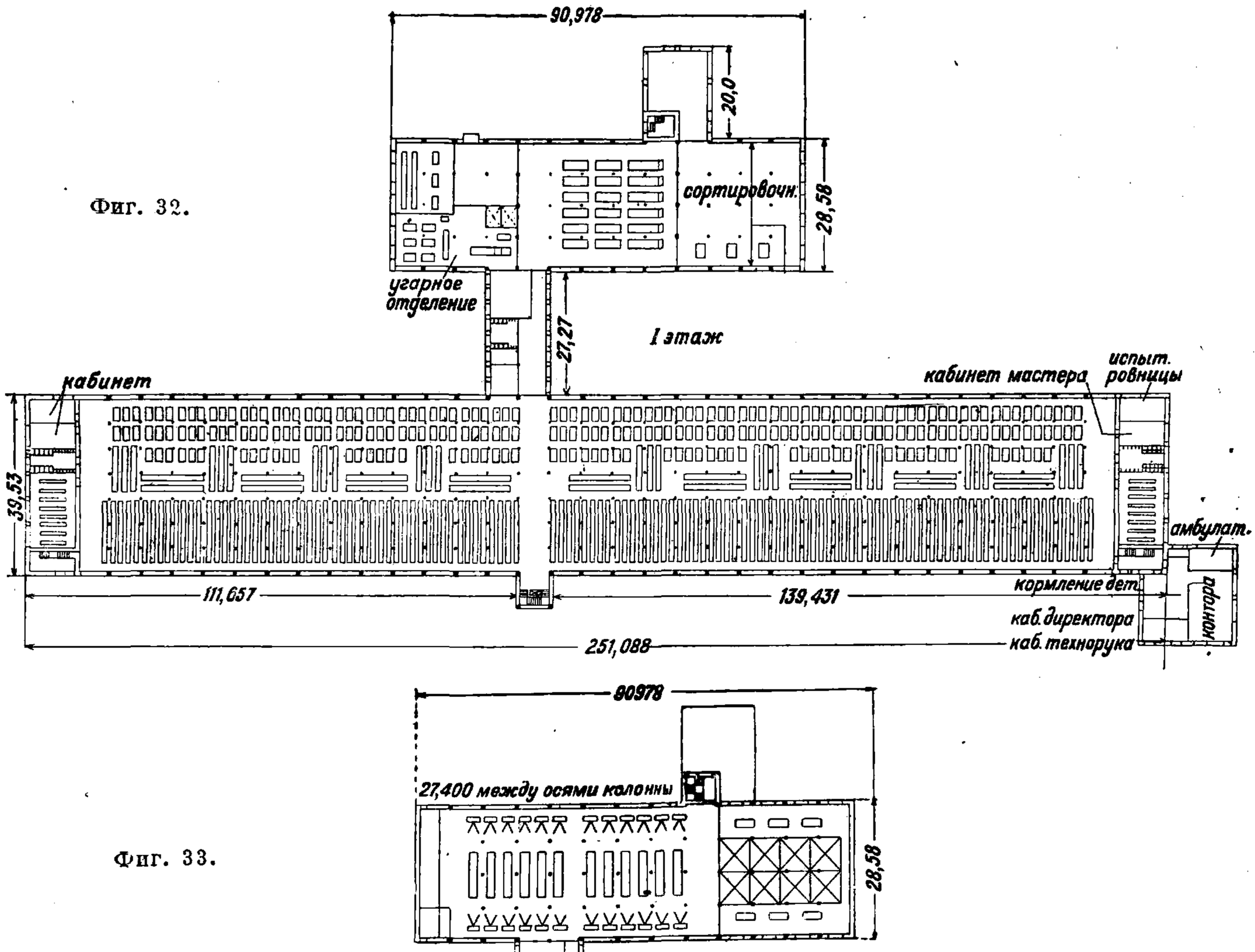
ки или колонны, тем меньшее количество воздуха, необходимого для процесса горения, сможет притечь к обтекаемой поверхности и тем труднее окажется воспламенение дерева. Такого рода конструкции в США носят наименование «медленно сгораемых» (slow burning). Кроме того эти части конструкции не д. б. скрыты за обшивкой, штукатуркой и т. п. с тою целью, чтобы начавшееся возгорание такого элемента могло быть немедленно обнаружено. Для предохранения дерева от преждевременного гниения в зданиях этого рода как правило не применяется заделка концов балки в стены, а вместо этого в кирпичные наружные стены заделываются особого рода настенные консольные чугунные башмаки (фиг. 29), на нижние полки к-рых укладываются концами деревянные балки перекрытия. Для осуществления взаимной поперечной связи противолежащих наружных стен с помощью деревянных поперечных балок на горизонтальной полке башмака устраивается особый прилив, к-рый входит во врубку на нижней постели балки. Благодаря такой конструкции опирания балок их концы омываются как с торца, так и с боковой поверхности у опор воздухом, причем балка находится в одинаковых по всей своей длине $t°$-ных и влажностных условиях, не подвергаясь вредному влиянию конденсата, неизбежному в случае заделки концов в стены вследствие повышенного влажностного режима в зданиях прядильных ф-к, обусловливаемого особенностями производственного процесса. Кроме того концы балок, покоящиеся на консольных башмаках, легко доступны периодич. осмотру. Точно так же не представляет больших затруднений замена пришедшей в негодность деревянной балки. Таким же образом, чтобы избежать сложной ручной работы по устройству сростов стоек по высоте и кроме того в виду ненадежности такого сроста с точки зрения возможности быстрого загнивания при высокой степени влажности помещений прядильных ф-к (60—65%), на головы колонн надеваются такие же чугунные башмаки (фиг. 30), имеющие в верхней и нижней части стаканы, в к-рые входят торцовые части верхней и нижней стоек и двух- или четырехсторонние консольные горизонтальные полки, на к-рые укладываются концы балок. Половой настил в этого рода зданиях обыкновенно представляет собой сплошной слой досок высотой 8—10 *см*, поставленных на ребро вплотную одна к другой, благодаря чему имеется возможность перекрыть пролет в 3—4 *м* без устройства продольных балок, к-рые в виду небольших размеров поперечных сечений, определяемых расчетом, оказались бы неудовлетворительными с точки зрения пожарной безопасности.

В СССР в период реконструкции текстильной пром-сти было предпринято строительство большого количества прядильных ф-к, причем основная установка была взята на постройку крупных ф-к мощностью 60÷120 тыс. веретен, какой не знала дореволюционная практика. В годы от 1926 по 1929 были построены: в Твери ф-ка на 100 тыс. веретен, в Глухове на 128 тыс. веретен, «Красная Талка» в Иваново-Вознесенске на 120 тыс. веретен, во Владимире на 100 тыс. веретен, в Пушкине на 112 тыс. веретен, Меланжевый комбинат в Иваново-Вознесенске на 116 тыс. веретен и ряд других более мелких. Одним из наиболее удачных в строительном отношении решений является проект ф-ки «Красная Талка». На участке, расположенном вне городской черты, кроме самой ф-ки находятся также обслуживающие сооружения: хлопковый сарай на 6-месячный запас хлопка вместимостью 2 130 *т*, здание главной конторы, конный двор и поселок технич. персонала. Фабрика состоит из двух 2-этажных корпусов: 1) малого длиной 89 *м* (13 пролетов по 6,85 *м*) и шириной 27,4 *м* (4 пролета по 6,85 *м*) и 2) главного, параллельного первому, длиной 246 *м* (33 пролета по 6,85 *м* и 2 пролета по 10 *м*) и шириной 38,6 *м* (5 средних пролетов по 5,68 *м* и 2 крайних по 5,1 *м*). В малом корпусе размещаются: в 1-м этаже сортировочное, трепальное, угарное и ватное отделения, а во 2-м этаже—8 лабазов с питателями опенеров и мотально-сновальный отдел. Малый корпус соединен с главным корпусом 2-этажным коридором длиной 27,4 *м* и шириной 13,7 *м*. Первый этаж служит для передачи холстов на чесальные машины, для складов угаров и для вспомогательных помещений; второй этаж служит для передачи основной пряжи в мотально-сновальное отделение. В первом этаже главного корпуса размещается приготовительный отдел: чесальные, ленточные машины и банкаброши. В торцах размещены раздевальни, уборные, умывальные, кабинеты и склады для испытания ровницы. В пристройке расположены бытовые помещения. Главные входы сделаны по торцам. В середине корпуса против коридора, соединяющего оба корпуса, имеются запасный вход и лестница. Во втором этаже главного корпуса размещены ватеры и по торцам—бытовые помещения. Естественный уклон местности в правой части главного корпуса использован для устройства подвала площадью 328 *м*², где помещаются склады и мастерские. Поэтажные планы представлены на фиг. 31, 32 и 33. Конструкция здания главного корпуса представляет собой железобетонный каркас, в поперечном разрезе изображенный на фиг. 34. По длине здания каркас разделен на 8 частей температурными швами. Направление железобетонных ригелей—поперек здания, чем достигается бóльшая поперечная жесткость и лучшая освещенность, т. к. ригели приходятся только против простенных колонн. Продольные железобетонные балки расположены по две в каждом пролете. Продольное расстояние между колоннами в 6,85 *м* определяется расстоянием между ватерами во 2-м этаже и наружной гранью этих колонн в чистоте, на каковом пространстве необходимо обеспечить прядильщице возможность присучивать оборвавшуюся нитку. Поэтому очень важно в целях общей экономии объема здания предельно уменьшить этот просвет. Для этой цели колонны приняты восьмиугольного поперечного сечения со спиральной арматурой, что дало возможность уменьшить размеры поперечного сечения колонн, доведя диам. вписанного круга до 32 *см* во втором этаже. По условиям расположения оборудования ширина здания получилась весьма значительной, превышающей обычные размеры, почему пришлось в целях улучшения освещенности назначить исключительно большую высоту 1-го этажа, 6 *м*, и кроме того увеличить остекленную площадь, совершенно упразднив междуоконные простенки. Для осуществления этой конструкции железобетонные простенные колонны вдвинуты внутрь здания настолько, что между ними и остеклением летних переплетов оставлен зазор в 25 *см*, благодаря к-рому достигается достаточное омывание теплым воздухом всей боковой поверхности колонны, и железобетон, будучи

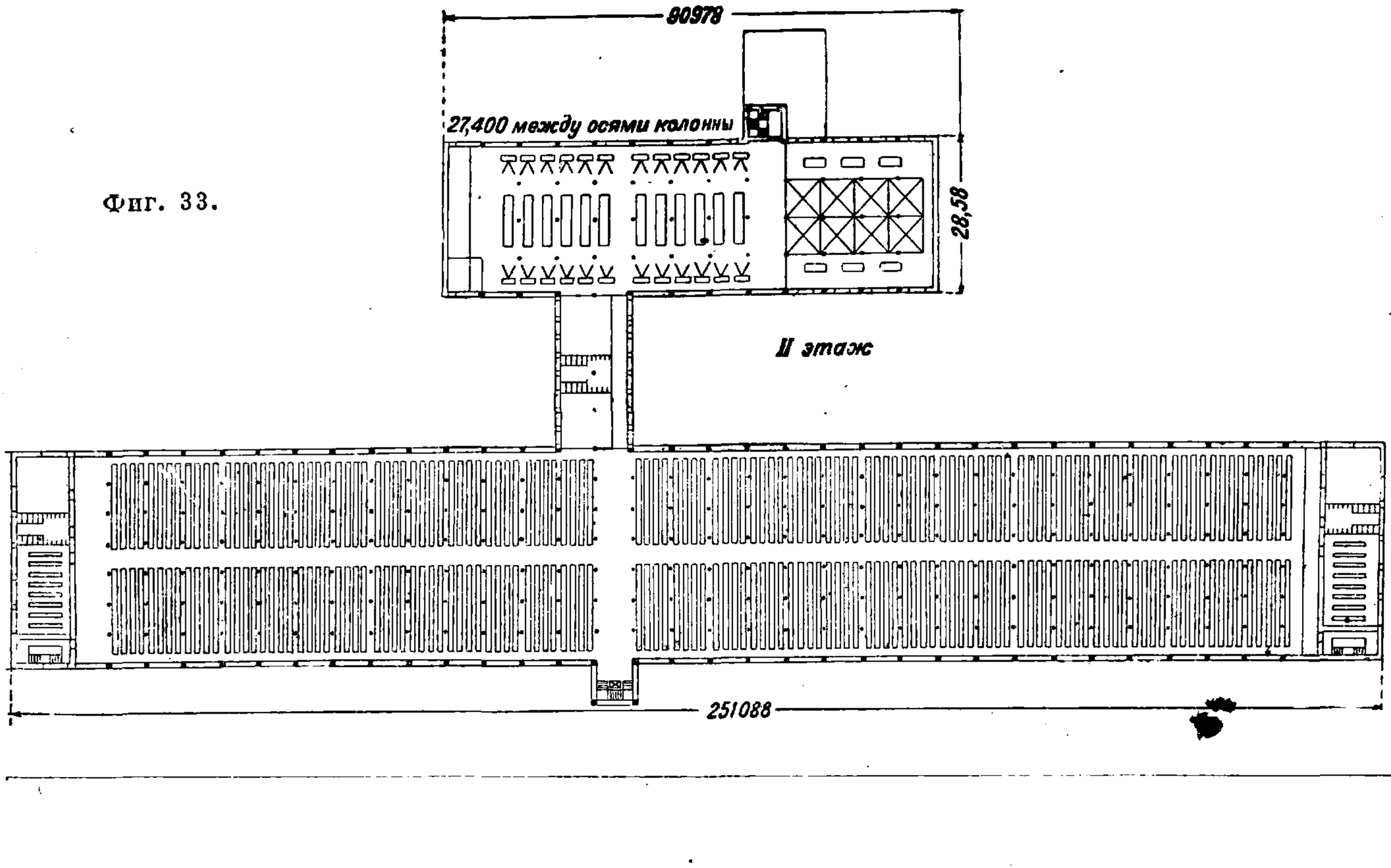
Фиг. 31.

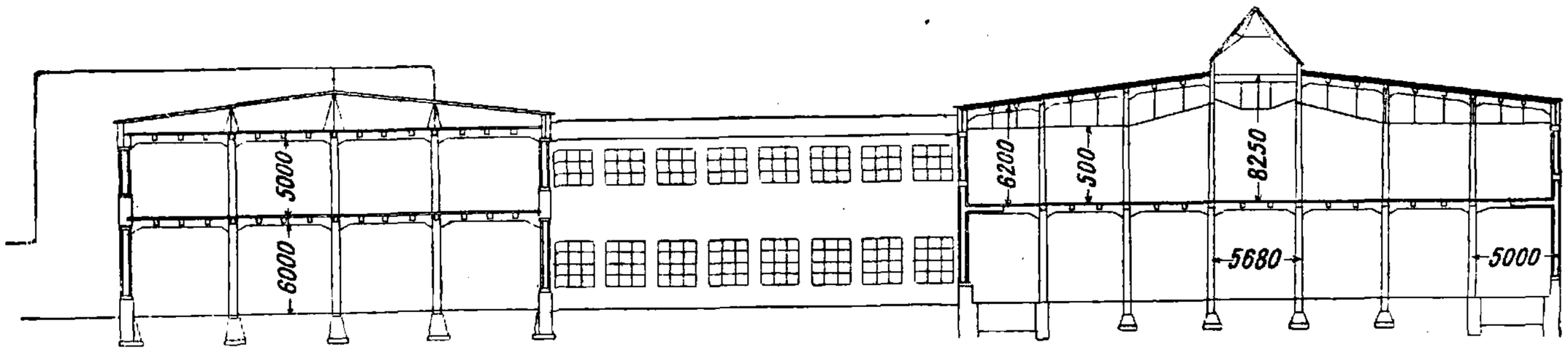


Фиг. 32.

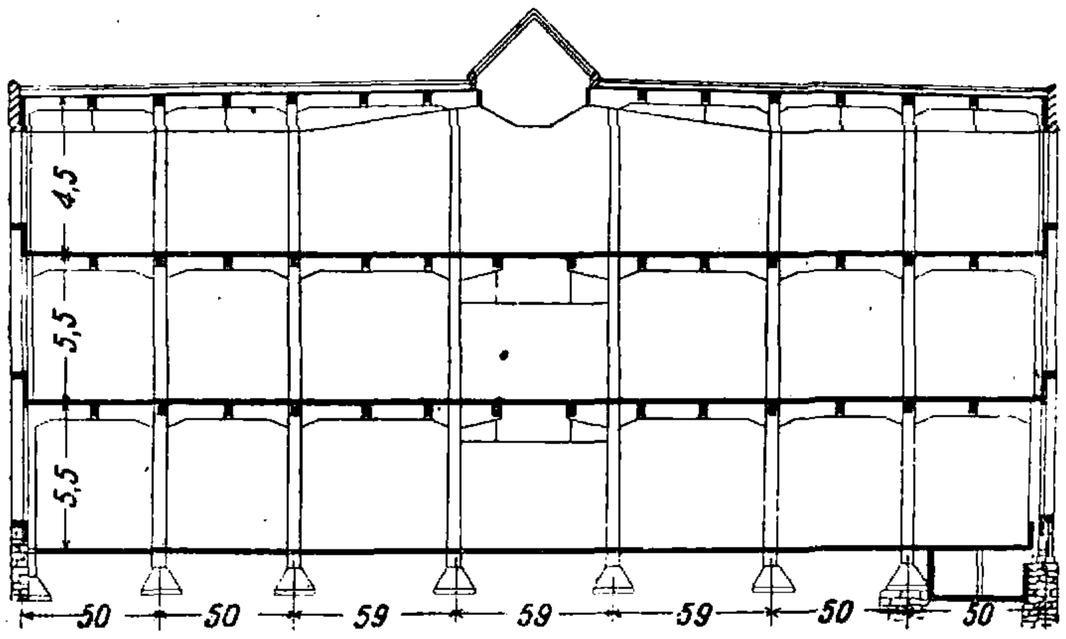


Фиг. 33.

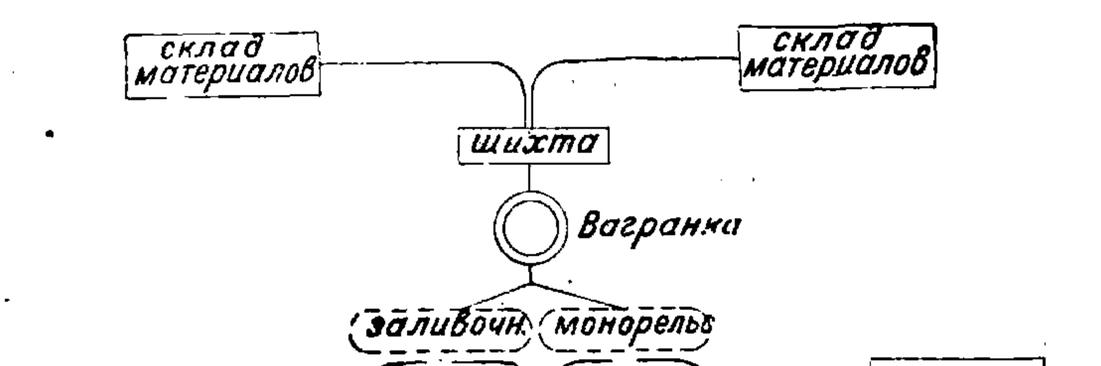




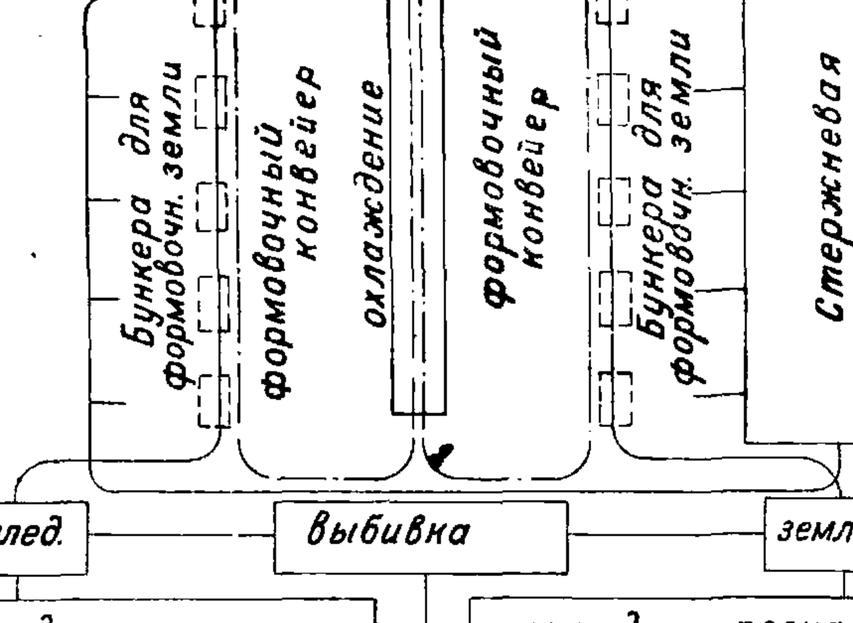
Фиг. 34.



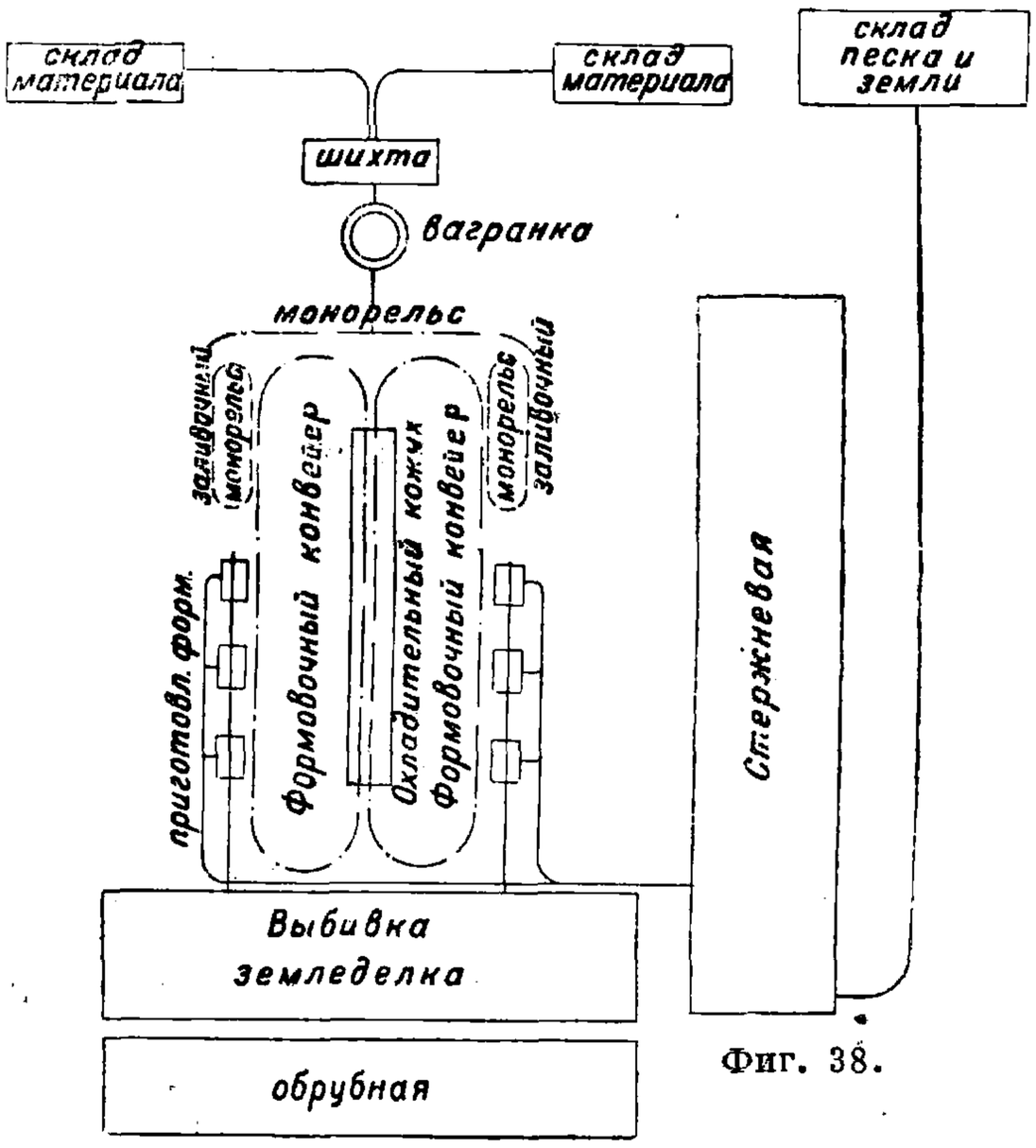
Фиг. 35.



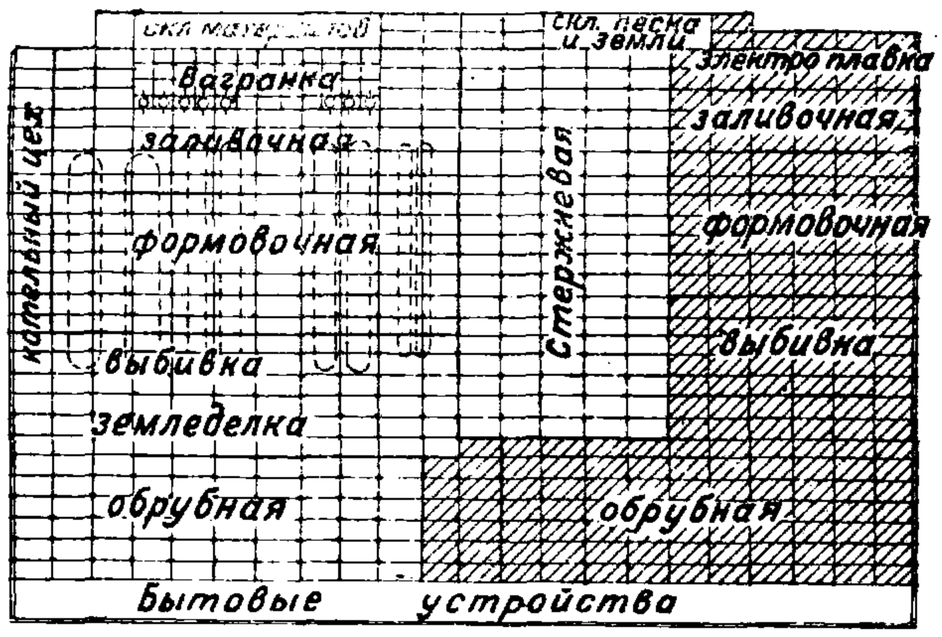
Фиг. 36.



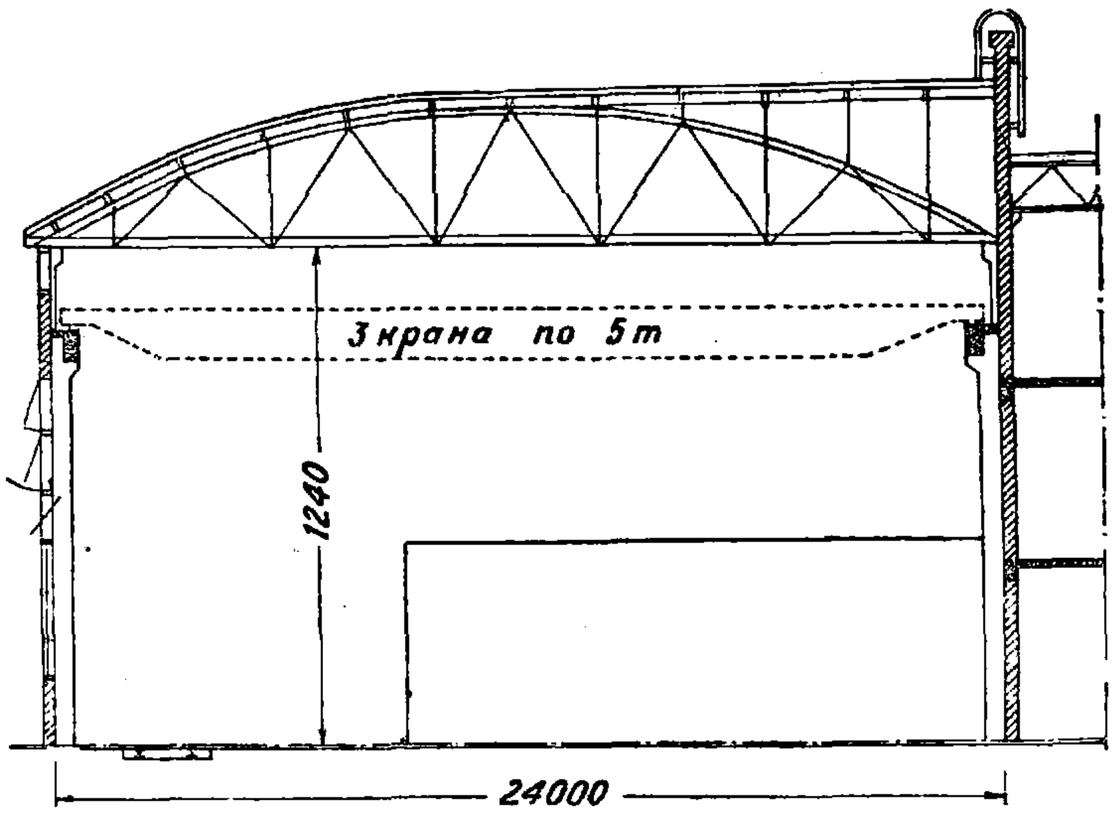
Фиг. 37.



Фиг. 38.

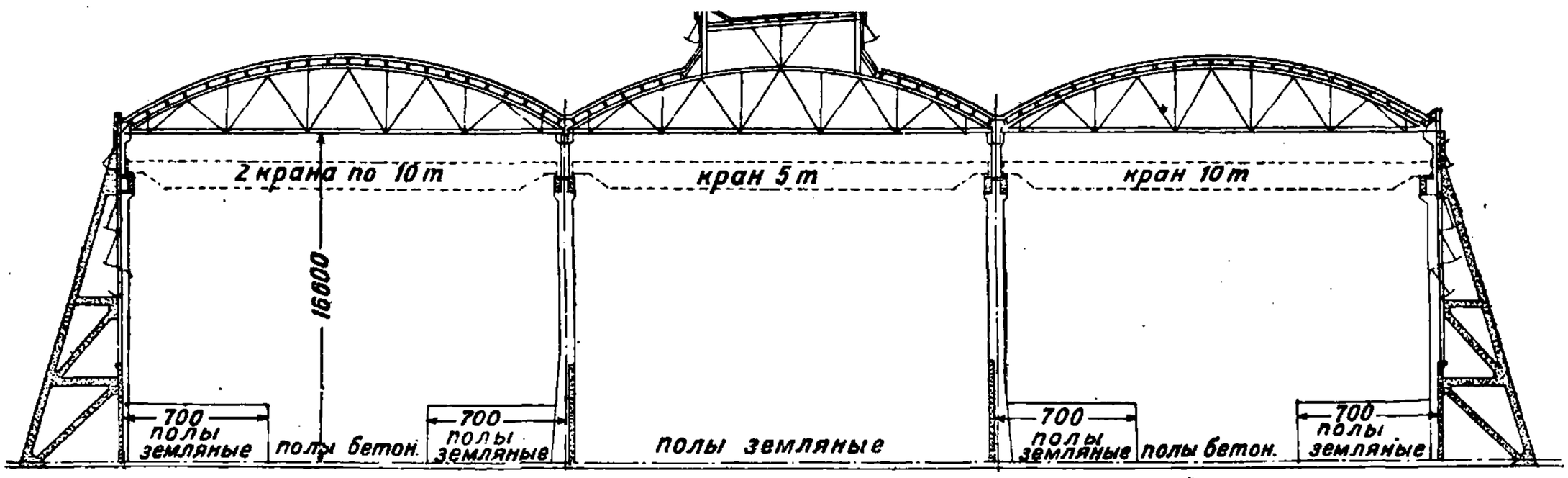


Фиг. 39.



Фиг. 40.

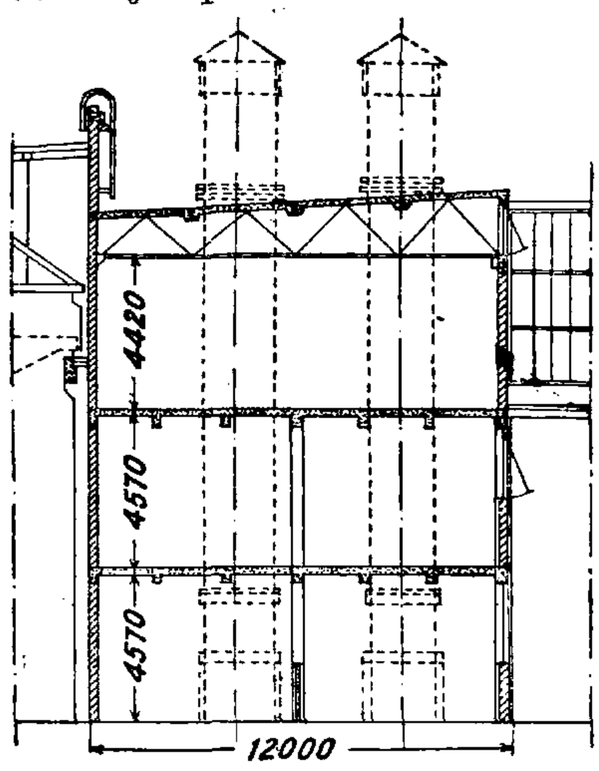
т. о. утеплен стеклянной завесой, не подвергается вредным воздействиям низких $t°$. Кроме того зазор в 25 *см* достаточен для прохода при протирке стекол. Зимние переплеты установлены по линии внутренних граней простенных колонн. В прядильных фабриках с таким



Фиг. 41.

же расположением оборудования, сооруженных в последующие годы, признано возможным уменьшить высоту 1-го этажа до 5 *м*, считая от пола до нижней грани железобетонных балок.

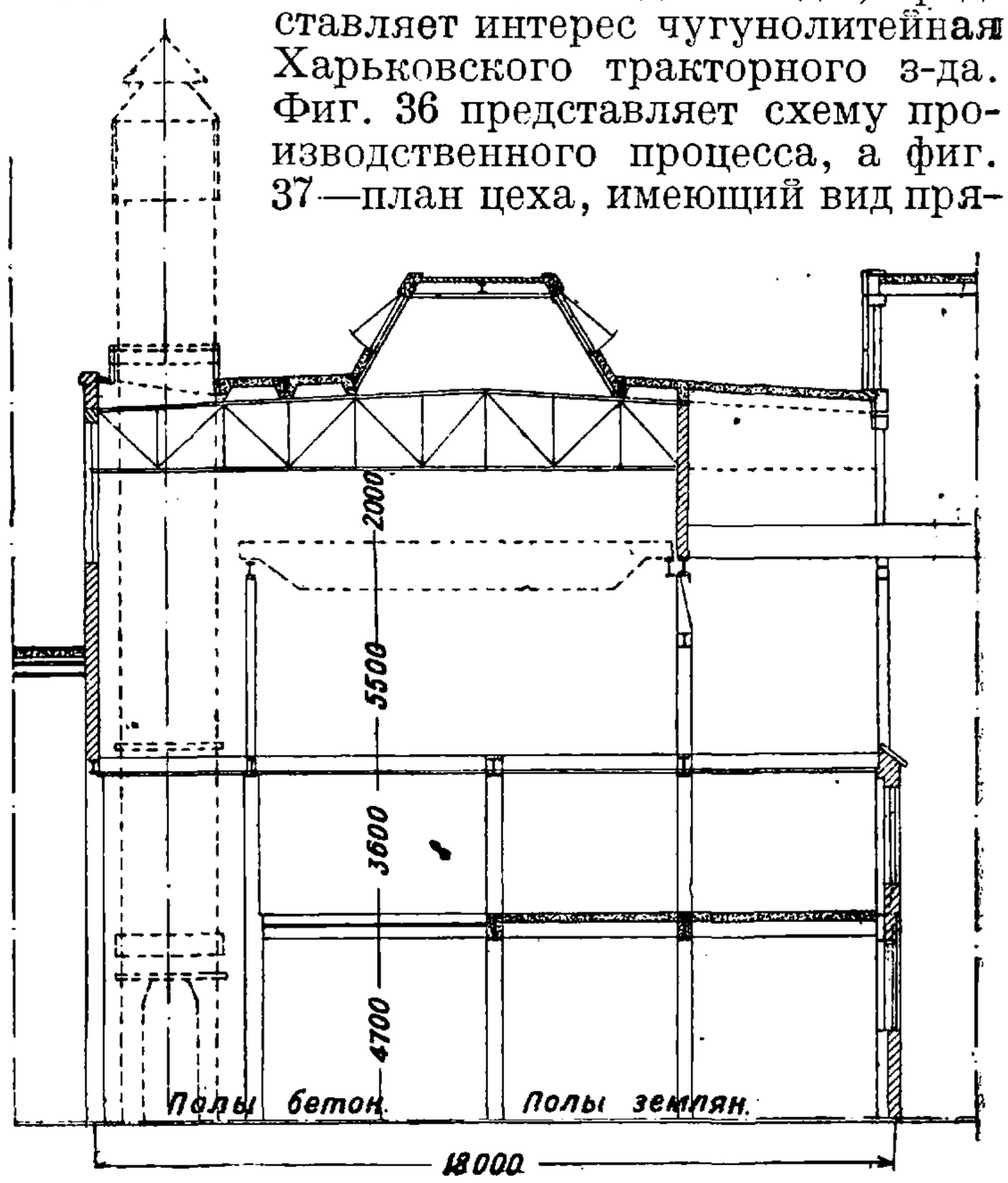
В виду того что работа собственно прядения, происходящая во 2-м этаже, требует более интенсивной освещенности, по коньку здания устроен сплошной продольный металлич. конструкции фонарь (см. *Фонари промышленных зданий*) с двойным остеклением на ширину среднего пролета. Между наружным и внутренним остеклением оставлено пространство, в к-ром передвигается на рельсах вдоль фонаря особая тележка, с к-рой производится протирка стекол, перемазка фальцов и вставка стекол, причем для устранения конденсата на нижней поверхности фонаря, могущего появиться вследствие большой влажности воздуха (65%), обусловливаемой условиями производственного процесса, внутрифонарное пространство обогревается трубами водяного отопления. Для устройства вентиляционных каналов, обычно имеющих большие размеры поперечных сечений, в прядильных ф-ках во 2-м этаже, где по расчету требуется пропустить 800 000 $м^3$ воздуха в час, к железобетонному кровельному перекрытию подвешена на металлических тяжах тонкая 5-*см* железобетонная плита, образующая нижнюю грань вентиляционного канала. Для вентилирования первого этажа, требующего обмена воздуха в 320 000 $м^3$ в час, устроены два подземных канала на ширину двух крайних пролетов, т. е. по 5 *м* вдоль всего здания главного корпуса. Утепление кровли сделано слоем шлака толщиной 10 *см*, поверх к-рого уложен такой же слой шлакового бетона, на к-рый наклеен руберойд. На фиг. 35 представлен поперечный разрез трехэтажного здания прядильной ф-ки в Глухове. Увеличение числа этажей соответствует изменению расположения оборудования: в 1-м этаже находятся чесальные и ленточные машины и толстые банкароши, во 2-м этаже—тонкие банкароши, в 3-м—ватеры. Вертикальное перемещение материалов так же, как и на ф-ке «Красная Талка», совершается подъемниками. Для образования вентиляционных каналов в 1-м и 2-м этажах железобетонная поперечная рама разрезана, и



Фиг. 42.

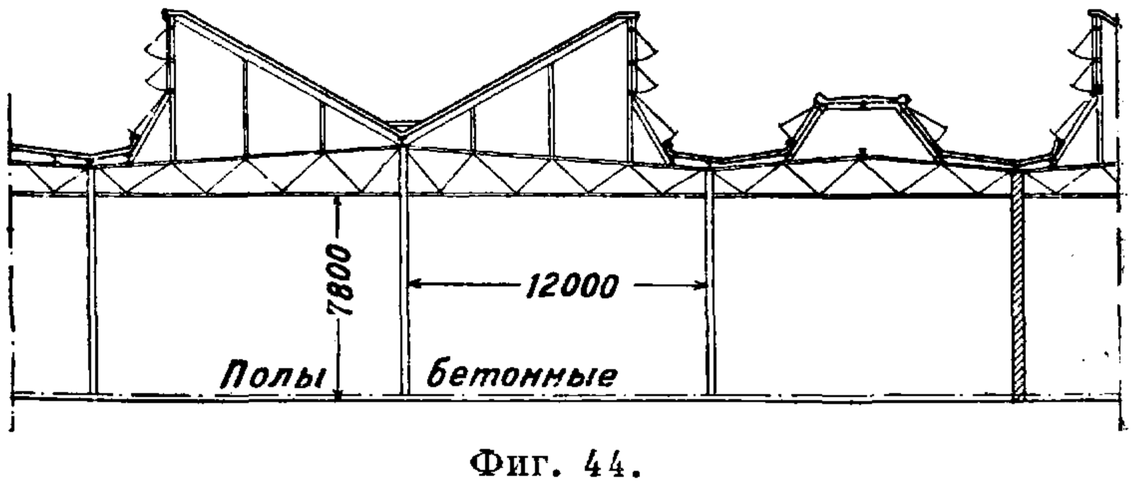
в среднем проходе подвешена к концам выступающих консолей железобетонная плита, образующая нижнее днище канала.

Из числа крупных литейных для чугуна, сооруженных в СССР в последние годы, представляет интерес чугунолитейная Харьковского тракторного з-да. Фиг. 36 представляет схему производственного процесса, а фиг. 37—план цеха, имеющий вид пря-



Фиг. 43.

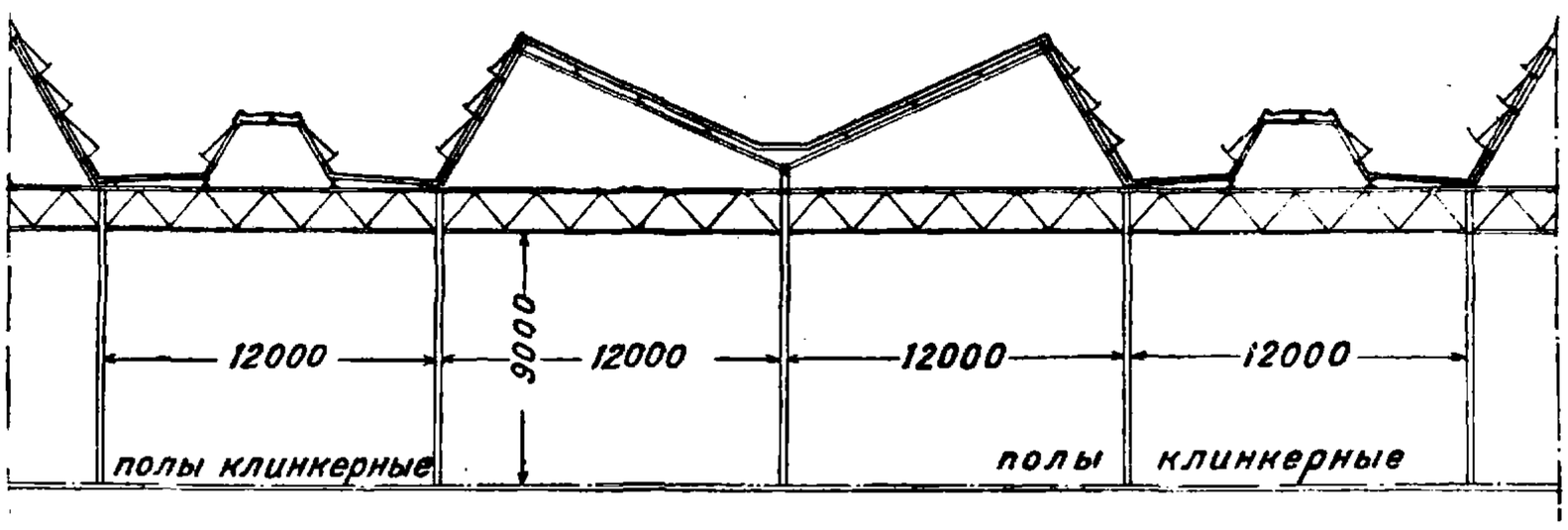
моугольника размерами 132×186 *м*. Вдоль северной длинной стороны расположен склад материалов, в который вводится жел.-дор-



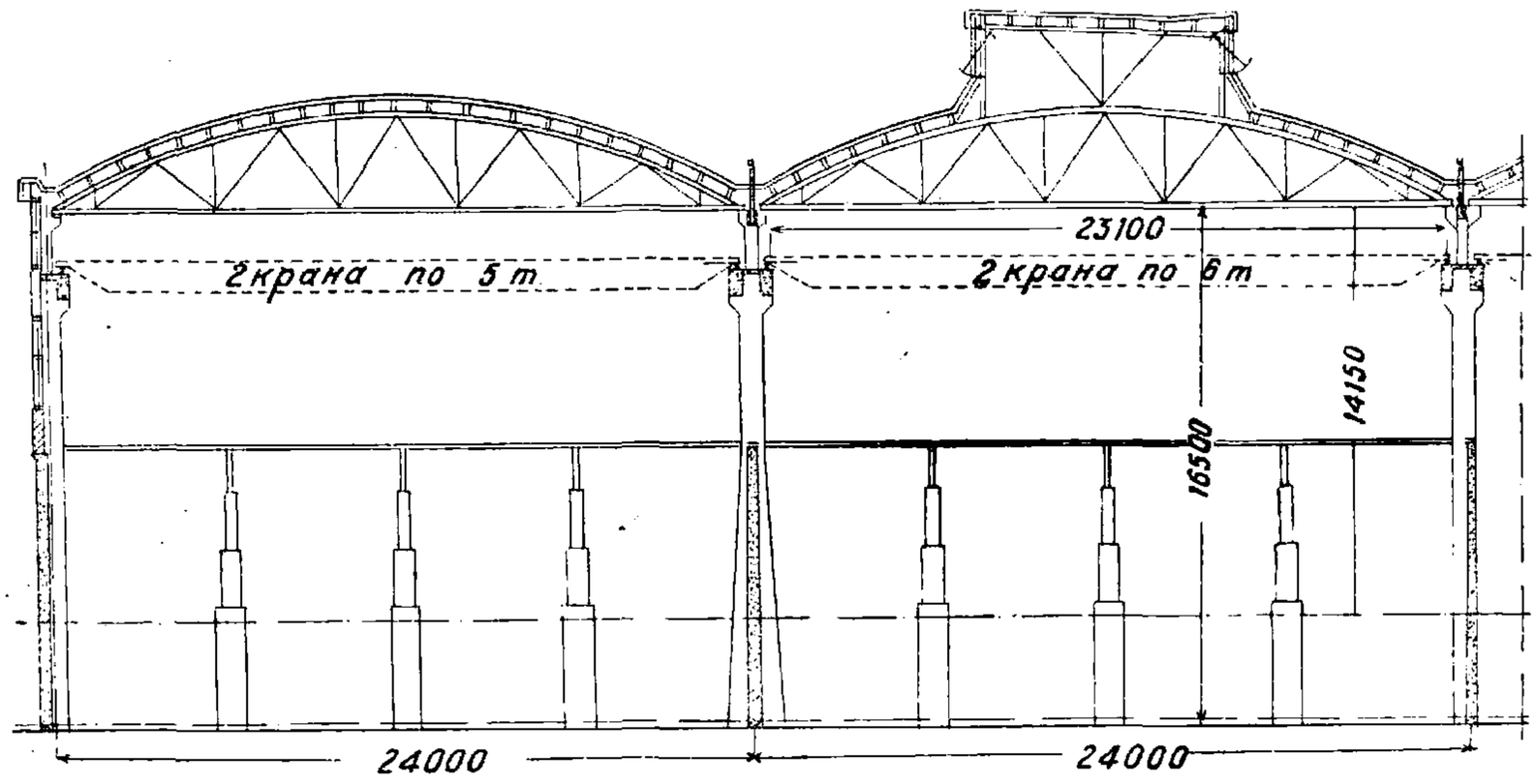
Фиг. 44.

путь. Здесь находятся закрома, где хранятся чушковый чугун, скрап, кокс, антрацит, флюсы. Из склада материалы подаются в вагран-

ку, где загружаются с помощью шаржирного крана на уровне 3-го этажа. Из вагранки жидкий металл поступает в ковш, движущийся по монорельсовому пути. Из ковша производится заливка форм, подаваемых из отделения формовочного конвейера. Левое конвейерное кольцо движется по часовой стрелке, а правое—против часовой стрелки. Вдоль средней линии, где формы обеих ветвей движутся сверху вниз (по чертежу), происходит их остывание в особом охладительном помещении. С нижнего (по чертежу) конца конвейеров производится выбивка форм, и отливки поступают в обрубную. В помещении выбивки находятся машины для переработки формовочной земли. Между помещением выбивки и обрубной находится склад песка и земли. Стержневая помещается между отделами крупной и мелкой формовки. Левая (фиг. 37) торцовая часть занята отделением ковкого чугуна. Отделение поршневых колец обыкновенно расположено между вагранками. Бытовые устройства занимают два 5-*м* пролета вдоль южной стороны здания.



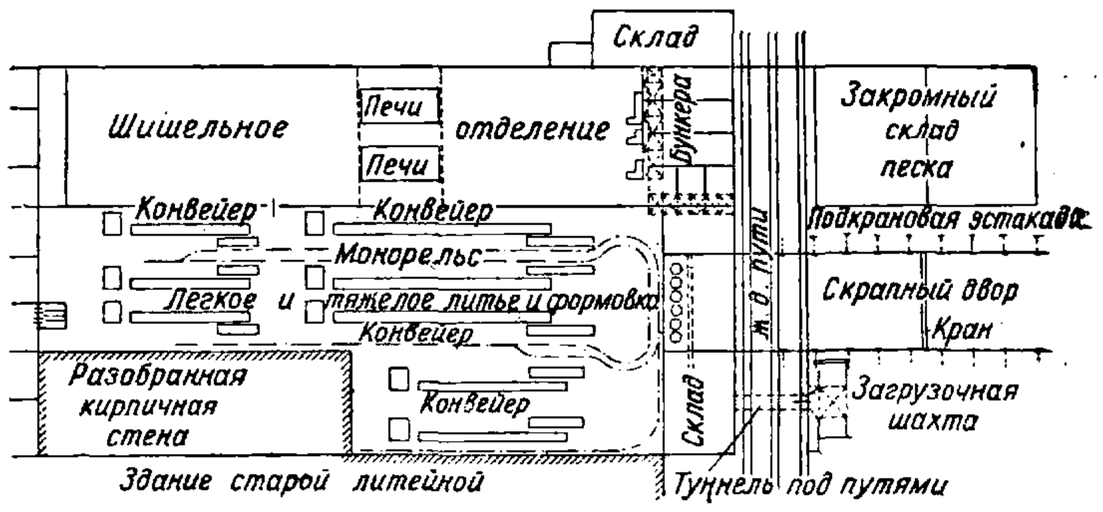
Фиг. 45.



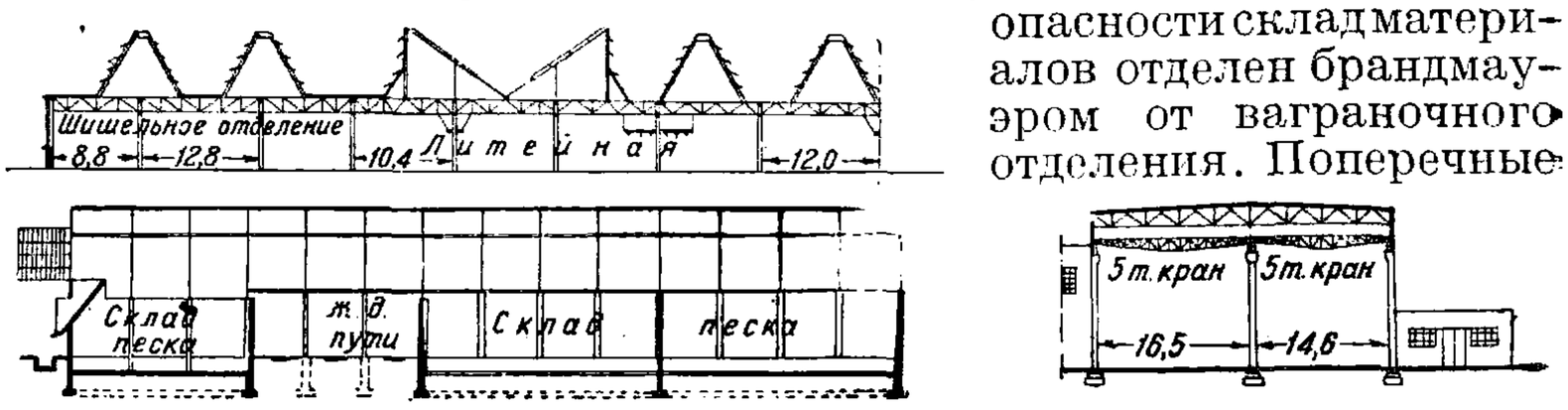
Фиг. 46.

На фиг. 38 и 39 изображена схема производственного потока и план чугуно- и сталелитейного цеха Челябинского тракторного з-да. Оба цеха—чугунолитейный и сталелитейный—объединены под одной кровлей. Здание в плане представляет собой пр-к размером 264 × 174 *м*. Как видно из сопоставления обоих приведенных зданий, производственные потоки и планировка цехов в части чугунолитейной одинаковы. Отличием является расположение склада песка в Челябинской чугунолитейной рядом со складом материалов. Между чугунолитейной и сталелитейной расположена стержневая, обслуживающая как ту, так и другую. Меднолитейная находится в стыке между обоими цехами. Выделение из здания основного цеха Челябинского тракторного з-да склада формовочных материалов в значительной степени нарушает прямоточность процесса, но в основном расположение производственных помещений в обоих з-дах является правильным.

Фиг. 40 представляет собой поперечный разрез по складу шихтовых материалов Харьковского тракторного з-да, а фиг. 41—такой же разрез Челябинского тракторного з-да. Пролеты в обоих з-дах = 24 *м*, высоты до затяжки в первом 12,4 *м*, во втором—16,6 *м*. Мощность кранового оборудования Харьковского тракторного з-да—3 крана по 5 *т*, в Челябинском тракторном з-де—3 крана по 10 *т* и 1 кран в 5 *т*. Различие подъемной силы кранов и высот помещений объясняется большей емкостью складов Челябинского тракторного завода и высотой колошниковой площадки ваграночного помещения (8,3 *м*), что обусловлено способом загрузки. Конструкция представляет собой железобетонные колонны, железобетонные подкрановые балки, обеспечивающие продольную жесткость, и деревянные сегментные фермы. Полы в закромах для чугуна и скрапа—земляные, в закромах для шлака, антрацита, дерева, кокса и флюсов—цементные. Решение этих конструкций в железобетоне, будучи значительно более трудоемким, нежели в металле, как требующее устройства дорогостоящей опалубки и подмостей, обусловлено стремлением к сокращению расхода стали в виду ее дефицитности в период реконструкции тяжелой пром-сти в СССР. Перекрытия применены деревянные по той же причине. Однако по условиям пожарной безопасности склад материалов отделен брандмауэром от ваграночного отделения. Поперечные разрезы последнего приведены на фиг. 42 (Харьковский тракторный з-д) и фиг. 43 (Челябинский тракторный з-д), из коих усматриваются габаритные размеры этажей и конструкции, спроектированные огнестойкими. Загрузочные пло-

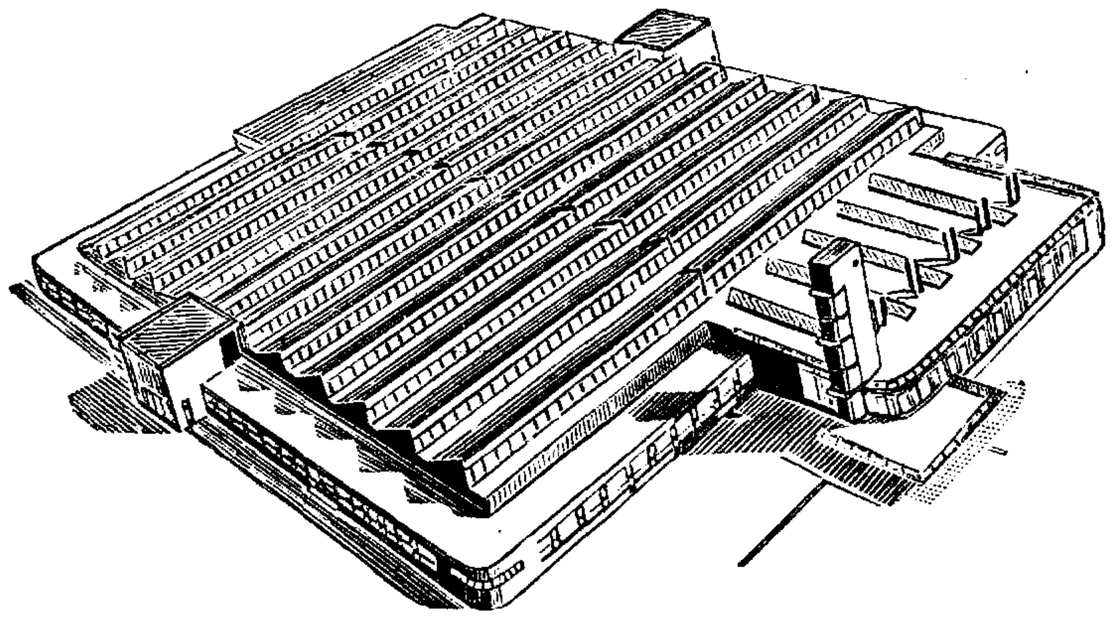


Фиг. 47.



Фиг. 48.

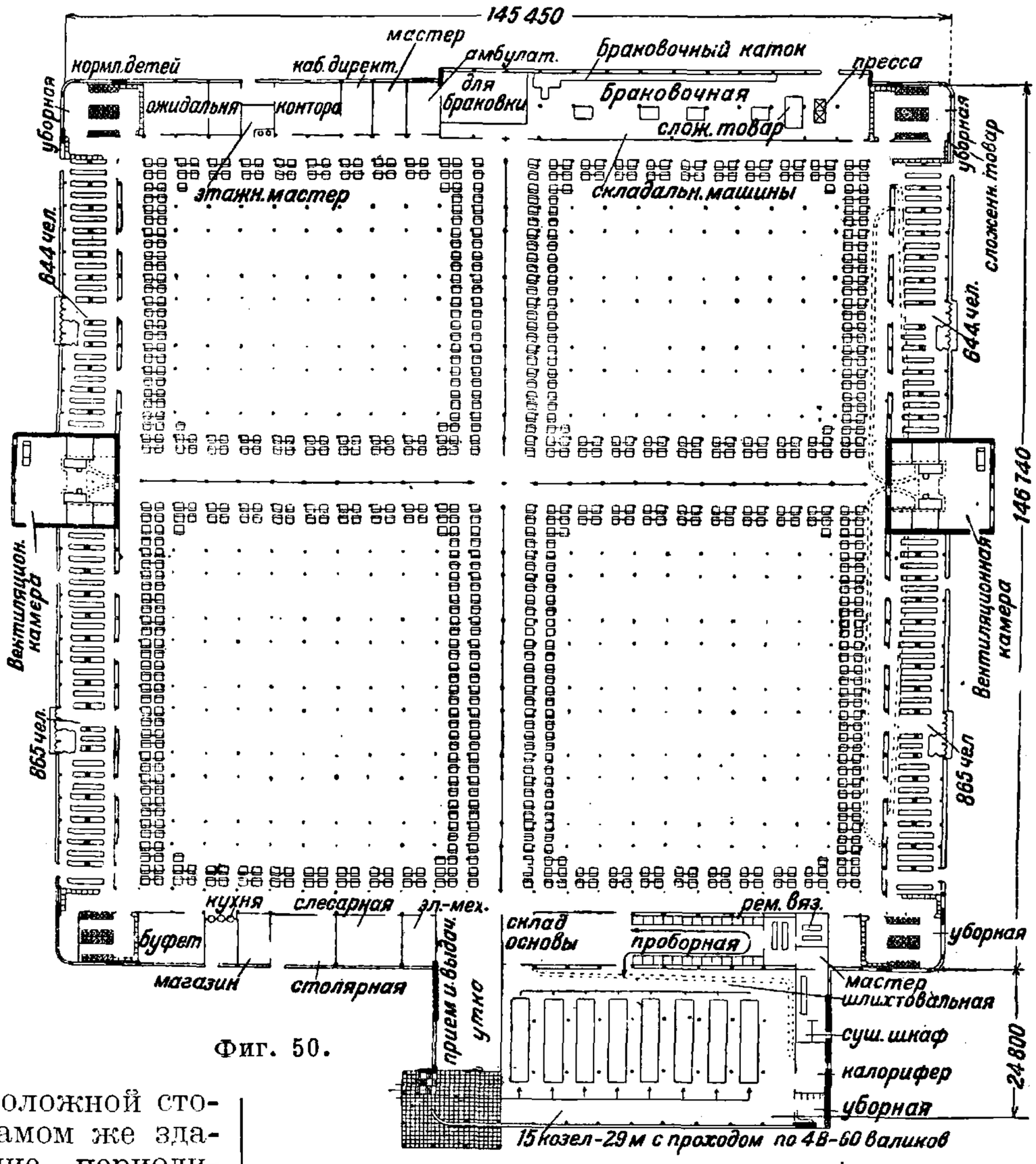
щадки, или т. н. колошниковый пол, рассчитываются на очень большую нагрузку чугуна, принимаемую обыкновенно ок. 2 *т/м²*. Заливочное помещение (фиг. 44, Харьковский тракторный з-д, и фиг. 45, Челябинский тракторный з-д) имеет форму кровли, способствующую естественному удалению горячих газов (аэрации),



Фиг. 49.

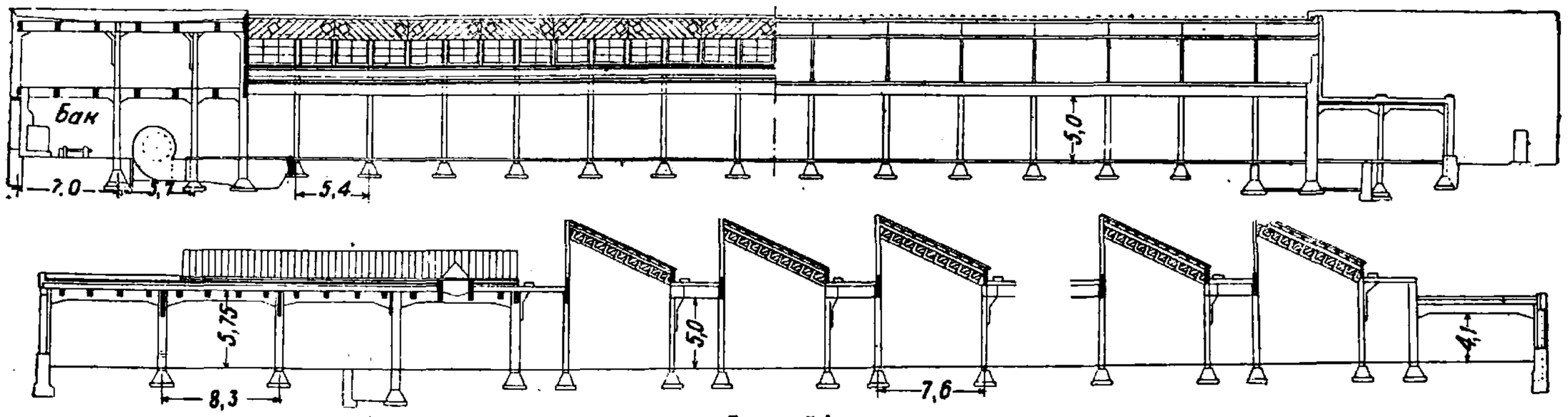
для чего устраивают чередующиеся фонари сист. Понд и трапецоидальные (мониторы), служащие для впуска воздуха. Конструкции запроектированы в металле в виде решетчатых ферм. Пролеты в обоих случаях 12 *м*, что является стандартом для крупных чугунолитейных, а высоты в первом—7,8 *м*, а во втором—9,0 *м*, что обусловлено условиями производства.

Формовочные помещения имеют аналогичные предыдущему конструктивные решения и такие же пролеты (12 *м*), причем некоторые из них оборудованы 5-*т* кранами. Помещения выбивки и земледелок повторяют предыдущие решения. Склады песка и земли в обоих проектах конструктивно решены аналогично складу шихтовых материалов. Высота помещения в Челябинском тракторном заводе (фиг. 46), равная 17,65 *м*, дает возможность хранения больших объемов песка, перемещение к-рого производится с помощью 5-*т* кранов. На фиг. 47 представлен план, а на фиг. 48 разрез здания чугунолитейной автомобильного з-да Шевроле в Сагинау (штат Мичиган), являющейся одной из самых крупных предприятий этого рода в США. Площадь нового здания, пристраиваемого к существующей литейной, равна 150 × 83 *м*, количество рабочих достигает 6 000 чел. Здание литейной отделяется тройным рельсовым путем от главных складов сырья, которые расположены на противоположной стороне заводской территории. В самом же здании литейной имеются небольшие, периодически пополняемые расходные склады. Песок передается в закрома из главного склада поверх жел.-дор. путей, откуда через бункеры попадает в земледелочные машины, стержневую и формовочное отделение. Чугун доставляется по ж. д. и складывается на скрапном дворе, перекрытом крановым путем, поддерживаемым двумя рядами металлических опор. Кран—электромагнитный с пролетом 19,5 *м*. Кроме того с помощью поперечного крана с пролетом 6,6 *м* загружается бетонная шахта, соединенная с туннелем, проходящим под ж.-д. путями. По туннелю чугун подается в склад при литейной и затем шаржирным краном грузится в вагранки. Вдоль фронта вагранок проходит монорельсовый путь, по к-рому двигается ковш, наполняемый расплавленным чугуном из вагранок и производящий переливку его в малые ковши, после чего происходит заливка форм на конвейере, выбивка их и остывание и очистка изделий. Отработанная земля поступает под решетки на конвейеры и затем в подвальное помещение, находящееся в левой части здания, откуда вновь подается в земледелочные машины. С целью увеличения емкости склада песка пол его углублен несколько ниже общего уровня поверхности земли. Пополнение закромов производится двумя кранами подъемной силы в 5 *т* с пролетами в 14,5 и 16 *м*. В процессе литья происходит столь интенсивное выделение газов, что удаление их возможно только благодаря надлежаще спроектированному очертанию кровли, обеспечивающему аэрацию. В годы расцвета автомобильной пром-сти в описываемой чугунолитейной надлежало выпуск продукции довести до величины, превышающей запроектированную мощность, для чего помимо перевода на трехсменное производство были введены в помощь монорельсовым ковшам транспорты их на электрокарах, что создало тягчайшие условия труда как в отношении непосредственной безопасности рабочих, так и в виду чрезвычайной задымленности, не устранявшейся в достаточной мере пондами, имеющими, как видно из



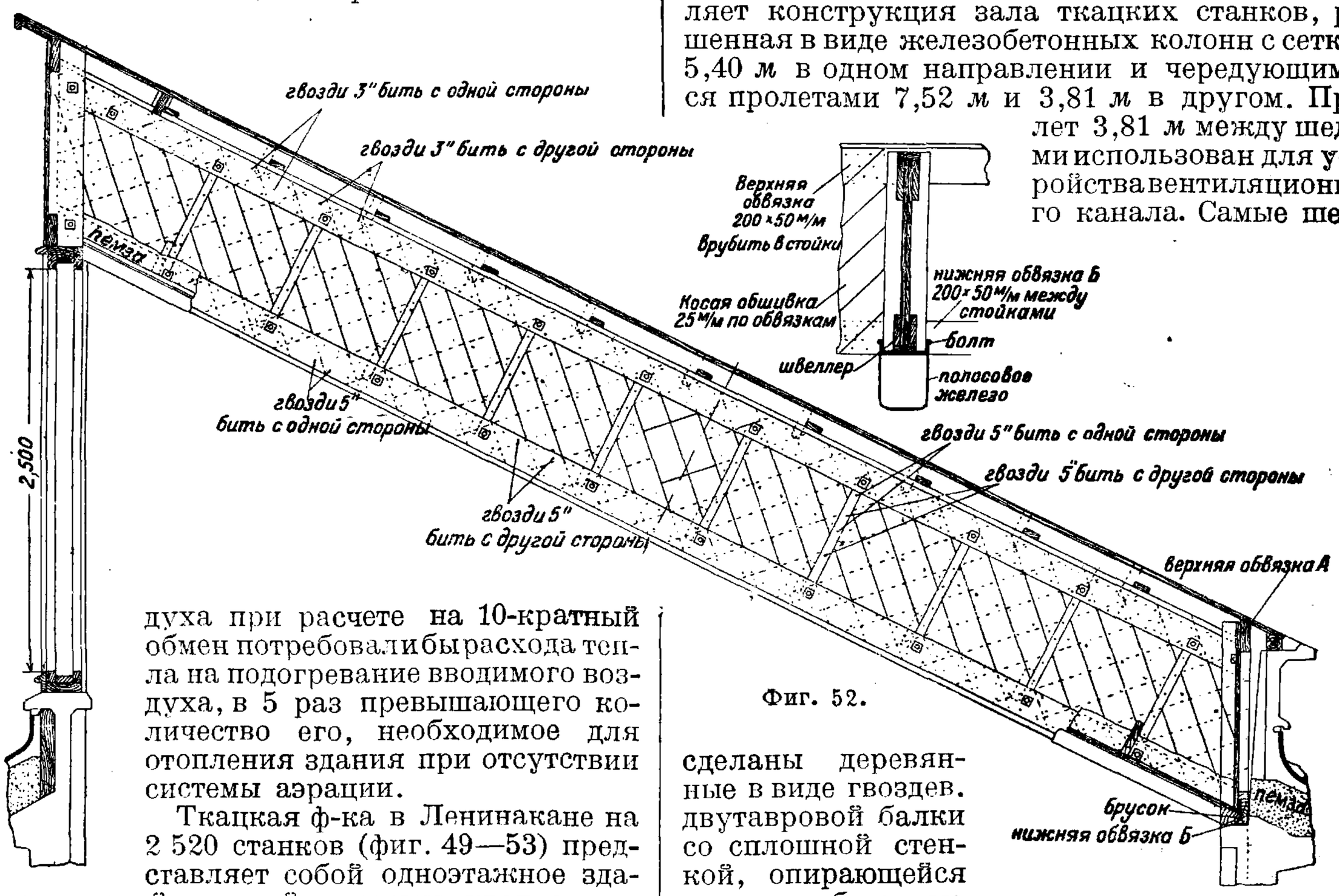
Фиг. 50.

чертежа, удовлетворительные размеры применительно к нормальным условиям работы. Для работы в столь тяжелых условиях привлекались исключительно негритянские рабочие. Тем не



Фиг. 51.

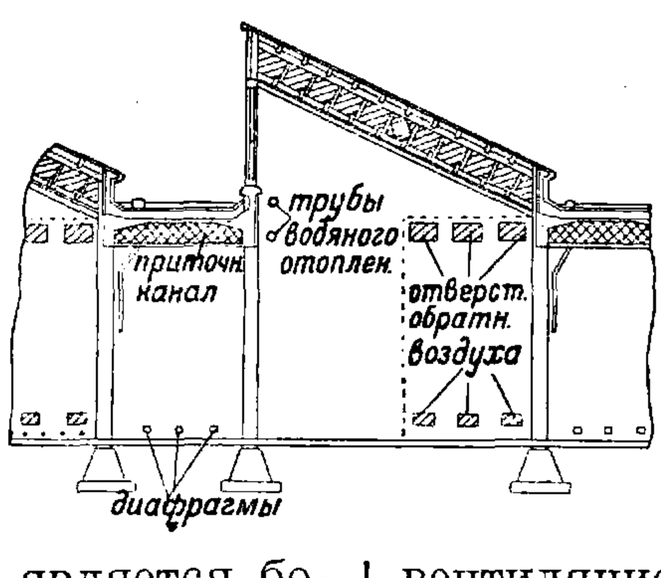
менее сист. Понда является единственным эффективным методом удаления газов. Для одной из спроектированных для СССР литейных удаление газов и возмещение притока свежего воз-

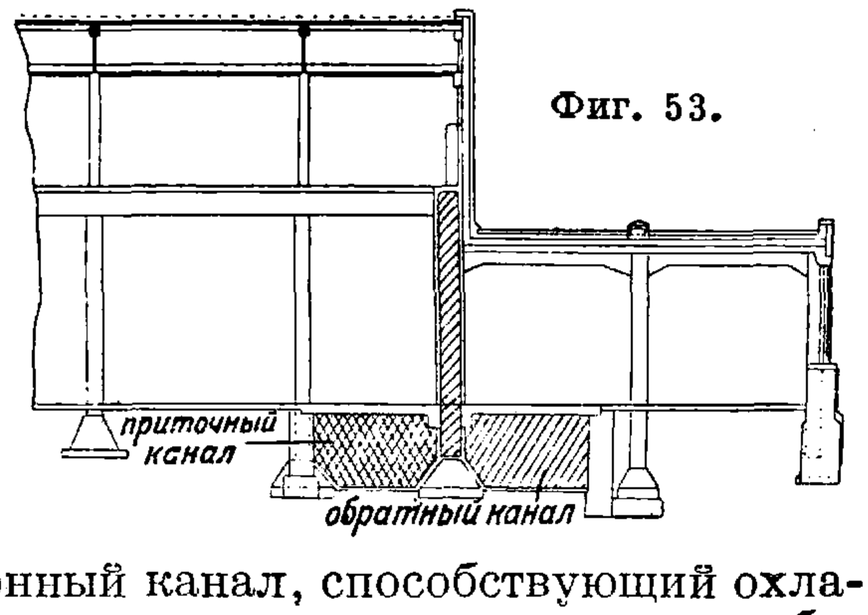


Фиг. 52.

духа при расчете на 10-кратный обмен потребовали бы расхода тепла на подогревание вводимого воздуха, в 5 раз превышающего количество его, необходимое для отопления здания при отсутствии системы аэрации.

Ткацкая ф-ка в Ленинакане на 2 520 станков (фиг. 49—53) представляет собой одноэтажное здание с шедовой крышей, в плане квадратное, размерами 146×146 *м*. Расположение отдельных производственных и бытовых помещений указано на фиг. 50. Одноэтажное решение ткацких фабрик несмотря на большие площади планов является обычным и наиболее рациональным решением, если оно допускается условиями застройки участка. Вибрации, производимые станками, в особенности при синхронности их работы, оказывают столь сильное воздействие на стены многоэтажных зданий, что они претерпевают значительные колебания, и потому стены таких зданий д. б. усилены. Кроме того горизонтальный транспорт является более удобным и дешевым, нежели перемещение с помощью подъемников. Помимо обычных условий здание ф-ки было рассчитано на сейсмич. ная сила, равная 730 : 9 810 = 0,075 суммы вертикальных сил, приложенных к тому же элементу, где 9 810 *мм*—величина ускорения силы земного тяготения. Особый интерес представляет конструкция зала ткацких станков, решенная в виде железобетонных колонн с сеткой 5,40 *м* в одном направлении и чередующимися пролетами 7,52 *м* и 3,81 *м* в другом. Пролет 3,81 *м* между шедами использован для устройства вентиляционного канала. Самые шеды сделаны деревянные в виде гвоздев. двутавровой балки со сплошной стенкой, опирающейся на железобетонные стенки, соединяющие головы колонн. Устройство подшивки потолка по нижней грани шедовой балки дает возможность использовать пространство между потолком и кровлей как вентиляционный канал, способствующий охлаждению помещения в летнее время и обогреванию потолка в зимнее время воздухом, циркулирующим в канале благодаря разнице





Фиг. 53.

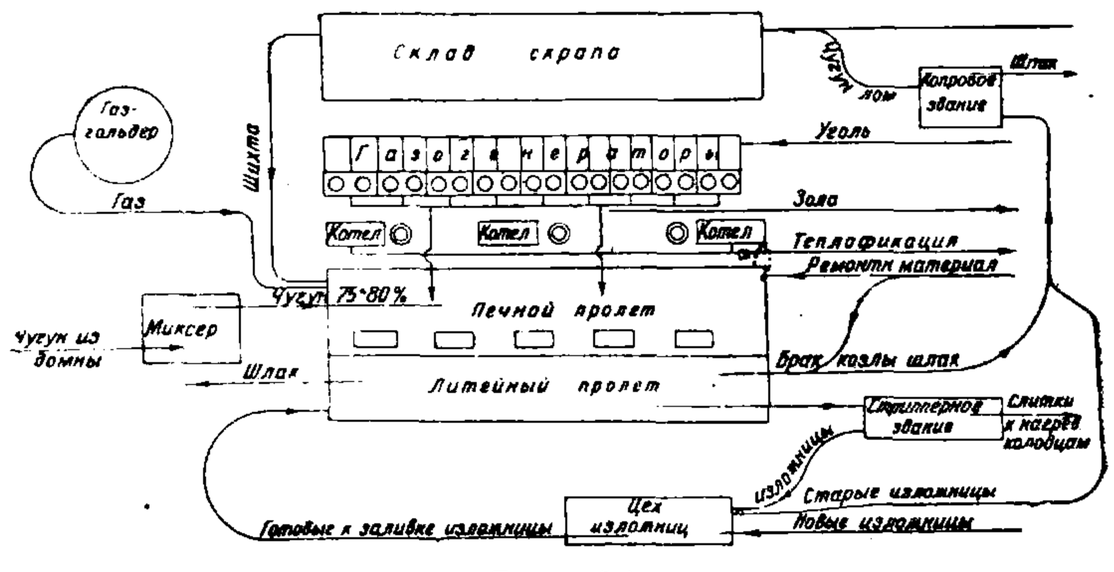
темп-р у входного и выходного концов. Утепление кровли сделано пемзой, а для наружных стен употреблен вулканич. туф, в изобилии имеющийся в районе Ленинакана. Деревянное решение шедов является разумной попыткой замены железобетона менее дефицитными материалами, тем более, что части с деревянной несущей конструкцией подразделены железобетонными, т. е. огнестойкими, полосами (пролеты 3,81 *м*), в значительной мере устраняющими опасность распространения пожара.

Единые нормы строительного проектирования устанавливают ограничения для площадей ф.-з. зданий, перекрываемых деревянными конструкциями, в зависимости от степени огнеопасности производств, которые разделяются на 5 категорий: А) производство и обработка легко воспламеняющихся жидкостей, Б) производство и обработка горючих, легко воспламеняющихся веществ, В) производство, обработка и хранение горючих, не легко возгорающихся материалов (текстильное, деревообделочное производства), Г) горячая обработка невозгорающихся материалов (кузнечное, прокатное производства) и Д) холодная обработка невозгорающихся материалов (слесарно-механическое, сахарное пр-ва). Предельные допускаемые площади в $м^2$ для ф.-з. построек с деревянными перекрытиями приведены в таблице.

Нормы для деревянных перекрытий.

Тип зданий	Категории		
	Б	В	Г и Д
1. Сгораемые и защищенные от возгорания:			
одноэтажные . . .	—	900/1 800	900/2 250
двухэтажные . . .	—	600/1 200	600/1 500
2. Смешанные:			
одноэтажные . . .	—	1 500/3 000	1 500/3 000
многоэтажные . .	—	900/1 800	900/2 250
3. а) Несгораемые одноэтажные:			
без световых фонарей или с несгораем. фонарями	2 000/5 000	2 000/5 000	2 000/5 000
с сгораемыми световыми фонарями	1 500/3 000	1 500/3 750	1 500/3 750
б) Несгораемые многоэтажные . .	1 500/3 000	1 500/3 750	1 500/3 750
4. Огнестойкие:			
одноэтажные . . .	неогран.	неогран.	неогран.
многоэтажные . . .	2000/неогр.	2400/неогр.	неогр.

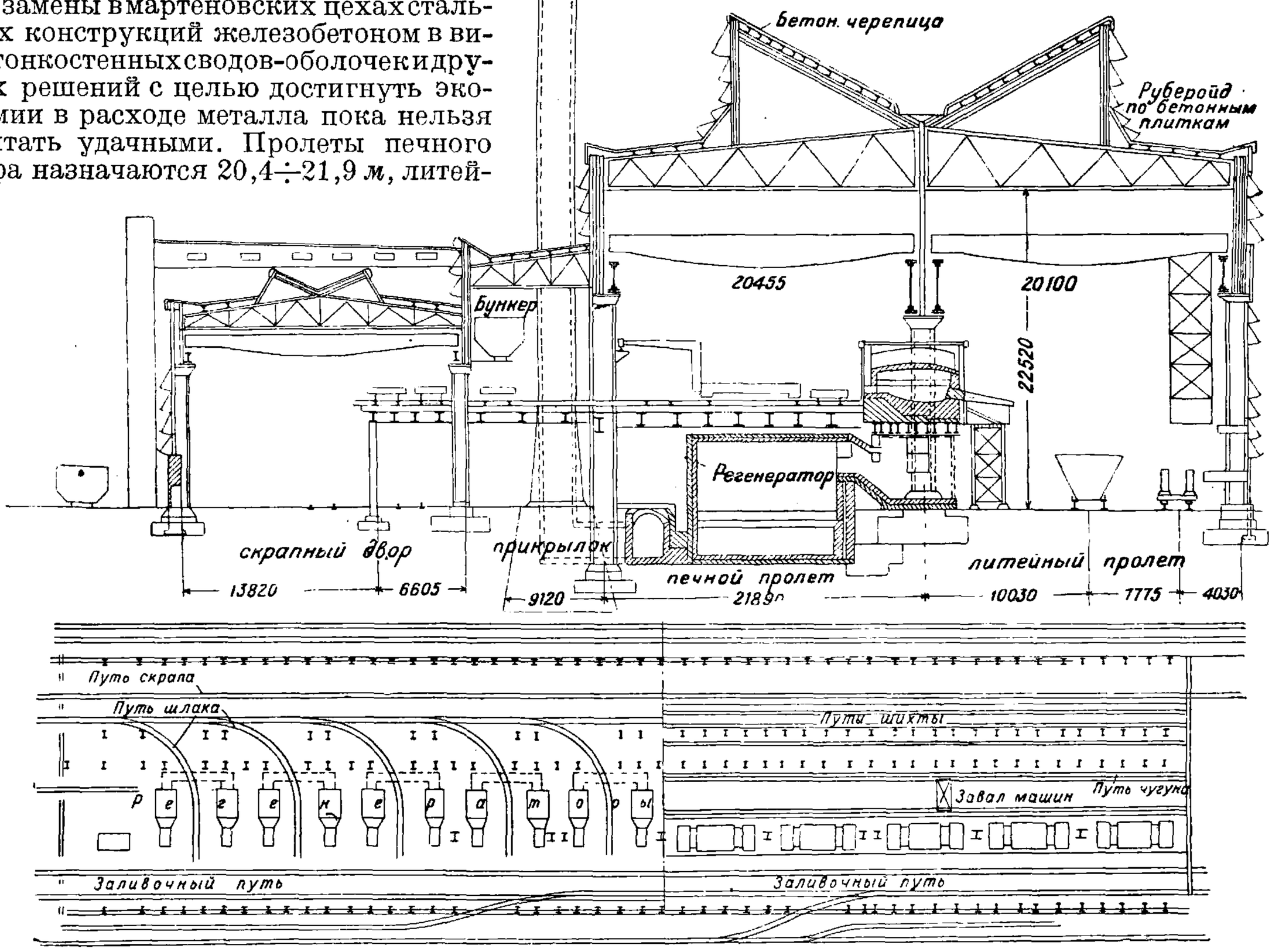
Числа над чертой относятся к случаю отсутствия спринклерного оборудования, а числа под чертой—при наличии спринклерного оборудования. В последнее время допускают нек-рое увеличение вышеприведенных цифровых величин. Если здание имеет площадь, превышающую указанные в таблице величины, то перекрытия разделяются огнестойкими железобетонными зонами т. о., чтобы площадь между зонами не превышала установленных величин. Ширина зоны обыкновенно принимается равной одному пролету. В США перекрытия больших ф.-з. построек устраиваются огнестойкими, причем для облегчения веса плиты междуэтажных перекрытий нередко делаются шлако-железобетонными, а кровельные перекрытия часто устраиваются из заранее изготовленных легковесных армированных плит, укладываемых по железным тавровым прогонам. В качестве материала для этих плит в последние годы в США получил распространение хейдит, служащий одновременно несущим покрытием и изолятором. Хейдит представляет собой пористое, сильно обожженное вещество с пузырчатой структурой, образованное путем обработки сланца или глины под действием высокой темп-ры во вращающейся обжигательной печи. Этот материал заменяет собой камневидную составляющую в бетоне, к-рый благодаря этому обладает объемным весом 1,6 и временным сопротивлением 164 $кг/см^2$ при составе 1 : 2 : 4. Железобетонные плиты из хейдита имеют в длину 1,8—2,4 *м*, в ширину 0,45 *м* и толщину 4 *см*. В случае применения нормального бетона для перекрытия плита утепляется вместо дорогостоящей пробки силотексом, т. е. прессованным сахарным тростником в 2 или 3 слоя по 1 *см* толщиной, поверх которого наклеивается непосредственно кровельный ковер. Изготовляемые в СССР утеплители типа фибролита являются недостаточно жесткими для непосредственной наклейки руберойда и поэтому предварительно защищаются корочкой из шлакового бетона толщиной от 4 до 5 *см*.



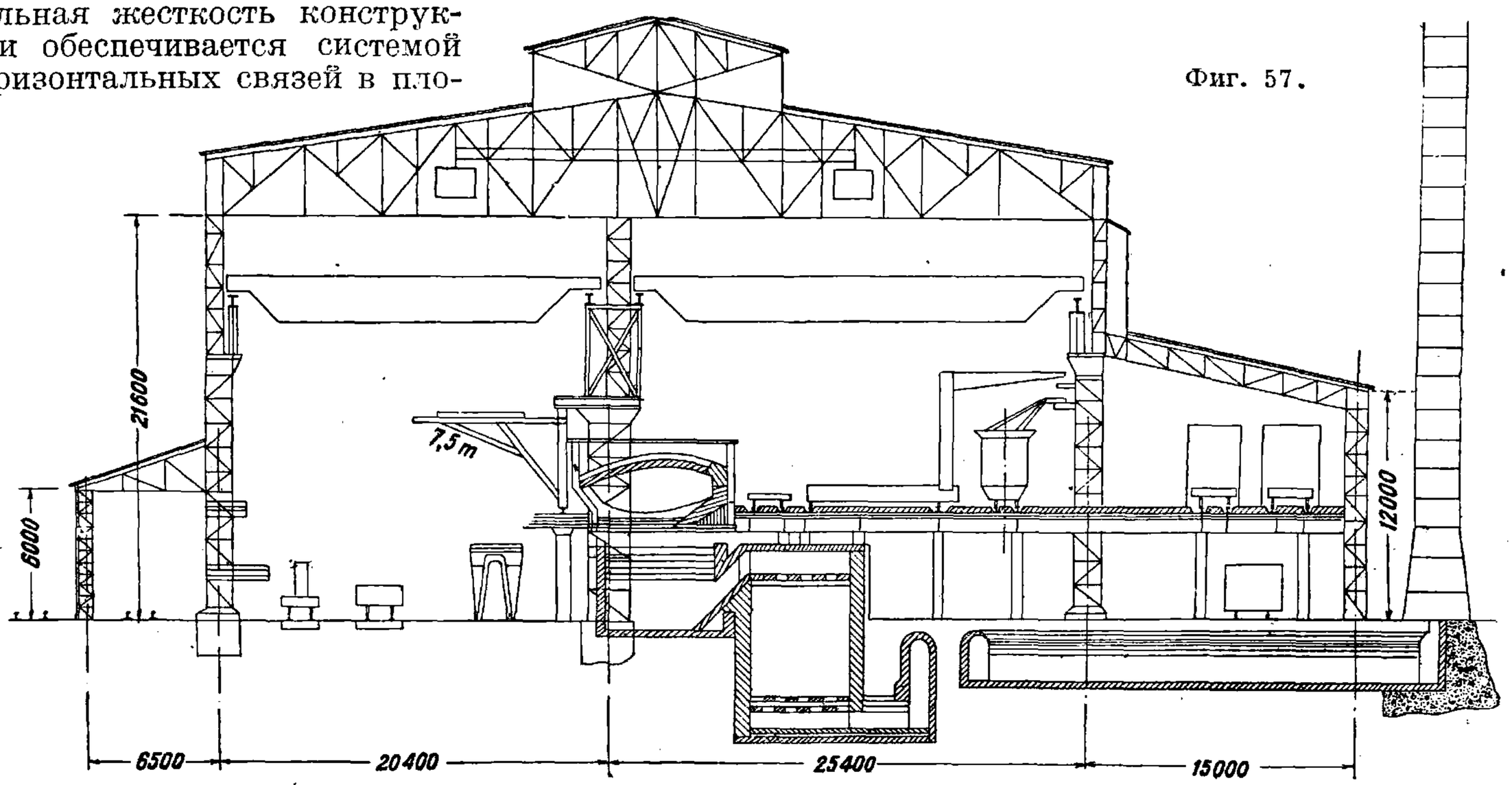
Фиг. 54.

Одним из наиболее сложных с точки зрения строительного оформления зданий металлургических цехов является мартеновский цех, состоящий из печного и литейного пролетов, объединяемых в одно здание, и ряда вспомогательных отделений: миксерного здания, скрапного двора, стрипперного отделения, цеха изложниц и копрового здания. В зависимости от объединения или разделения части этих зданий, а также от способов загрузки печей и расположения скрапного двора в мартеновских цехах различают три типа: американский, немецкий и смешанный. На фиг. 54 представлена производственная схема американского мартеновского цеха. Фиг. 55 изображает поперечный разрез, а фиг. 56—план мартеновского цеха з-да Форд в Детройте, сооруженного в 1922 г. с годовой продукцией в 625 тыс. *т* литья болванок для автомобильного проката. Вследствие примыкания скрапного двора к печному пролету уменьшается пробег поездов с мульдами. Благодаря устройству большого понда, а также большим остекленным боковым поверхностям помещение цеха имеет прекрасное освещение, достигающее 10% в литейном пролете и 8% в печном от освещенности на дневной поверхности, что является даже несколько избыточным для данного производства. Хотя форма понда является наиболее обеспечивающей удаление из помещений горячих газов, однако в виду значительной разности высот впускных и выпускных отверстий в мартеновском цехе удаление газов м. б. обеспечено и при более простой форме фонаря, как напр. выполнено в мартеновском цехе Н.-Тагильского з-да (фиг. 57) и Мариупольского з-да (фиг. 58). Остов здания представляет собой стальную конструкцию, применение к-рой в виду боль-

ших пролетов и мощных кранов, достигающих подъемной силы в 220 *т*, является единственно возможным решением. В Н.-Тагильском з-де в отличие от американской строительной практики колонны запроектированы решетчатыми. Попытки замены в мартеновских цехах стальных конструкций железобетоном в виде тонкостенных сводов-оболочек и других решений с целью достигнуть экономии в расходе металла пока нельзя считать удачными. Пролеты печного нефа назначаются 20,4÷21,9 *м*, литейного—21,9÷27,5 *м*. Расстояния между рядами колонн 30 *м*, 32 *м* и 37,5 *м*, что вызывает необходимость устройства мощных трельяжных ферм для поддержания стропильных ферм. Продольная жесткость конструкции обеспечивается системой горизонтальных связей в плоскости сжатых поясов. Кровли зданий мартеновских цехов устраивают из бетонных плит, крытых рубероидом, или из волнистого железа. Деревянная кровля по условиям огнеопасности недопустима. На фиг. 59 и 60 даны поперечный разрез и план скрапного двора мартеновского цеха Кузнецкого з-да. Двор снабжен мостовыми кранами с грейферами и тележками подъемной силой в 10 *т* и электромагнитными кранами. Соединение колонн со стропильными фермами сделано шарнирным, благодаря чему темп-рные изменения длин элементов стропильных ферм не вызывают дополнительных напряжений в колоннах; однако жесткое соеди-



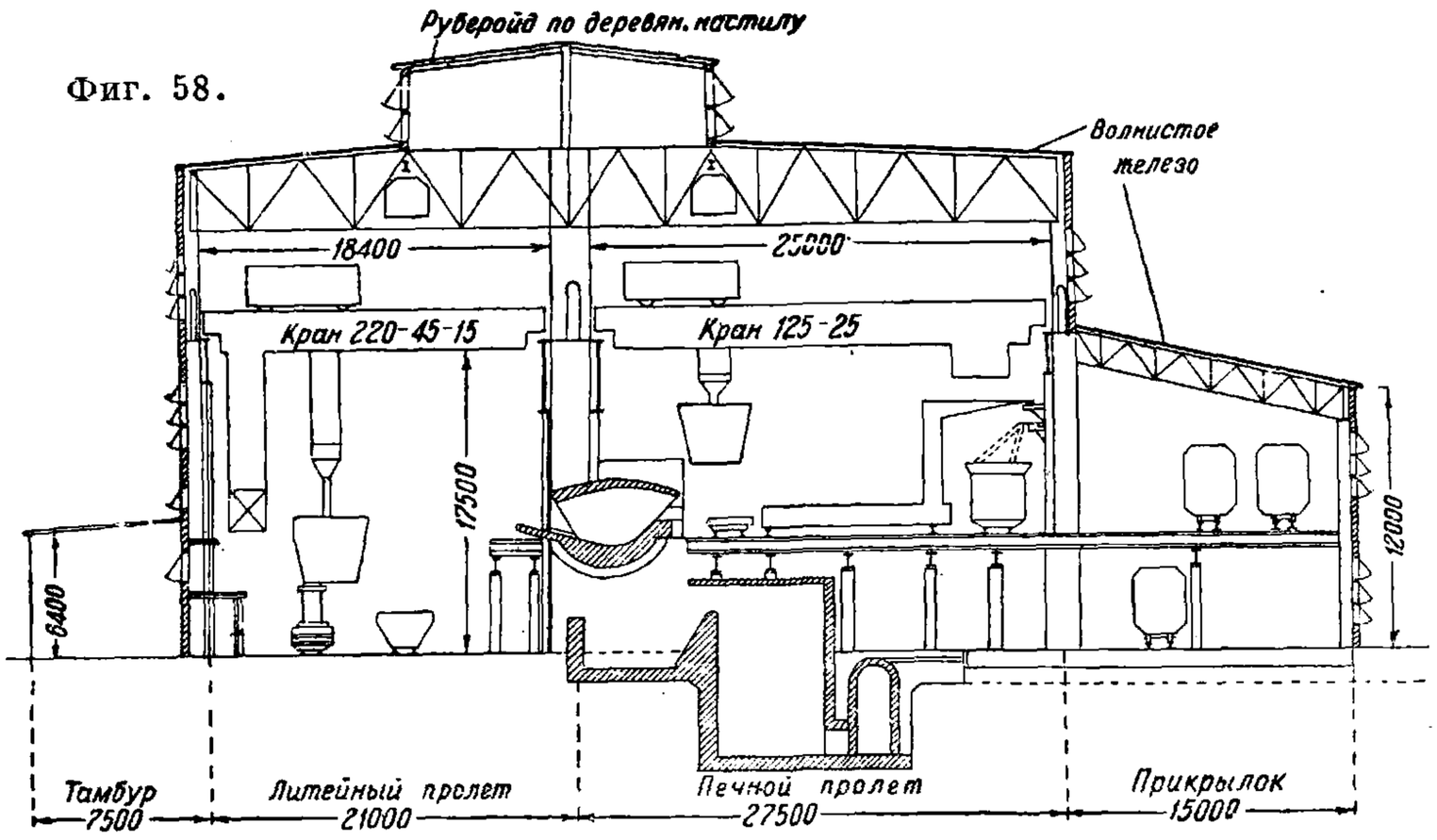
Фиг. 55 и 56.



Фиг. 57.

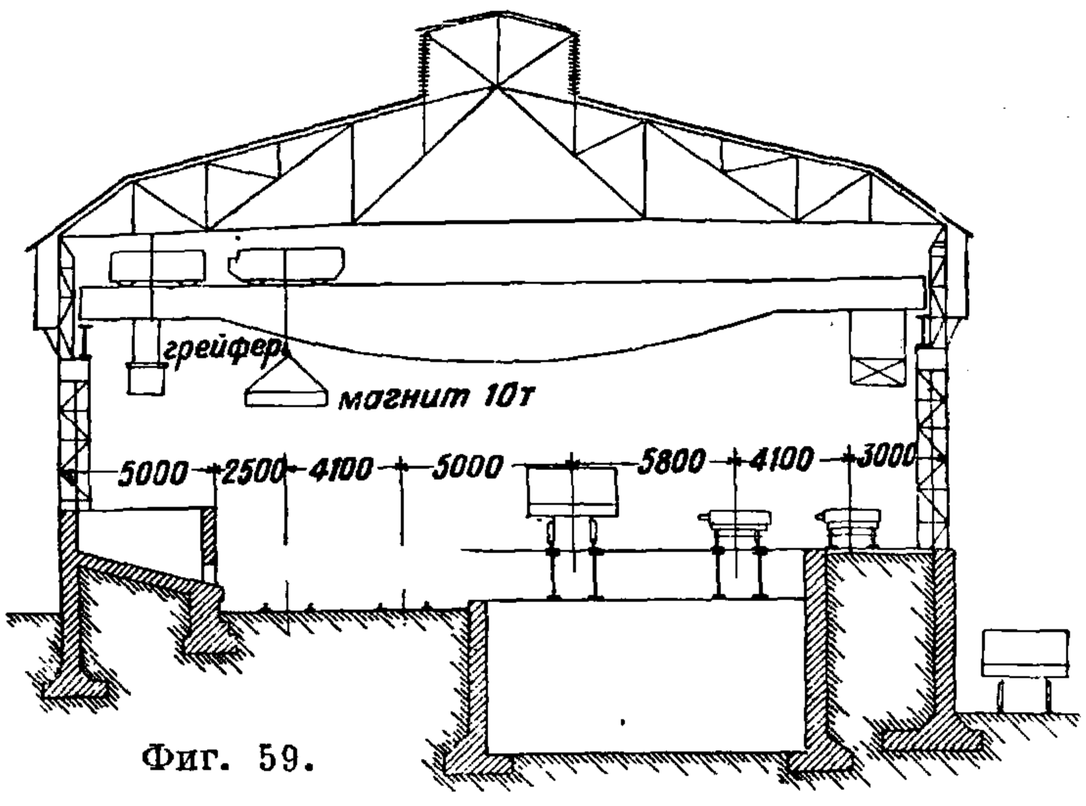
нение повидимому было бы более выгодным для работы стропильных ферм и в большей мере обеспечило бы надежность работы кранов. На фиг. 61 представлен поперечный разрез склада изложниц Магнитогорского завода. Конструкция зданий представляет собой ряд железобетонных арок пролетом 31,1 *м*, расположенных на взаимном расстоянии 6 *м*, жестко соединенных с железобетонными стойками; распор

Фиг. 58.



арки воспринимается затяжкой, подвешенной забетоненными тяжами к арке. Продольная жесткость конструкции обеспечивается железобетонными неразрезными подкрановыми балками пролетом 6 *м*, по к-рым движется кран подъемной силой в 15 *т*. Кровля образована огнестойкой сплошной железобетонной плитой, покрытой руберойдом.

Выбор материалов основных несущих конструкций ф.-з. сооружений зависит от требуемой степени пожарной безопасности, долговечности и назначения сооружения, от числа этажей и величины нагрузки на перекрытия многоэтажных зданий, от наличия местных строительных материалов, а также в некоторых случаях от сроков и сезонов строи-

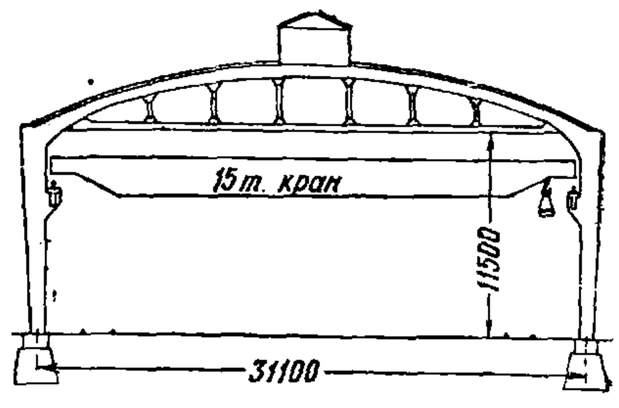


Фиг. 59.

тельства. Красный кирпич, преимущественно употреблявшийся в довоенное время как основной стеновой материал, в настоящее время постепенно вытесняется более легковесными и менее трудоемкими при строительстве материалами, как бетонитовые камни, трепельный кирпич, фибролит и др. материалы, играющие роль заполнителей при каркасной несущей конструкции из стали, железобетона или кирпичных столбов. Толщина стен определяется, с одной стороны, расчетом прочности, и, с другой,— требованием теплоизоляции, причем для среднего климатического пояса СССР она принимается в 51 *см*, а при кладке на теплом растворе—38 *см*. Стены ф.-з. зданий, сложенные из бетонитовых камней, имеют обыкновенно толщину 31—35 *см*. Наиболее употребительными в СССР являются бетонитовые камни системы «Крестьянин». Стены холодных, неотапливаемых ф.-з. построек, а также производственных зданий нек-рых горячих цехов, обладающих избыточным теплом, выделяемым производственным процессом, как напр. кузницы, мартеновские цехи, гутты стекольных заводов и т. п., имеют меньшую толщину. В цехах горячей обработки металла нередко стены образуются волнистым железом, приклепываемым к основному металлич. каркасу. Для той же цели в последнее время иногда применяют волнистые асбофанерные плиты. Кровельные перекрытия фабрично-заводских зданий в зависимости от требований огнестойкости устраиваются железобетонными ребристыми или в виде безбалочных плит или деревянными в виде дощатого настила по деревянным или железобетонным балкам, состоящего из сплошной опалубки (рабочего настила), поверх к-рого укладывается защитный деревянный слой из более тонких досок (25 *мм*), покрываемых руберойдом по пергамину. При невозможности по производственным условиям

Фиг. 60.

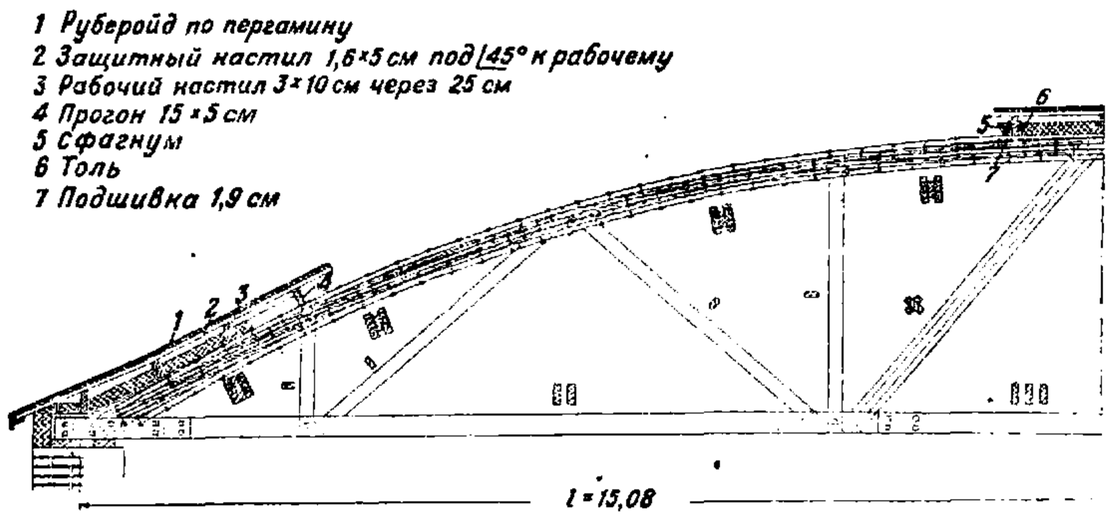
постановки промежуточных колонн большие кровельные пролеты перекрываются металлическими стропильными фермами, а если допускают условия производства, то деревянными, получившими большое распространение в Германии и в СССР. Для пролетов порядка 12—25 *м* чрезвычайно экономичным решением является система т. н. сегментных ферм (фиг. 62), верхний пояс к-рых образован из двух рядов положенных плашмя и согнутых по дуге круга или параболы узких досок, соединенных между собой гвоздями. Обе ветви верхнего пояса разделены промежутком, в к-рый пропущены дощатые стойки и раскосы. Нижний растянутый пояс устраивается из двух брусьев, в концы к-рых врубаются доски верхнего пояса. Для перекрытий меньших пролетов (до 12 *м*) выгодным и часто применяемым решением является изображенная на фиг. 63 тавровая ферма. Покрытие сплошным слоем брусков, или т. н. деревянной гвоздевой плитой, является во многих случаях экономичным несмотря на кажущийся перерасход древесины, что объясняется устранением прогонов, являю-



Фиг. 61.

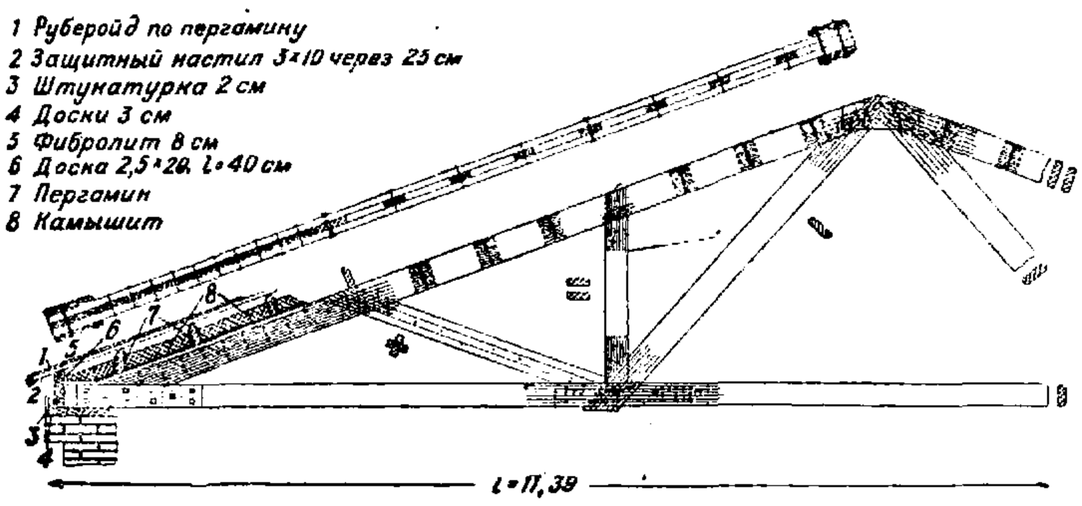
щихся в этом случае излишними, и возможностью обойтись без утеплителя, роль которого играет сама дощатая плита, дающая всеобщий коэфициент теплопередачи, равный 0,9. К преимуществам такой конструкции относится уменьшение опасности возгорания и распространения пожара по сравнению с конструкцией из прогонов и тонких слоев легко возгораемых досок. По америк. классификации такая конструкция кровли относится к разряду медленно сгораемой.

Применение железобетонных балочных конструкций для кровельных перекрытий больших пролетов, превышающих 10—12 *м*, является невыгодным в виду того, что собственный вес железобетонной конструкции больших пролетов весьма значителен по сравнению с полезной нагрузкой, состоящей из утепления и снега. В этих случаях в огнестойких перекрытиях употребляются металлические фер-



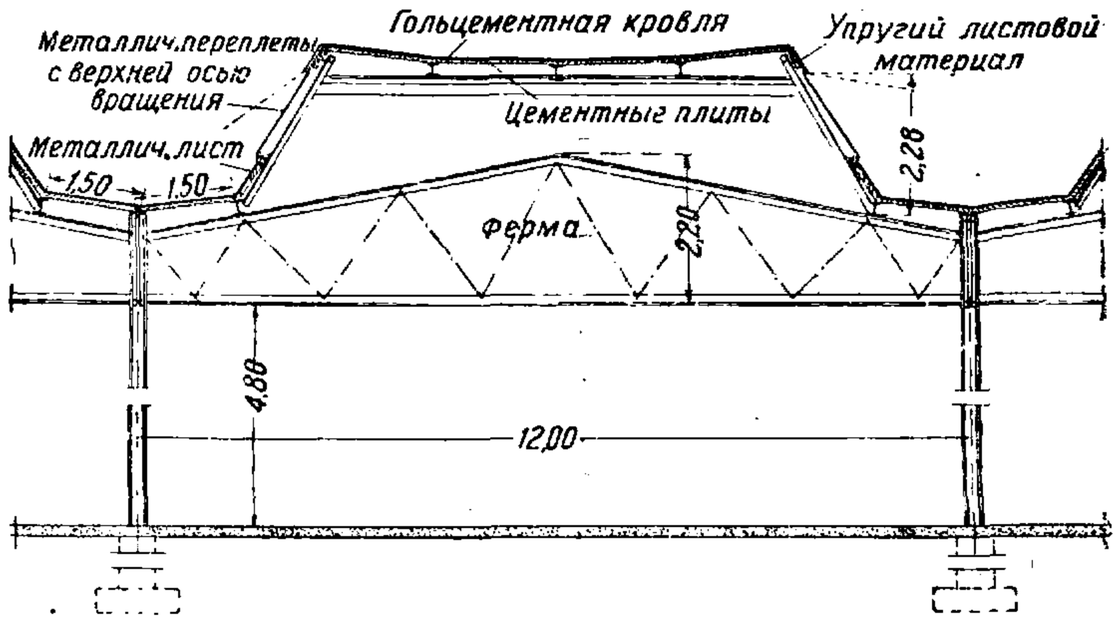
Фиг. 62.

менные или балочные системы. Подразделение больших пролетов на несколько более мелких всегда является рентабельным, если по условиям расстановки оборудования возможно введение промежуточных опор. В одноэтажном ф.-з. строительстве наиболее употребительна в З. Европе и С. Америке металлич. конструкция, представляющая большие преимущества возможностью быстрого возведения построек. На фиг. 64 представлен поперечный разрез сборочного цеха автомобильного завода Крайслера в США. Здание имеет 585 *м* длины и построено в промежуток времени от 24 октября 1928 г. до 2 января 1929 г. Такая быстрота монтажа постройки могла быть осуществлена только благодаря применению стальных конструкций. Стальной каркас механосборочного цеха Сталинградского тракторного з-да такой же конструкции был собран в рекордно короткий срок—ок. 1 месяца. Помимо быстроты сборки стальные конструкции могут выполняться в любое время года, не исключая зимы, что выгодно отличает их от железобетонных в тех случаях, когда строительство ф.-з. сооружений должно производиться в достаточно быстрый срок. В многоэтажных производственных зданиях междуэтажные деревянные перекрытия употребляются реже. В большинстве случаев, в особенности если эти перекрытия несут большие нагрузки, они устраиваются железобетонными.



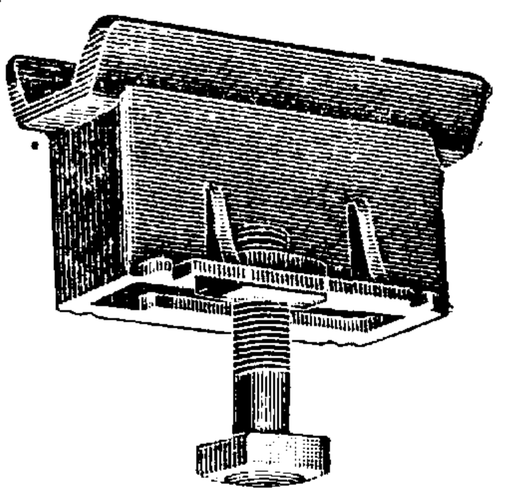
Фиг. 63.

Величина расчетных полезных нагрузок и способ их приложения определяются всякий раз по действительному весу

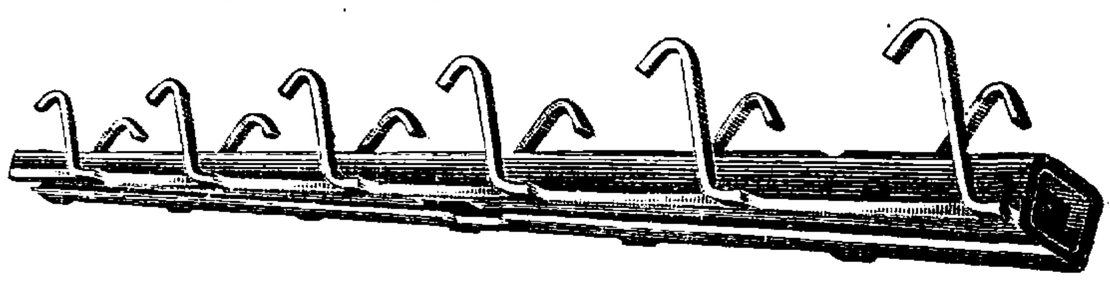


Фиг. 64.

и расположению ф.-з. оборудования, находящегося в помещениях. В большинстве случаев однако для расчета перекрытий задают величину равномерно распределенной нагрузки, эквивалентной действительному весу оборудования и материалов. В текстильных фабриках: ткацких, швейных, в некоторых отделах прядильных фабрик, механич. мастерских, а также в других видах производств, где не имеется тяжелых станков, нагрузка принимается в 400 *кг/м²*; для производств с более тяжелым оборудованием, как механич. мастерские с тяжелыми автоматами, отбельные красильные ф-ки и т. п., эта нагрузка повышается до 600—800 *кг/м²*. В складочных помещениях перекрытия рассчитываются на полезную нагрузку 1 000—2 000 *кг/м²*. Монтажные площадки необходимо рассчитывать на вес наиболее тяжелого отдельно монтируемого элемента. Так например, площадки между турбогенераторами в турбинных залах больших электростанций рассчитываются на нагрузку 1 500—2 000 *кг/м²*. Колошниковые полы в чугунолитейных при загрузке чугуном могут испытывать нагрузку до 2 000 *кг/м²*. Нормальные пролеты между колоннами многоэтажных производственных зданий обычно не превышают 5—6 *м*. Выбор системы железобетонных перекрытий производится всякий раз на основе экономич. подсчета. В СССР в большинстве случаев более выгодным оказывается ребристое перекрытие, как требующее меньшей затраты материалов, но большего расхода рабочей силы, чем безбалочное. В США в ф.-з. зданиях междуэтажные перекрытия обыкновенно устраиваются безбалочными, ибо перерасход материалов в условиях экономики США имеет меньшее значение, нежели перерасход на дорого оплачиваемых плотников. Кроме нагрузки от веса оборудования и материалов, находящихся на полах

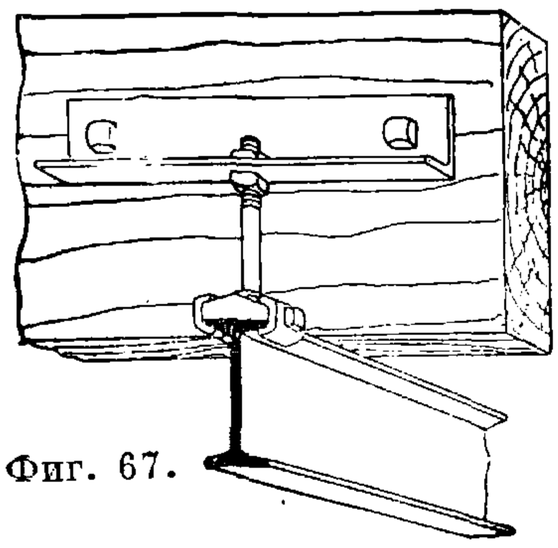


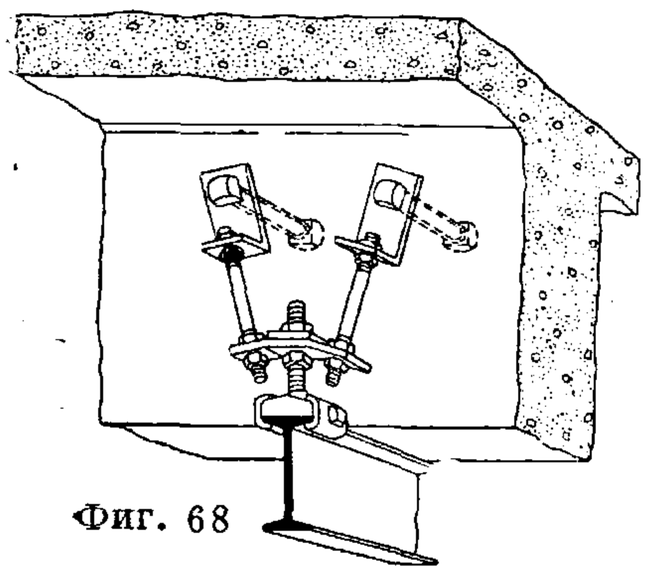
Фиг. 65.

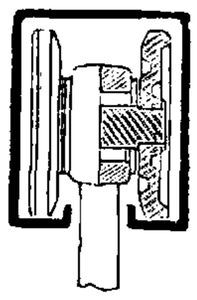


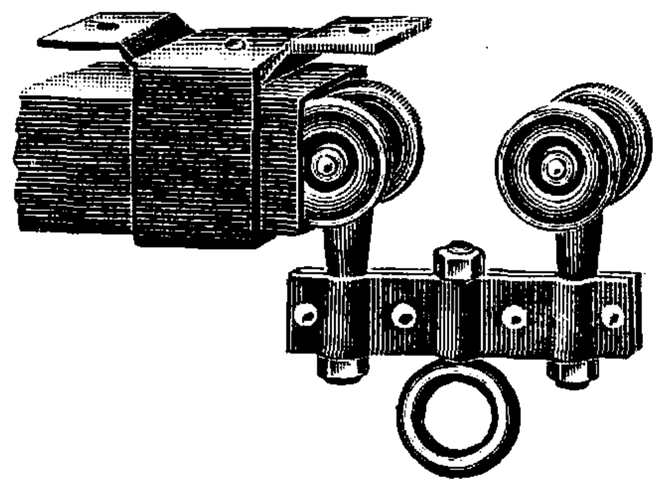
Фиг. 66.

перекрытий, к потолкам последних нередко подвешивают различные элементы оборудования, а также балки и монорельсы, служащие для подъема и перемещения материалов как при монтаже, так и во время эксплоатации. Иногда к потолкам ф.-з. зданий подвешивают также трубы отопления, трубопроводы для сжатого воздуха, воды, электропровода и т. п. Для осуществления этих подвесок требуется заранее предусмотреть в элементах перекрытий надлежащие отверстия, в которые пропускают болты крепления или специальные вкладыши. На фиг. 65 показан чугунный вкладыш, заделываемый в железобетонное перекрытие до начала бетонирования, для чего вкладыши укрепляются в требуемом положении на опалубке гвоздями, срезаемыми после окончания бетонирования. Болт, служащий для крепления оборудования, вводится снизу через квадратное уширенное отверстие в днище вкладыша и затем вдвигается вдоль узкого прореза к середине, где удерживается головкой, работающей при этом на отрывание. Поэтому такая конструкция является пригодной только для подвески небольших грузов. В тех случаях, когда необходимо укрепить несколько болтов, расположенных по одной прямой линии, например для целей подвески трубопроводов, причем во время бетонирования еще нельзя предусмотреть точного местоположения каждого болта на прямой линии, положение к-рой известно, в бетонную кладку заделывают вышеописанным способом стальной штампованный канал (фиг. 66), имеющий в нижней плоскости узкий прорез, в который свободно проходит стержень болта. Головка болта также вводится в уширенную часть прореза и продвигается к требуемому положению. Такие же каналы заделываются в стенки и кровлю туннелей, служащих для укладки различных трубопроводов на ф.-з. территории. Такие каналы позволяют в любом месте по высоте укреплять болты, поддерживающие трубопроводы.

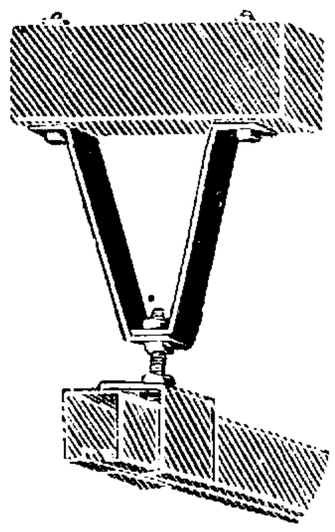

Фиг. 67.


Фиг. 68

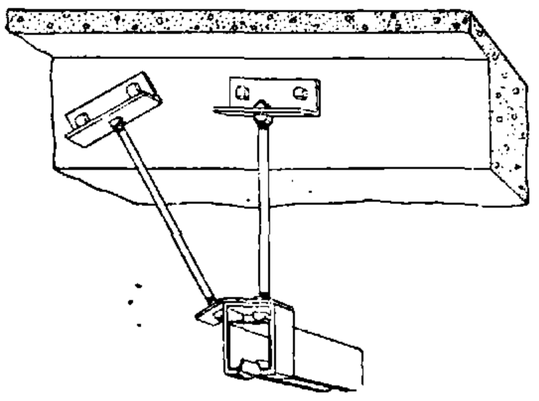

Фиг. 69а.

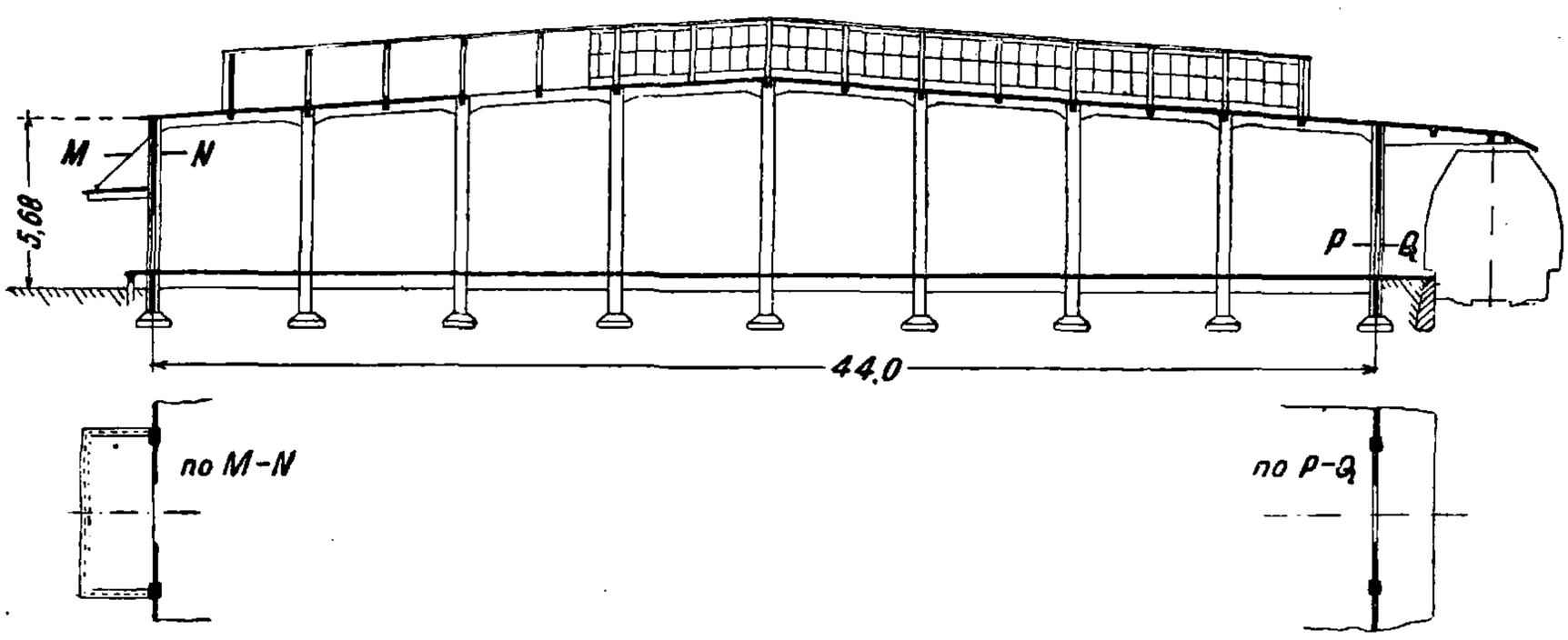

Фиг. 69б.

На фиг. 67 и 68 показаны способы укрепления двутавровых железных балок для талей или других механизмов к деревянным и железобетонным балкам потолочного перекрытия.

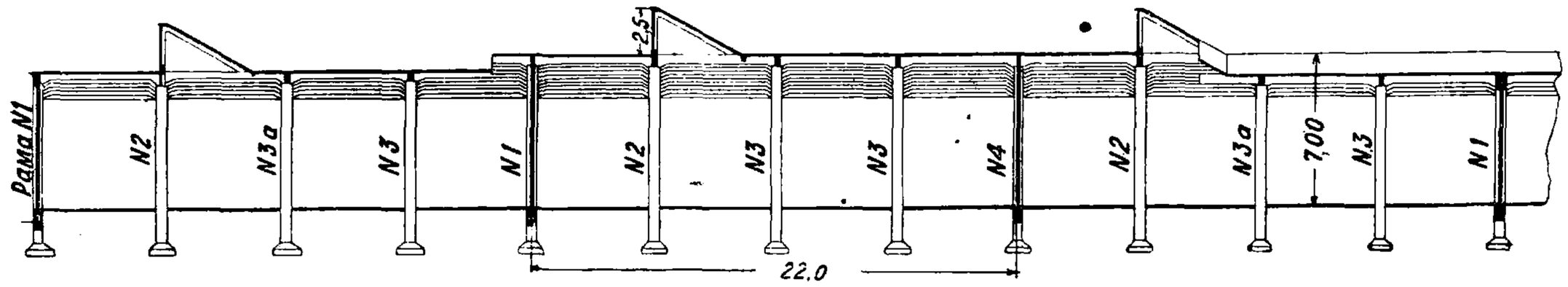

Фиг. 70.

В последнем случае необходимо заранее предусмотреть место расположения подвесок и забетонировать в балку болты с прикрепленными к ним короткими уголками. Если места крепления болтов заранее неизвестны, то в бетонную кладку заделывают на некотором расстоянии друг от друга обрезки газовых трубок или деревянные пробки и затем вводят болты в те из них, к-рые соответствуют положению подвешенных балок. Если при бетонировании перекрытий отверстия для заведения болтов не предусмотрены, то прибегают к пробиванию отвердевшего бетона, что является чрезвычайно трудной работой, причем может произойти расстройство бетонной конструкции. Поэтому последующая пробивка отверстий

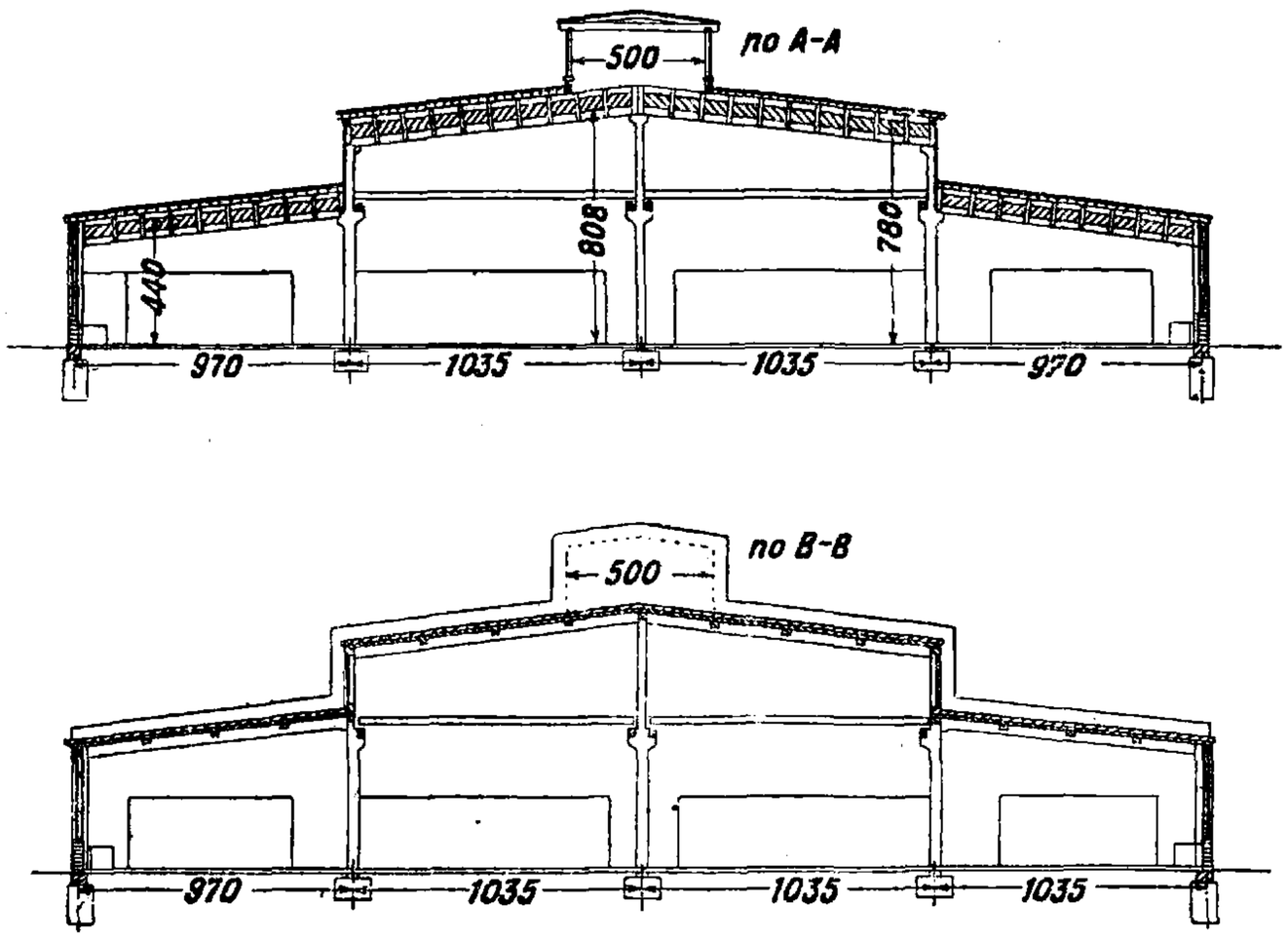

Фиг. 71.



Фиг. 72.

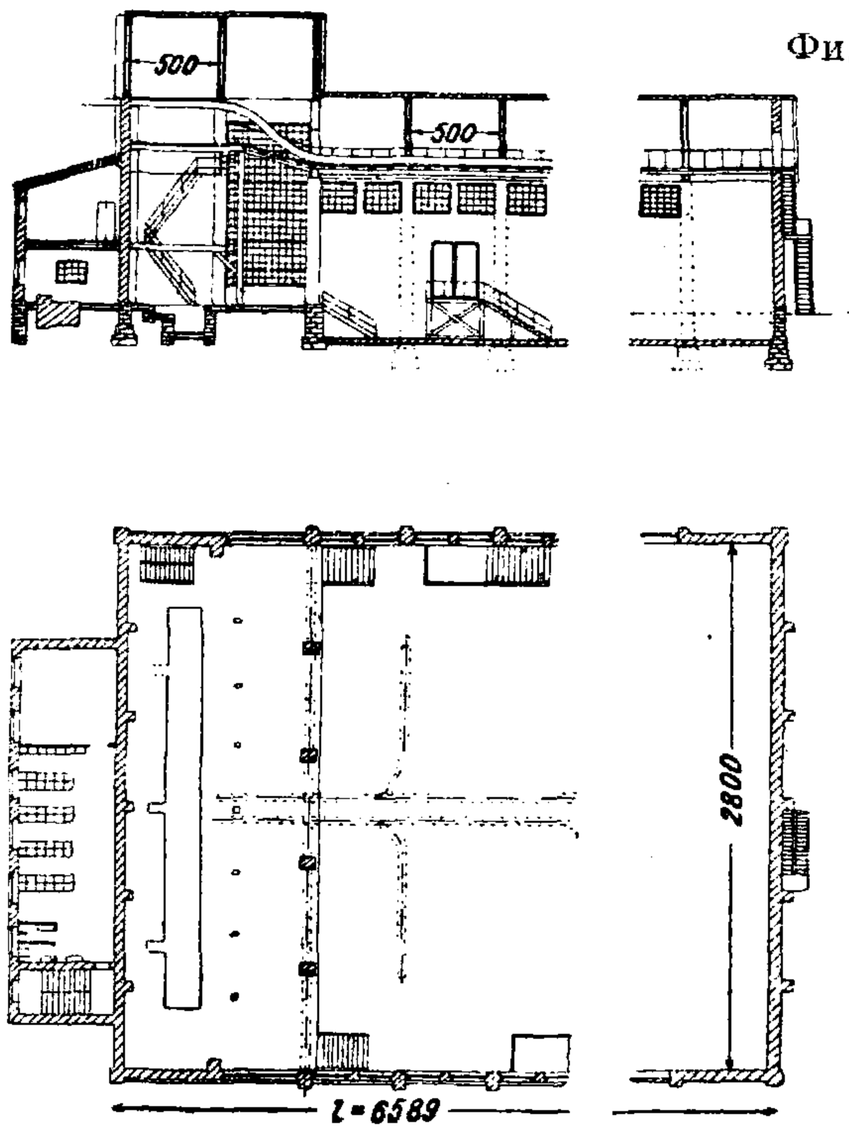


ни в коем случае не может быть рекомендована. На фиг. 69а и 69б представлен коробчатый монорельс из штампованной стали толщиною 1,5—2 *мм*, служащий для перемещения монорельсовых тележек, а на фиг. 70 и 71—способ прикрепления этих монорельсов к деревянным и железобетонным балкам.

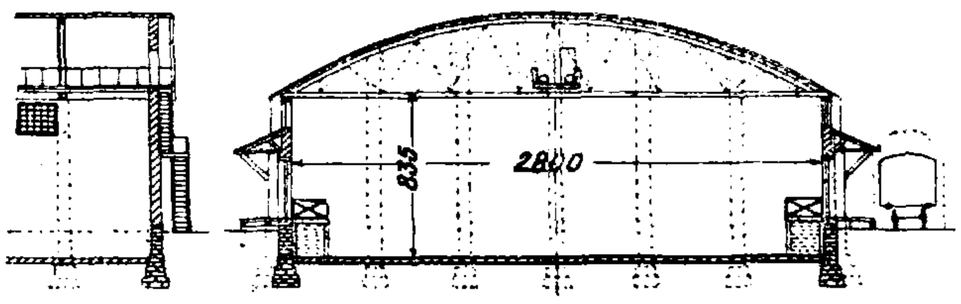


Фиг. 73.

Складочные помещения при ф.-з. предприятиях устраиваются в зависимости от рода хранимых материалов и изделий огнестойкими, несгораемыми или из сгораемых материалов. Деревянные склады имеют большое распространение в различных отраслях промышленности, как напр. для хранения разного рода металлов и металлических изделий, не имеющих большой ценности. Деревянные склады, а также кирпичные или каменные с деревянными кровельными перекрытиями подразделяют брандмауэрными стенами и огнестойкими зонами. Для хранения материалов и изделий, имеющих большую ценность, в особенности легко возгораемых, складочные помещения д. б. устроены в виде несгораемых или огнестойких построек. На фиг. 72 изображен железобетонный склад пеньки из шести отделений по 22 *м* длины, разделенных между собой брандмауэрами. Склад имеет с одной стороны платформу, примыкающую к железнодорожному пути, возвышающуюся над уровнем рельса на 1,2 *м*, а с другой стороны гуже-



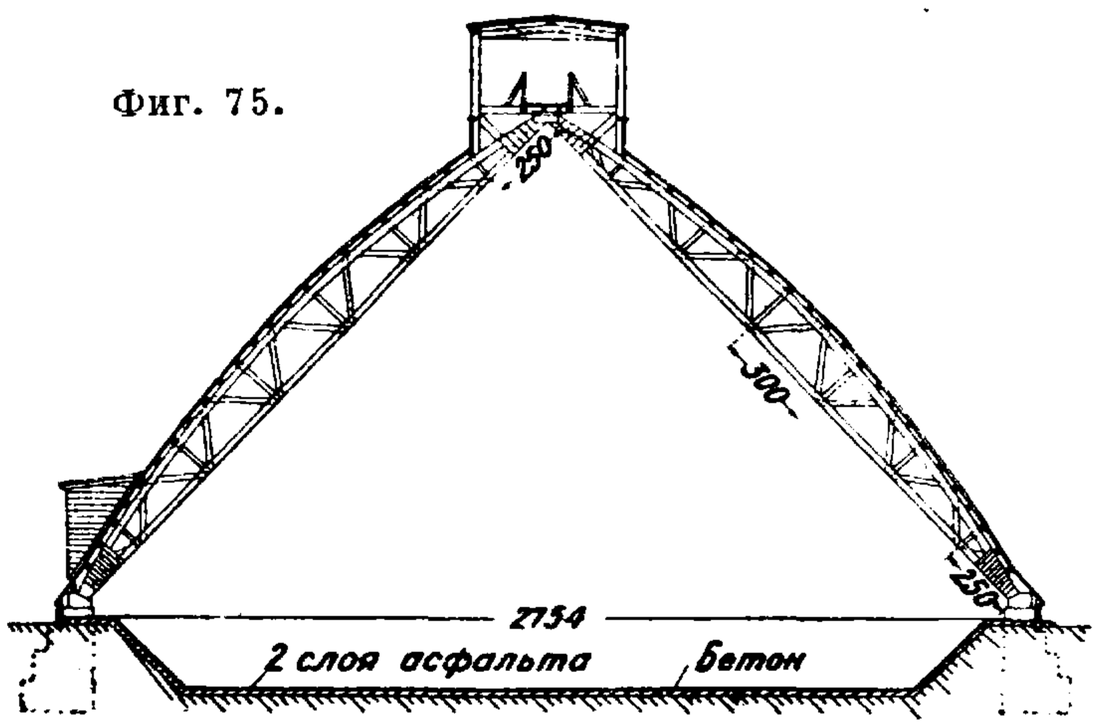
Фиг. 74.



вую платформу высотой 0,55 *м*. В виду значительной ширины склада и недостаточности бокового освещения здание имеет поперечные шедовые фонари, по одному в каждом отделении. Пенька в кипах подвозится из вагона на электрокарах к соответствующему штабелю и электрич. передвижным подъемником поднимается наверх в штабель. На фиг. 73 представлен проект склада частей для автомобилей. Здание одноэтажное, размерами в плане 165,5×40,6 *м*, разделенное в поперечном направлении на 4 пролета: крайние 9,70 *м* и средние повышенные по 10,35 *м*, получающие освещение через сплошной оконный просвет в возвышающейся части продольных стен. Стены состоят из кирпичных несущих столбов размерами 51×38 *см* и промежуточного заполнения шлакобетонными камнями типа «Крестьянин». Промежуточные колонны—железобетонные. Кровельное перекрытие состоит из деревянных досчатых гвоздевых ферм со сплошной стенкой, по к-рым уложены сплошным слоем деревянные бруски толщиной 9 *см*,

сверху покрытые руберойдом по пергамину. Огнестойкие зоны предположено выполнять в виде железобетонных 5-*м* полос по всей ширине здания. Для освещения средней части склада запроектирован продольный фонарь системы Буало. Механизация складочных операций предположена с помощью балочных кранов подъемной силы в 1 *т*. Крановые балки поддерживаются консолями, выпущенными из железобетонных колонн. На фиг. 74 представлен проект склада жома при сахарном з-де, решенный в виде кирпичных стен с деревянными сегментными фермами. Склад имеет длину 65 *м*, ширину 28 *м* и высоту 8,5 *м*. Фиг. 75,

Фиг. 75.



дающая более экономичное решение склада того же назначения, представляет собой трехшарнирную систему, состоящую из двух серповидных ферм с верхним фонарем и углубленным в землю полом, что увеличивает емкость склада без всяких добавочных затрат. Технические показатели для обоих вариантов таковы:

	1 вариант	2 вариант
Полезный объем	11 300 *м*³	11 300 *м*³
Стоимость	208 560 р.	62 000 р.
Стоимость на 1 *м*³ полезного объема	18 р. 45 к.	5 р. 18 к.
Расход цемента	119,6 *т*	31,0 *т*
» кирпича	296 тыс.	33 тыс.
» дерева	310 *м*³	264 *м*³

Сопоставление этих цифр указывает на решительное преимущество второго варианта. По такому же типу сооружаются в США склады хлопка, причем наклонные боковые поверхности этого типа складов следуют направлению угла естественного откоса хлопка, благодаря чему величина бесполезного объема сводится до минимума. По оси такого склада обыкновенно устраивается под полом галлерея, в к-рой движется конвейерная лента, транспортирующая хлопок к торцовому выходу.

Лит.: Гофман В., Фабрично-заводская архитектура, ч. 1—2, Л., 1927—28; Серк Л., Архитектура промышленных зданий, 2 изд., М.—Л., 1928; Мерш Э., Железобетонные сооружения, пер. с нем., М.—Л., 1931; Залигер Р., Железобетон, его расчет и проектирование, пер. с нем., 5 изд., М.—Л., 1931; Общесоюзные стандарты. Единые нормы строительного проектирования. Всесоюзный комитет по стандартизации при Госплане, М., 1931; Штамм Е., Современное промышленное строительство в Америке, М., 1930; Цветаев В., Современная фабрично-заводская архитектура, М.—Л., 1932; Виганд К., Рациональные типы и стандарты фабрично-заводских корпусов и вспомогательных построек, М.—Л., 1931; Капитальное строительство текстильной пром-сти, Сборник проектов НТУ ВСНХ СССР, М., 1929; Серк Л., Санитарно-техническое устройство в промышленных предприятиях, М., 1930; Gregor A., Der praktische Eisenhochbau, B. 1—3, 5 Aufl., B., 1930—31; Beton Kalender 1932, Taschenbuch für Beton- u. Eisenbetonbau, Teil 1—2, B., 1931; Ketchum Milo S., The Design of Steel Mill Buildings, N. Y., 1929. Журналы: «Строительная пром-сть», М.; «Строитель», М.; «Industriebau», B.; «Beton u. Eisen», B.; «Der Bauingenieur», B.; «Die Bautechnik», B.; «Der Stahlbau», Beilage zur Ztschr. «Die Bautechnik», B.; «Ztschr. für Schweisstechnikweldung», Basel; «Bauwelt». B.; «Welding», Pittsburgh, Pa.; «The Welding Engineer», Chicago Ill.; «Engineering News Record», N. Y.; «Civil Engineering», N. Y.; «Engineering a. Contracting», N. Y.; «Construction Methods», N. Y. **Е. Штамм.**

ФАЗА, в широком смысле слова—определенная стадия какого-либо переменного явления. В этом смысле термин применяется в различных отраслях знания, напр. в химии растворов (см. *Правило фаз*), в теории *плавления* (см.), в астрономии (Ф. луны, планет) и т. д. В более узком смысле термин Ф. применяется в теории колебаний, причем Ф. гармонич. колебательного движения точки называется линейная, 1-й степени ф-ия от времени t, синус или косинус к-рой пропорционален расстоянию от данного положения точки до равновесного ее положения (см. *Колебательное движение*). Если обозначить последнее расстояние через x, амплитуду колебания через a, промежуток времени, истекший от начального до данного момента, через t, то гармонич. синусоидальное колебательное движение будет аналитически выражено равенством:

$$x = a \sin (kt + \alpha_0). \qquad (1)$$

Выражение

$$\alpha = kt + \alpha_0, \qquad (2)$$

где k и α_0—нек-рые определенные постоянные, и будет Ф. колебательного движения в момент t. Из вышесказанного следует, что каждому моментv времени t соответствует своя определенная Ф. При $t = 0$ Ф. $\alpha = \alpha_0$, поэтому α называется начальной Ф. Т. к. полный период T колебания равен

$$T = \frac{2\pi}{k}, \qquad (3)$$

а частота ν колебания, т. е. число полных колебаний, совершаемых в единицу времени, равна

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{k}{2\pi}, \qquad (4)$$

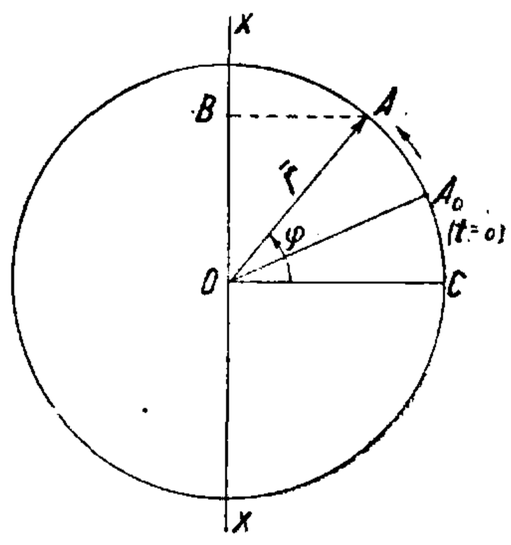
то Ф. колебания в момент t м. б. представлена еще и сл. обр.:

$$\alpha = \frac{2\pi}{T} t + \alpha_0, \qquad (5)$$

или

$$\alpha = 2\pi\nu t + \alpha_0. \qquad (6)$$

Изменение Ф. на величину $\pm 2n\pi$, где n—целое число, не изменяет ни положения точки ни направления ее движения. Поэтому Ф., отличающиеся друг от друга на $\pm 2n\pi$, часто считаются за одинаковые Ф. Фазы, отличающиеся на $\pm(2n \pm 1)\pi$, дают противоположные Ф.



Фиг. 1.

Графически Ф. гармонич. колебания м. б. представлена сл. обр.: пусть имеется точка, перемещающаяся по окружности радиуса r с постоянной *угловой скоростью* (см.) ω. Допустим, что начало отсчета дуговых расстояний находится в точке C (фиг. 1), а начальное положение движущейся точки в A_0. Если в момент t точка находится в положении A, то дуга AC, или соответствующий центральный угол, будет

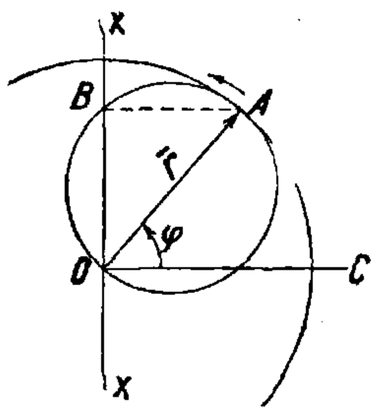
$$\varphi = \omega t + \varphi_0, \qquad (7)$$

где $\varphi_0 = \angle A_0OC$. Спроектируем точку A на прямую xx, проходящую через центр окружности

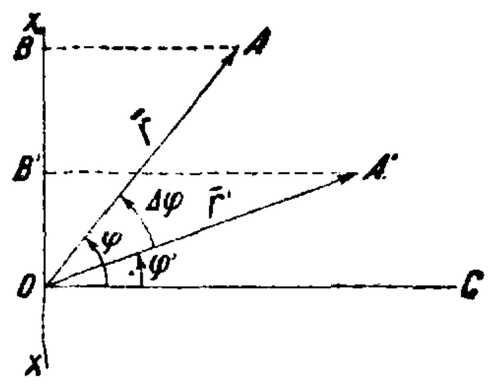
O перпендикулярно к OC. Проекция B точки A будет находиться от O на расстоянии

$$OB = x = r \sin \varphi\,(\omega t + \varphi_0). \qquad (8)$$

Сопоставляя (8) и (1), видим, что точка B будет совершать по прямой x гармонич. колебание с частотой $\nu = \frac{\omega}{2\pi}$. Ф. колебания точки B в момент t будет определяться равенством (7), т. е. углом AOC. Вместо точки A, движущейся по окружности, можно представить себе, что радиус-вектор $\bar{r} = \overline{OA}$ вращается равномерно около своего начала O и проектируется на неподвижную прямую xx. Угол, образованный прямой OC, перпендикулярной к прямой xx, и данным положением радиуса-вектора, и будет представлять собой Ф. в момент t. Вместо радиуса-вектора r можно взять также окружность с диаметром AO (фиг. 2), к-рая очевидно



Фиг. 2.



Фиг. 3.

будет проходить через B. Если вращать эту окружность с угловой скоростью ω около точки O, то она будет пересекать неподвижную прямую xx в точке B, к-рая будет совершать гармонич. колебание; угол, образованный диаметром этой окружности с прямой OC, и будет графически представлять собой Ф. колебания точки B. Можно наконец окружность диаметра $AO = r$ закрепить, а вращать прямую xx в противоположном направлении; результаты получаются те же. Пусть имеются две точки B и B', к-рые совершают два гармонич. колебательных движения, определяемых ур-ниями:

$$x = r \sin(\omega t + \varphi_0), \qquad (9)$$

$$x' = r' \sin(\omega' t + \varphi_0'). \qquad (10)$$

Ф. колебания этих двух точек в один и тот же момент t будут соответственно равны:

$$\varphi = \omega t + \varphi_0, \qquad (11)$$

$$\varphi' = \omega' t + \varphi_0'. \qquad (12)$$

Абсолютно значение разности Ф. φ и φ' в один и тот же момент называется сдвигом Ф. в тот же момент. Т. о. сдвиг Ф. $|\Delta\varphi|$ в момент t колебаний (11) и (12) будет равен:

$$|\Delta\varphi| = |\varphi - \varphi'| = |(\omega t + \varphi_0) - (\omega' t + \varphi_0')|. \qquad (13)$$

Из (13) видно, что в общем случае сдвиг Ф. колебательных движений изменяется с течением времени. Если в частности оба колебательных движения имеют одну и ту же частоту, то $\omega = \omega'$, и в этом случае имеем из (13)

$$|\Delta\varphi| = |\varphi_0 - \varphi_0'| = \text{Const}, \qquad (14)$$

т. е. если два гармонич. колебательных движения происходят с одной и той же частотой, то сдвиг Ф. есть величина постоянная, равная начальному сдвигу Ф. Графически сдвиг Ф. представлен очевидно углом между радиусами-векторами $\bar{r} = \overline{OA}$ и $\bar{r}' = \overline{OA'}$, осуществляющими своими проекциями на прямую xx при вращении около O данные гармонич. колебания (фиг. 3). Если взять две декартовы оси координат и по оси абсцисс откладывать значения отрезков времени t, а по оси ординат расстояния x, то гармонические колебательные движения (9) и (10) будут представлены синусоидальными кривыми $C_0C_1C_2C_3\ldots$ и $C_0'C_1'C_2'C_3'\ldots$ (фиг. 4). При точке C_1 $x = 0$, т. ч. $OC_1 = t_1$ определяется из равенства

$$\sin(\omega t_1 + \varphi_0) = 0, \qquad (15)$$

откуда $t_1 = -\frac{\varphi_0}{\omega}$. Аналогичным образом имеем для отрезка $OC_1' = t_1'$ величину $t_1' = -\frac{\varphi_0'}{\omega'}$, откуда

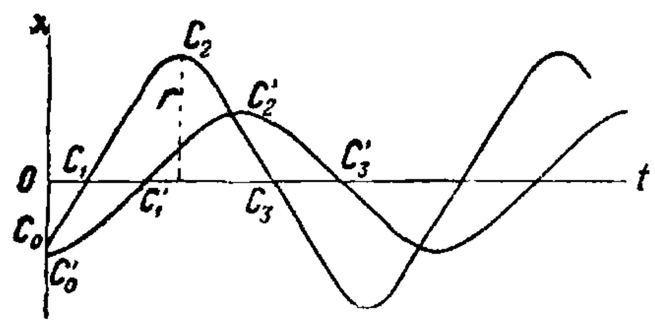
$$C_1C_1' = t_1' - t_1 = \frac{\varphi_0}{\omega} - \frac{\varphi_0'}{\omega'}. \qquad (16)$$

В частности, если оба колебания происходят с одной и той же частотой, то $\omega = \omega'$, и в этом случае имеем

$$C_1C_1' = \frac{\varphi_0 - \varphi_0'}{\omega}. \qquad (17)$$

Из (17) видно, что в рассматриваемом частном случае отрезок C_1C_1' пропорционален сдвигу Ф. $\Delta\varphi$ и при соответствующем выборе масштаба м. б. взят в качестве величины, определяющей сдвиг Ф.

В нек-рых отделах теоретич. физики термину Ф. придается часто несколько более общее понятие, чем указанное выше, что имеет место напр. в теории колебания струны. Если струна, закрепленная своими концами, совершает плоское движение, то смещение v в момент t точки, находящейся на расстоянии x от точки закрепления, определяется ф-лой:



Фиг. 4.

$$v = \sum_{n=1}^{n=\infty} C_n \cos\left[\left(\frac{t}{T_n} + \frac{x}{\lambda}\right) 2\pi + \theta_n\right] - \sum_{n=1}^{n=\infty} C_n \cos\left[\left(\frac{t}{T_n} - \frac{x}{\lambda}\right) 2\pi + \theta_n\right], \qquad (18)$$

причем правая часть последнего равенства представляет собой совокупность бесконечного множества попарно равных, противоположных, чисто периодических, т. н. парциальных, волн с периодами, равными T_n, и длинами, равными λ_n. Выражения в квадратных скобках называются Ф. колебания соответствующих парциальных волн, а постоянные величины θ_n называются фазовыми постоянными данного плоского колебания струны.

Сказанное выше о соотношениях между величинами x и t, предопределяющими собой понятие Ф., справедливо также и для аналогичных соотношений между любыми другими величинами, что бы собой эти величины ни представляли, напр. сила тока, напряжение поля и т. п. (см. *Сдвиг фаз*).

Лит.: Хвольсон О., Курс физики, т. 1, Берлин, 1923; Эйхенвальд А., Теоретическая физика, ч. 2, М.—Л., 1932.

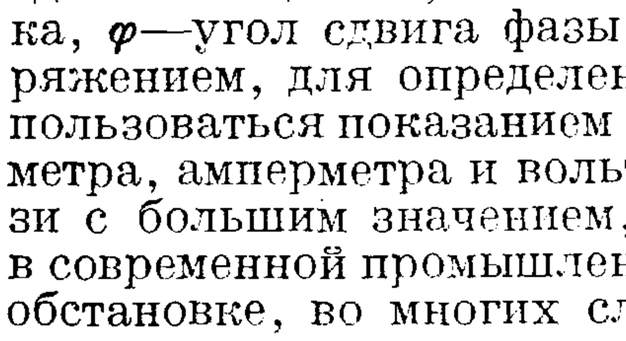
М. Серебренников.

ФАЗОМЕТР, электротехнич. измерительный прибор, служащий для непосредственного измерения угла *сдвига фазы* (см.) между двумя периодич. электрич. величинами. Преимущественно применяется для измерения сдвига фазы между током и напряжением цепи, а также и для измерения *коэфициента мощности* (см.). Фазометр состоит из одной или двух последовательно соединенных неподвижных катушек

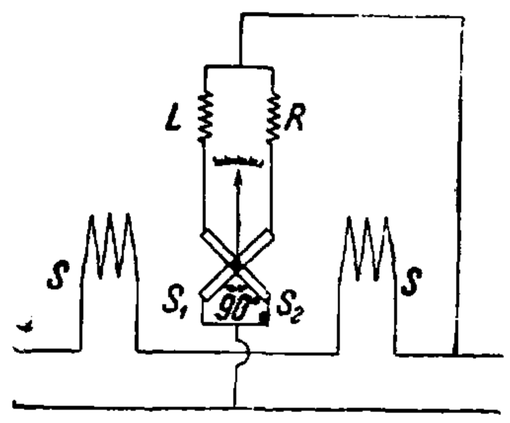
S (фиг. 1) и двух подвижных катушек S_1 и S_2, скрепленных между собой под углом в 90°. Подвижные катушки включаются параллельно, причем в цепь одной из них включают безиндукционное сопротивление, а в цепь другой—индукционное (реактивную катушку), подобранное так, что токи в подвижных катушках сдвинуты по фазе на угол в 90° (разнятся на четверть периода). Теория Ф. сводится к тому, что угол поворота α подвижной системы прибора (фиг. 1) является ф-ией сдвига фазы φ между током и напряжением, что дает возможность проградуировать соответствующим образом шкалу прибора или в делениях угла сдвига фазы φ или в делениях коэф-та мощности цепи $\cos\varphi$. Основываясь на соотношении

$$P = VI\cos\varphi;$$

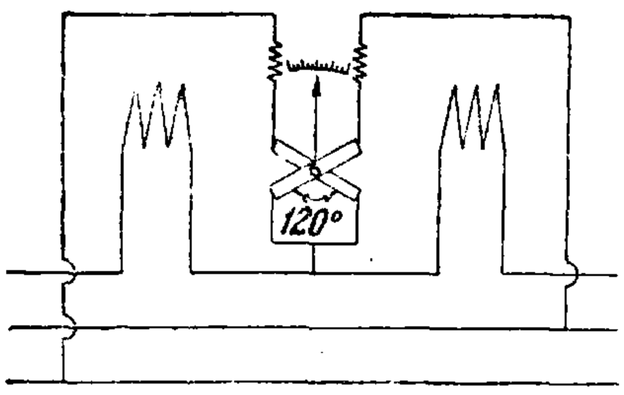
где P—мощность, V—напряжение, I—сила тока, φ—угол сдвига фазы между током и напряжением, для определения $\cos\varphi$ можно воспользоваться показанием трех приборов—ваттметра, амперметра и вольтметра; однако в связи с большим значением, которое имеет $\cos\varphi$ в современной промышленной и экономической обстановке, во многих случаях весьма важно следить по измерительному прибору за изменением фазы между током и напряжением. Таким прибором и является Ф., хотя точность его показаний не велика. Различают Ф. однофазного и трехфазного токов. Схема технич. электродинамич. Ф. однофазного тока дана на фиг. 2, где S—неподвижная, состоящая из двух частей катушка, S_1 и S_2—подвижные катушки, скрепленные под углом в 90°, L—индукционное, R — безиндукционное сопротивления. Подбирая соответственным образом сопротивления L и R, можно добиться, чтобы сдвиг фазы между токами I_1 и I_2 в катушках S_1 и S_2 был весьма близок к 90°. В таком случае показания прибора будут пропорциональны углу сдвига фазы, а также и $\cos\varphi$. Фирма H. & B. и другие строят Ф., подвижная система к-рых может вращаться на угол в 360° и указывать всевозможные комбинации фаз для данной системы: генерирование как отстающего, так и упреждающего токов, потребление как отстающего, так и упреждающего токов. Ф. трехфазного тока служит для измерения угла сдвига фазы только в равномерно нагруженной трехфазной сети. По устройству он почти одинаков с однофазным Ф., отсутствует лишь безиндукционное сопротивление, а угол между подвижными катушками равен 120° (фиг. 3).



Фиг. 1.



Фиг. 2.



Фиг. 3.

Показания Ф. зависят от частоты переменного тока, вследствие чего в нек-рых типах Ф. делают приспособления, позволяющие изменять общее сопротивление той ветви, в к-рую включено индукционное сопротивление, чтобы сохранить сопротивление этой ветви неизменным. Изменение $t°$ не оказывает практически влияния на показания Ф. Что касается зависимости показаний Ф. от внешних магнитных полей, то эта зависимость такая же, как у электродинамич. и ферродинамич. приборов. Погрешность в показаниях фазометра около 1° по его градусной шкале. Средний расход энергии ~6—7 W.

Лит.: Ермаков В., Основы электрометрии, ч. 1, М.—Л., 1927; Базилевич В., Электротехнич. измерения и приборы, Л., 1929; СЭТ, Справочная книга для электротехников, т. 1, Л., 1927 (библиография); Свирский Е., Электрич. и магнитные измерения, Л., 1932 (литографир.); Грун К., Лабораторные измерения по электротехнике, пер. с нем., 2 изд., Л.—М., 1932; Gruhn K., Elektrotechnische Messinstrumente, 2 Aufl., B., 1932.

И. Мельников.

ФАЙ, шелковая ткань репсового переплетения, благодаря которому на правой (лицевой) и левой (изнаночной) сторонах ткани образуются характерные бороздки, идущие преимущественно поперек ткани. Ткань вырабатывается шириною примерно 90—102 *см* и образуется из блестящих тонких нитей основы (органсин 20—26 денье), причем плотность по основе берется возможно бóльшая, примерно 214 нитей на *см* и более толстого утка (трам 26—32 денье), при плотности примерно 44 нити на *см*, который прокидывается по две и более (4) нитей в каждый зев. Т. о. уток образует соответствующей величины бороздки (рубчики), а основа перекрывает эти бороздки сплошным настилом, скрывая уток, вследствие чего ткань на двух своих сторонах получает бороздчатый вид. В зависимости от сорта и назначения Ф. имеет разновидности как по плотности ткани, ее весу, величине рубчиков, так и по роду материала (пряжи-утка), к-рый м. б. и бумажным. Ф. выпускается гладко окрашенным в различные цвета.

С. Молчанов.

ФАЙОЛИЗМ, см. *Труд.*

ФАКТИС, вулканизованное высыхающее или полувысыхающее масло (суренное, рапсовое, льняное, касторовое, хлопковое, подсолнечное, рыбий жир и т. д.), применяется как составная часть в резиновых смесях. Масло для Ф. должно быть свободно от слизи, белковых веществ и т. п., т. е. хорошо отстоявшееся (отстой в продолжение 48 ч. не более 2%) и малокислотное (коэф. кислотности не более 3). Для получения хорошего качества Ф. масло предварительно подвергают продувке воздухом в особых котлах, при этом уд. в. масла доводят до 0,930 (не выше). Ф. бывает темный (черный) и светлый (белый).

Темный Ф. изготовляют путем нагревания масла с порошкообразной серой в котле с паровой рубашкой и мешалкой. Сначала масло прогревают до полного удаления из него влаги, затем прибавляют небольшими порциями серу, всего 15÷20% от веса масла; сера растворяется и при $t° \sim 160°$ соединяется с маслом химически с выделением при этом тепла; при 190° начинается выделение сероводорода. По получении достаточно вязкой (и прозрачной при пробе на стекле) массы процесс заканчивается.

Светлый Ф. изготовляют путем постепенного прибавления при нормальной $t°$ к предварительно обезвоженному маслу (лучше всего суренному) разбавленной полухлористой серы S_2Cl_2 в чугунном эмалированном котле с мешалкой. Реакция идет с выделением значительного количества тепла, поэтому котел

необходимо охлаждать водой, не давая $t°$ подняться выше 70°; тогда получается Ф. хорошего светлого оттенка. Даже при совершенно обезвоженном масле во время реакции с S_2Cl_2 все же выделяется некоторое количество хлористого водорода HCl, сернистого газа SO_2 и неразложившейся S_2Cl_2. Пары эти удаляют через колонку с известью или другим подходящим поглотителем. Для нейтрализации HCl и для большей равномерности реакции прибавляют немного углекислого магния или аммония. Для отбелки Ф. выставляют на солнце; при этом Ф. посыпают мелом или магнезией для поглощения остатков HCl.

Фактис является мягчителем резиновых смесей и облегчает каландрирование, шприцевание (см. *Резиновое производство*) и формовку, уменьшая при этом усадку; прибавляют его вслед за пластикацией каучука перед введением прочих ингредиентов. Большое содержание Ф. в резиновых изделиях заметно понижает прочность резины. Светлый Ф. парализует действие большинства ускорителей, сильно понижая их активность, и задерживает вулканизацию (вследствие выделения HCl) и в том случае, когда вулканизация ведется без ускорителей. Задерживающее действие темного Ф. на органич. ускорители слабее, чем светлого. В прорезиненных тканях Ф. сообщает резиновому слою бóльшую гладкость и бархатистость: фактис улучшает рабочие свойства клеев для шпредирования (намазки), понижает необходимое количество растворителя. Обычно в прорезиненных тканях и пр. применяется темный Ф., в особенности для темноокрашенных изделий или для дублированных тканей (дубле) и при горячей вулканизации. Светлый Ф. идет при прорезинивании подстилочного полотна (постельной клеенки) и других светлых сортов прорезиненных тканей и в особенности при холодной вулканизации. Особый сорт светлого Ф. применяется в производстве стирательной резины для чернил; в этих изделиях Ф. полностью заменяет каучук. Главная причина мягчащего действия Ф. заключается в масле, оставшемся не вулканизованным. Чрезмерное содержание в Ф. свободного масла задерживает вулканизацию и содействует старению резины. Свободное масло определяется экстрагированием ацетоном, напр. в аппарате Сокслета или Шидровица. Золотистая флуоресценция Ф. характеризует наличие примеси минерального масла. Горячим ацетоном извлекается также и свободная сера, содержание к-рой не должно превышать в светлом Ф. 0,5%, в темном—3%. Зола при определении Ф. указывает на наличие в Ф. минеральных примесей; их д. б. не больше, чем это необходимо для нейтрализации выделяющегося HCl. В резиновых изделиях Ф. определяется из экстракта спиртовым раствором едкого кали.

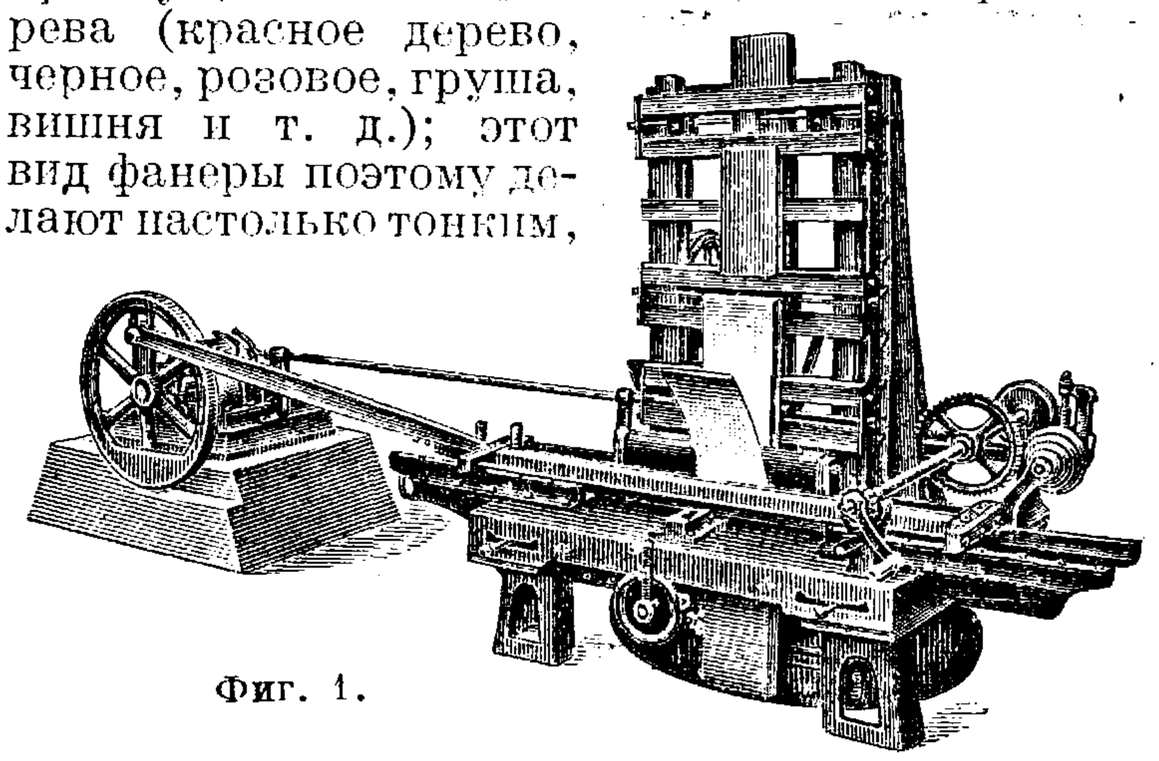
Лит.: Спутник резинщика, ч. 1, Л., 1932; Б у ш т у е в А., О примесях резины и составлении рецептов, М.—Л., 1933; Ингредиенты резиновых смесей, вып. 3, М., 1932; Д о г а д к и н Б. и М а р г о л и н а Ю., Действие электролитов на льняное масло в процессе получения фактиса по Ауэру, «Ж. рез. пром.», М., 1931, *10*, стр. 152—158; Ф а б р и ц и е в Б. и З а с т е н к е р Р., Изучение газов, выделяющихся при варке черного фактиса, там же, 1932, *1*, стр. 46—48; Стандартизация упаковки фактисов, там же, 1928, *8*, стр. 435; D u b o s c A., Les caoutchoucs factices ou huils vulcanisées, Paris, 1926.

М. Лурье.

ФАЛЬЦЕВАЛЬНАЯ МАШИНА, см. *Брошировальная машина.*

ФАНЕРНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, изготовление из дерева тонких пластин и досок, служащих как в качестве самостоятельного строительного материала (клееная фанера), так и для обклеивания поверхности столярных изделий с целью улучшения их внешнего вида. В настоящее время получение фанеры производится тремя способами: 1) отпиливанием от кряжа специальными пилами (п и л е н а я ф а н е р а); 2) срезанием фанеры с кряжа в виде стружки прямыми ножами, укрепленными на прямолинейно двигающемся взад и вперед супорте фанерно-строгальной машины (с т р о г а н а я ф а н е р а); 3) разворачиванием кряжа по окружности, причем фанера снимается с поверхности вращающегося кряжа широким ножом по спирали в виде длинной ленты, подобно сниманию стружки на токарном станке (л у щ е н а я ф а н е р а). Каждый из вышеуказанных способов имеет свои положительные и отрицательные стороны.

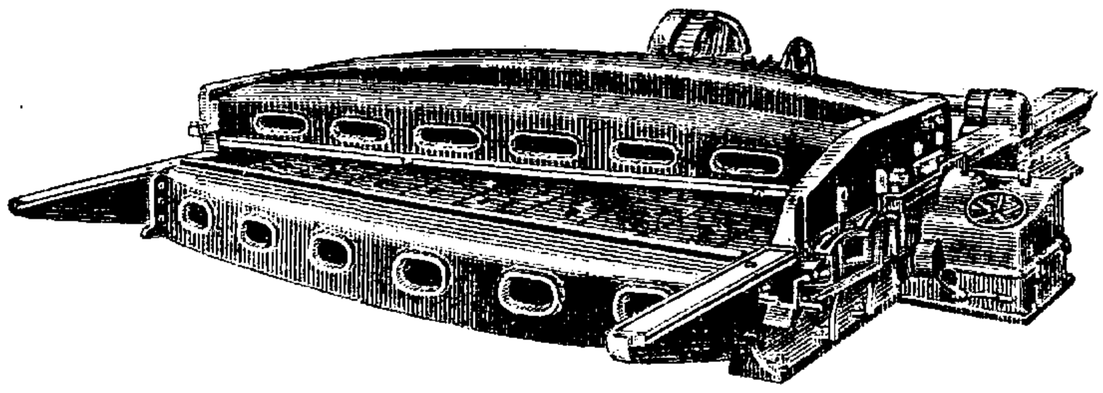
Пиленая фанера предназначается обычно для оклейки столярных изделий и готовится преимущественно из очень ценных пород дерева (красное дерево, черное, розовое, груша, вишня и т. д.); этот вид фанеры поэтому делают настолько тонким,



Фиг. 1.

насколько это допускается крепостью ее. Этот способ невыгоден в том отношении, что значительная часть ценной древесины теряется в виде опилок, но все же им приходится пользоваться потому, что для оклейки фанерою больших поверхностей, напр. мебели, нужно выдержать рисунок дерева и многократное его повторение. Если же, как это всегда бывает, в кряже рисунок меняется, то однообразия его можно достигнуть только отпиливанием тонких слоев фанеры. Минимальная толщина фанерного листа, снимаемого по этому способу, 0,8 *мм*, обычно 0,9 *мм* при максимальной ширине листа 450—500 *мм*. Средняя производительность станка 5 500 $м^2$ в 8-час. рабочий день. Фанерный пильный станок изображен на фиг. 1.

Строганая фанера получается на строгальных станках (фиг. 2). Из дерева, предварительно распиленного в четверть, строганием получается самая красивая и тонкая фанера. Этот способ, значительно менее производительный, чем лущильный, постепенно отживает свой век. По этому способу получается фанера толщиною до 0,28 *мм* при минимальной ширине листа в 600 *мм*. Отбросы при этом весьма



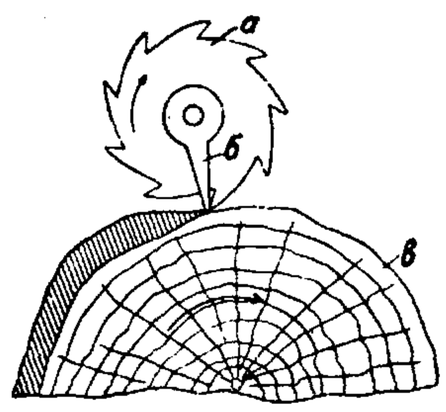
Фиг. 2.

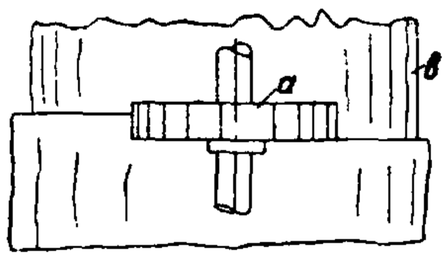
незначительны. Дерево для обработки укрепляется на подвижной вертикальной платформе, к-рая медленно движется в вертикальной плоскости. Ножевая платформа имеет поступательно-возвратное движение. Средняя производительность станка ок. 40 000 *м*² в 8-часовой рабочий день (до 136 резов в мин.). Благодаря большому трению, развивающемуся в работе, выделяется много тепла, нож и направляющий аппарат нагреваются и неравномерно расширяются, вследствие чего получается большое количество брака.

Последний из указанных способов, дающий возможность получения фанеры путем развертывания кряжей на лущильных станках несмотря на то, что при этом, во-первых, теряется возможность получать фанеру с симметричным рисунком, во-вторых, средняя часть кряжа остается неразработанной и весь отход составляет ок. 60%, в настоящее время является наиболее общеупотребительным. По этому способу можно получить фанеру в виде длинной ленты шириною до 3 *м*, в зависимости от размеров станка, и любой толщины (для твердых пород от 0,18 *мм*, для мягких—от 0,75 *мм*). Недостатком лущильного способа является то, что получаемая фанера не имеет красивого вида, т. к. те элементы, к-рые придают древесине наибольшую красоту—сердцевинные лучи, сосуды, неравномерная плотность, окраска осенней и весенней зоны кольца,—перерезываются по наименее выгодному направлению.

Лучшие сорта фанеры идут на изготовление мебели, отделку вагонов и т. д., т. е. во всех тех случаях, когда изделию из простого и дешевого дерева хотят придать более красивый и дорогой вид. Бóльшая же часть фанеры идет на изготовление многослойной клееной фанеры, т. н. переклейки; последнюю в настоящее время употребляют, покрывая в случае надобности одну или обе внешние поверхности строганой или пиленой фанерой из какого-либо красивого дерева, во всех отраслях пром-сти (авиация, мебельное производство, тара, строительство и т. д.). Т. к. в переклейке внешняя красота отступает на задний план, то ее обычно изготовляют из лущеной фанеры.

Изготовление фанеры склеиванием из нескольких нечетных слоев значительно увеличивает ее прочность, которая определяется гл. обр. способностью древесины оказывать сопротивление растягивающим и срезывающим усилиям, а также ее модулем упругости. В связи с тем, что крепость на растяжение вдоль волокон (по данным Forest Products Laboratory, Мэдисон, США) до 20 раз выше, чем поперек их, и что модуль упругости в первом случае также в 15—20 раз больше, а прочность на срезывание, наоборот, перпендикулярно волокнам значительно больше, чем вдоль, необходимо искусственно парализовать этот недостаток древесины и придавать готовой фанере возможно однородную сопротивляемость по всем направлениям. Путем перекрестного расположения волокон в переклейке удается избежать этих дефектов и уравнять свойства древесины в обоих направлениях—как вдоль, так и поперек. Кроме того т. к. древесина не усыхает по длине волокон, а усушка идет по ширине и толщине листа, то вследствие крестообразного расположения направления волокон в переклейке деформация одного листа под влиянием изменения климатич. условий парализуется другим листом, перпендикулярно к нему приклеенным. Отсюда следует, что чем больше слоев у переклейки при данной толщине, тем она однороднее в смысле сопротивления растяжению и срезу в обоих направлениях, и что в пределе ее сопротивление равно среднему значению сопротивлений такого же рода усилиям, действующим на цельную доску такой же толщины и из того же дерева в обоих направлениях. Кроме того перекрестное расположение многих слоев предохраняет фанеру от коробления и ослабляет опасность пострадать от раскалывания. Клей в переклейке, состоящей из многих тонких слоев, сохраняет свою силу лучше, чем в толстых слоях, и потому при колебаниях влажности многослойная переклейка лучше сохраняется, чем малослойная. Но, с другой стороны, переклейка, составленная из большого числа тонких слоев, не м. б. так прочна по направлению волокон, как трехслойная фанера, у к-рой два внешних (наружных) слоя м. б. расположены волокнами по направлению действующих сил и лишь один внутренний перпендикулярно к ним. Из этого следует, что трехслойная фанера наиболее пригодна для ящичного производства, где все внимание обращено главным образом на крепость древесины в одном определенном направлении; для столярно-мебельного производства предпочтительнее многослойная фанера, так как у нее сопротивление одинаково по двум направлениям и кроме того в ней лучше удерживаются шурупы и гвозди, не раскалывая ее. Гибкость фанеры при ее значительно большей крепости и устойчивости по сравнению с тесом имеет чрезвычайно важное значение, в особенности в тарном деле, т. к. в тех случаях, когда под влиянием удара груз упирается в одну из стенок тары, фанера, изгибаясь, уменьшает силу удара.



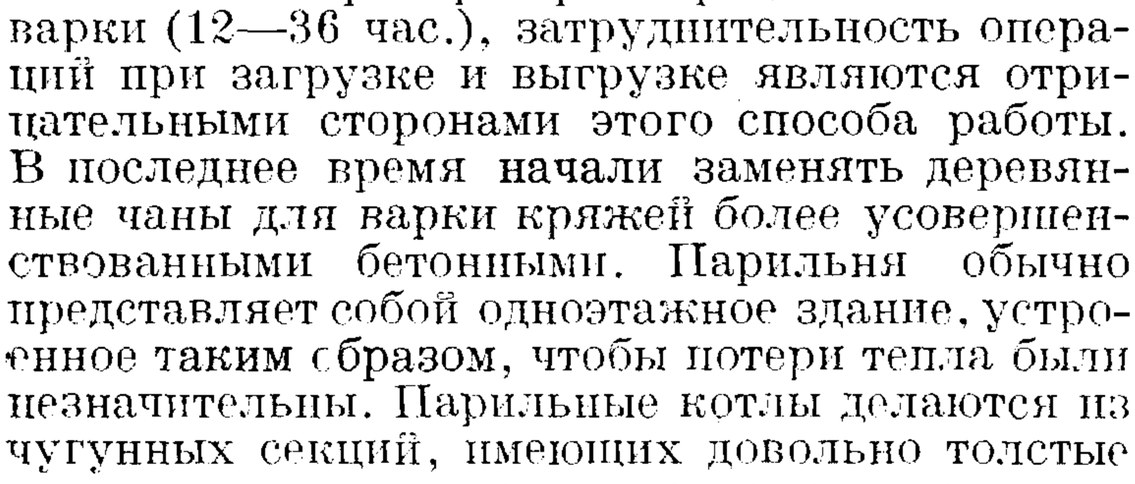


Фиг. 3.

В связи с вышеуказанным к изготовлению переклейки предъявляют следующие требования: 1) плоскость симметрии должна проходить по цельной древесине (шпоне), а не по линии склейки; 2) от плоскости симметрии по ту и другую сторону должно находиться одинаковое количество слоев шпона, в противном случае вся переклейка покоробится (поэтому общее число слоев шпона в переклейке всегда д. б. нечетным); 3) толщина отдельных листов шпона м. б. разной, но во всяком случае толщина листов, находящихся попарно на равном расстоянии от оси симметрии, д. б. одинакова, и они д. б. изготовлены из одной и той же породы древесины, в противном случае возможна деформация переклейки; 4) волокна двух соприкасающихся соседних листов шпона должны иметь строго перпендикулярное направление. Изготовленная т. о. переклейка имеет весьма ничтожную усушку, обладает одинаковым сопротивлением срезу и растяжению, т. е. придает изделию однородное сопротивление вне зависимости от направления волокон верхнего слоя.

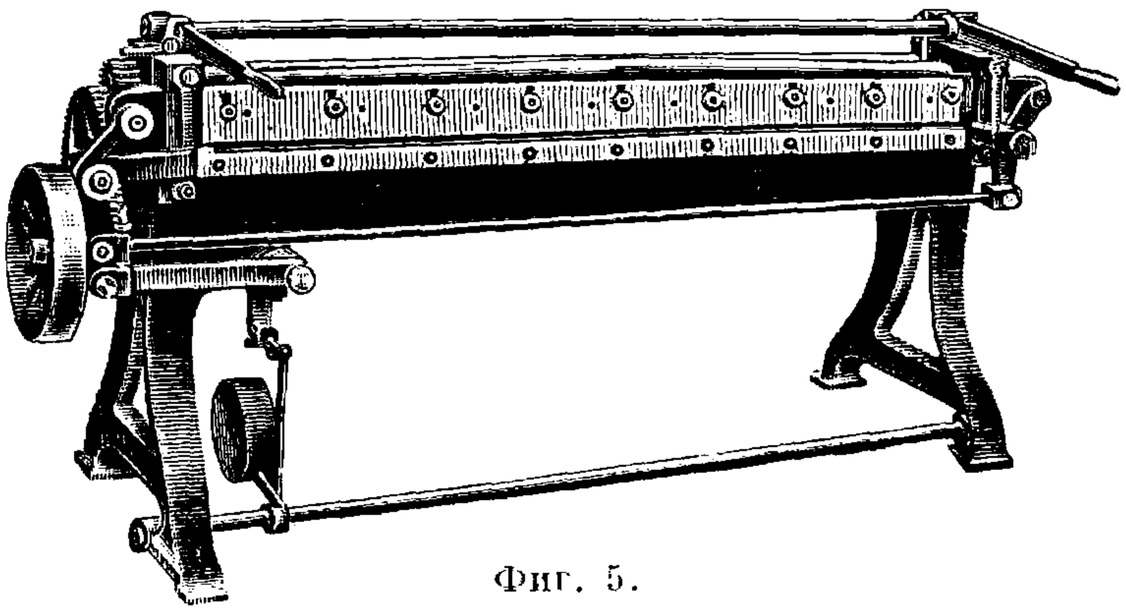
Промышленное производство переклейки (фанеры) путем разворачивания кряжей на лущильных станках сводится к следующим операциям. 1) Специальными фре-

зами бревна очищают предварительно от коры. Фрезы (фиг. 3) устраивают в виде тонких дисков *а*, снимающих одну только кору узкими полосами и не захватывающих древесину, для этого на валу фрезы укреплен нож *б*, который прокалывает кору, но задерживается более твердой древесиной и определяет т. о. глубину врезания фрезы. Кряж *в* вращается по направлению стрелки. 2) После очистки кряжи распиливаются на кругляки (ч у р а к и) определенной длины (от 1 до 2 *м*) либо на обыкновенных круглопильных станках (см. *Деревообделочные станки*) либо специальными паровыми пилами. Паровой пильный станок состоит из длинного узкого парового цилиндра, помещенного на легкой железной или чугунной раме. Цилиндр качается на двух цапфах в вертикальной плоскости. Длинными крючьями, вгоняемыми в бревно, станок удерживается во время работы в требуемом положении. Шток поршня непосредственно соединен с пилой, к-рая получает от него переменно-возвратное поступательное движение. 3) Следующая важная операция — в а р к а или п р о п а р к а. Распиленные кряжи на вагонетках доставляют в парильню, где их пропаривают отработанным паром или проваривают в горячей воде, все время подогреваемой змеевиковой паровой трубой. Качество фанеры при варке несравненно лучше, чем при пропарке, в особенности это относится к ценным породам, где изменение цвета древесины влечет за собой брак фанеры. Продолжительность варки (12—36 час.), затруднительность операций при загрузке и выгрузке являются отрицательными сторонами этого способа работы. В последнее время начали заменять деревянные чаны для варки кряжей более усовершенствованными бетонными. Парильня обычно представляет собой одноэтажное здание, устроенное таким образом, чтобы потери тепла были незначительны. Парильные котлы делаются из чугунных секций, имеющих довольно толстые стенки; хотя стоимость их весьма высока, все же они применяются значительно чаще, чем более дешевые железные, т. к. последние быстро разъедаются выделяющимися из древесины к-тами. Железными котлами можно пользоваться только при небольшом давлении до 2 *atm* и быстрой пропарке в 3—4 часа, когда дерево еще не успевает разложиться. 4) Пропаренные чураки передаются на лущильный станок (фиг. 4), представляющий собой род



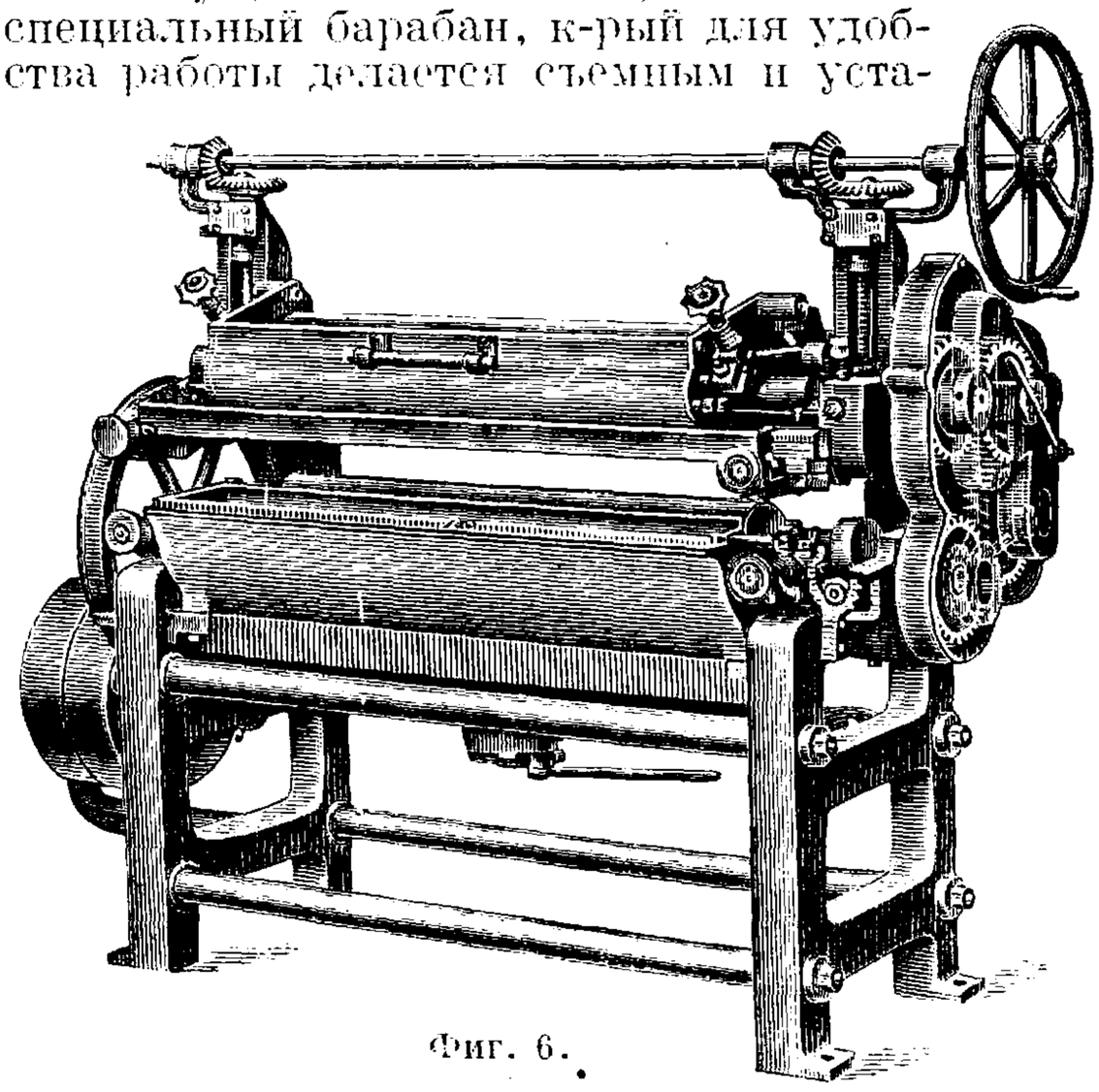
Фиг. 4.

токарного станка с поперечным самоходным супортом, на к-ром укреплен лущильный нож. В зависимости от диаметра чурака и толщины снимаемой фанеры получается лента длиною в 20 *м* и более. Обычно имеются две скорости подачи: одна для предварительной обдирки чураков, а другая для чистой работы по лущению, причем перемена скоростей производится без остановки станка. 5) Полученные ленты направляются к ножницам (фиг. 5), где и нарезаются на листы стандартных размеров в зависимости от размеров прессов. Существующие в Европе и США автоматич. ножи для нарезки фанеры у нас в СССР еще мало привились по специфич. условиям: эти станки могут работать только в то время, когда про-



Фиг. 5.

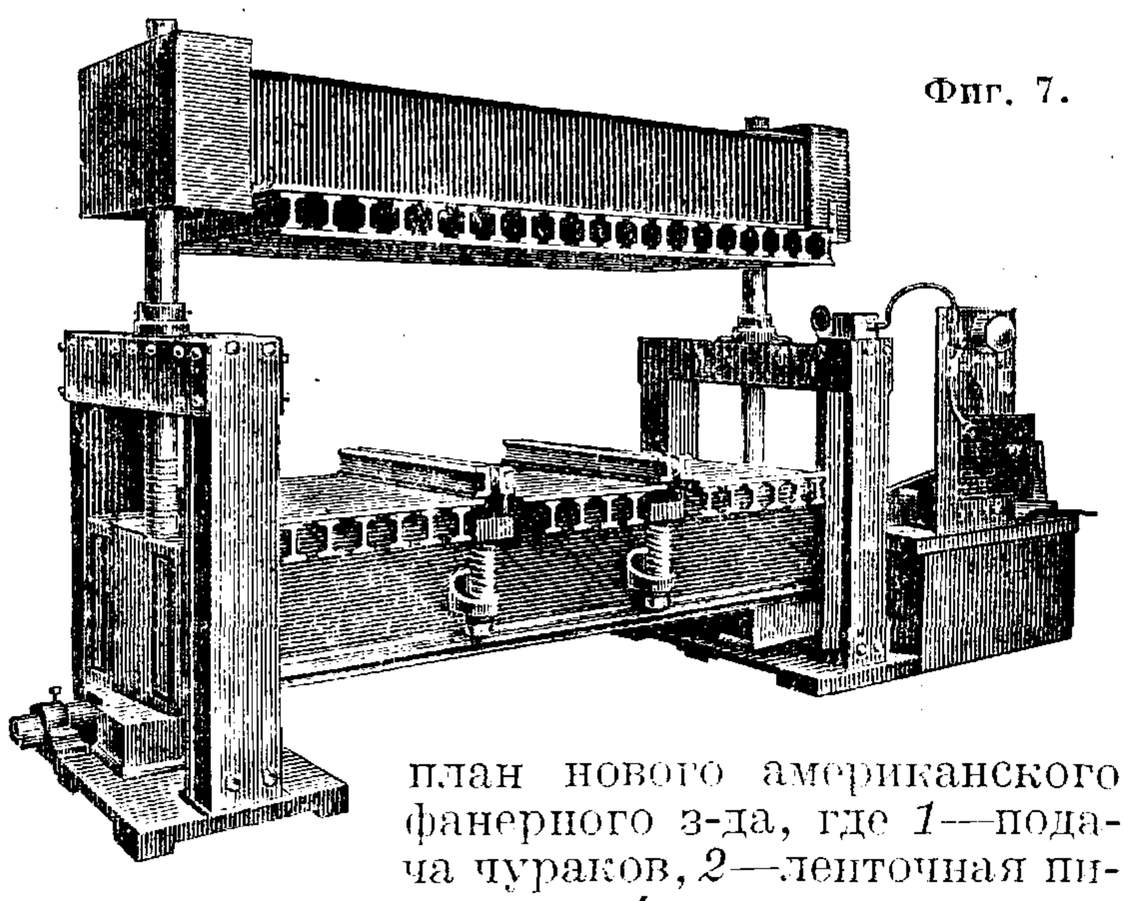
исходит процесс лущения, что при наших тонких кряжах вызывает простой на вынимание к а р а н д а ш е й (остатков чурака) и установку нового чурака, доходящий до 50% рабочего времени. Русский метод работы заключается в том, что фанерное полотно, по выходе из-под ножа лущильного станка, наматывается на специальный барабан, к-рый для удобства работы делается съемным и уста-



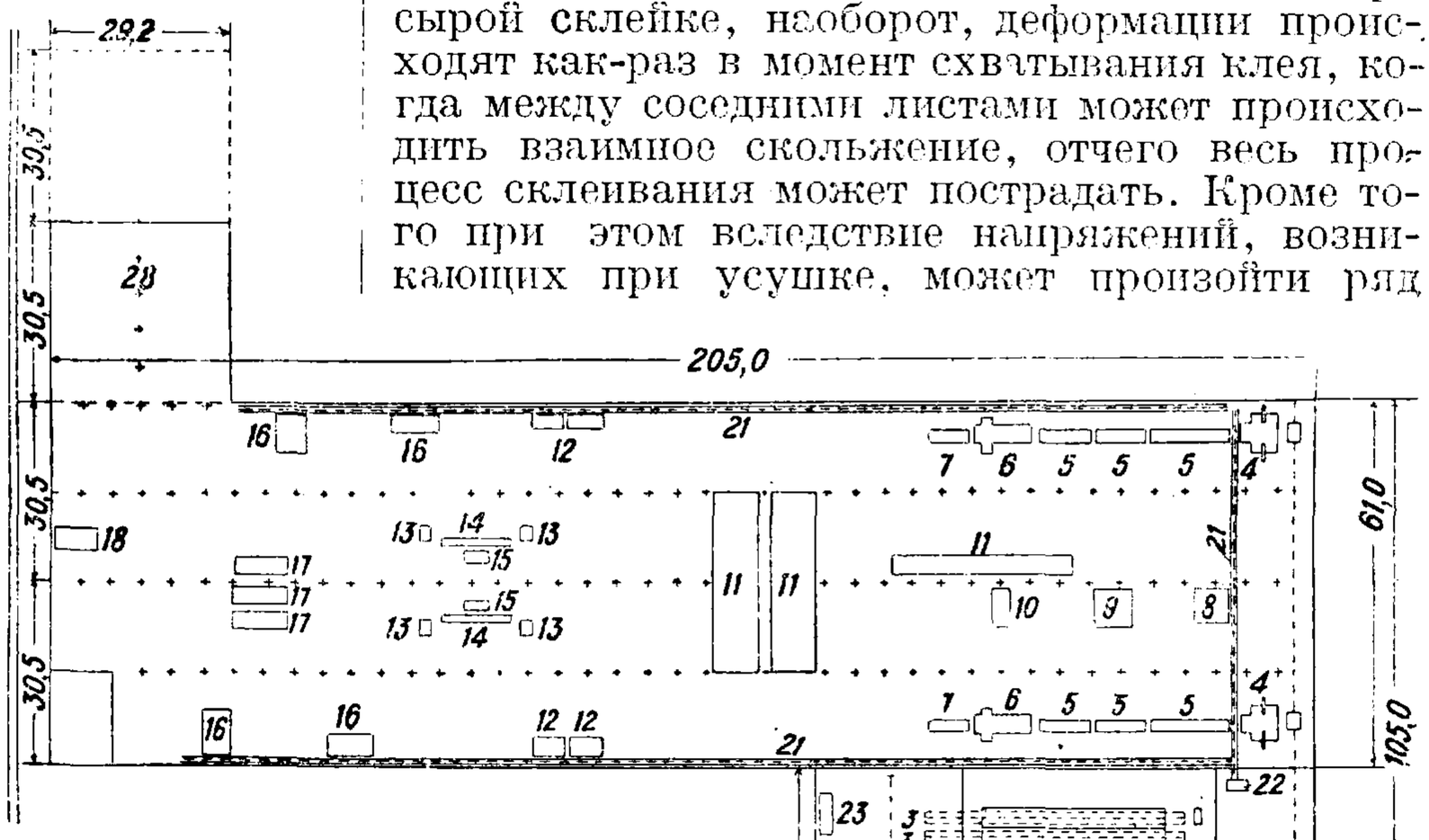
Фиг. 6.

навливается на козлах вблизи лущильногостанка. При наматывании фанерной ленты на барабан рабочий должен следить, чтобы скорость наматывания соответствовала бы скорости лущения во избежание разрыва ленты. После того, как весь кряж будет обработан, барабан снимают с козел вместе с намотанной фанерной лентой и устанавливают на другие козлы вблизи ножниц, работа к-рых протекает т. о. независимо от лущильного станка. 6) Нарезанные листы передаются в сушилки, а оттуда на вальцы, к-рые автоматически смазывают фанеру с одной или обеих сторон клеем (фиг. 6) и передают листы к прессу (фиг. 7), где происходит процесс склейки. Этот процесс продолжается несколько часов, после чего пачки переклейки оставляются на ночь, а затем направляются либо в сушилку либо на склад, в зависимости от метода работы. 7) В сушилке переклейка остается ок. 10 часов при $t°$ до 60°, после чего ее выкатывают для разборки и рассортировки. 8) Рассортированная фанера обрезается ровно на круглопильных или ленточных станках и

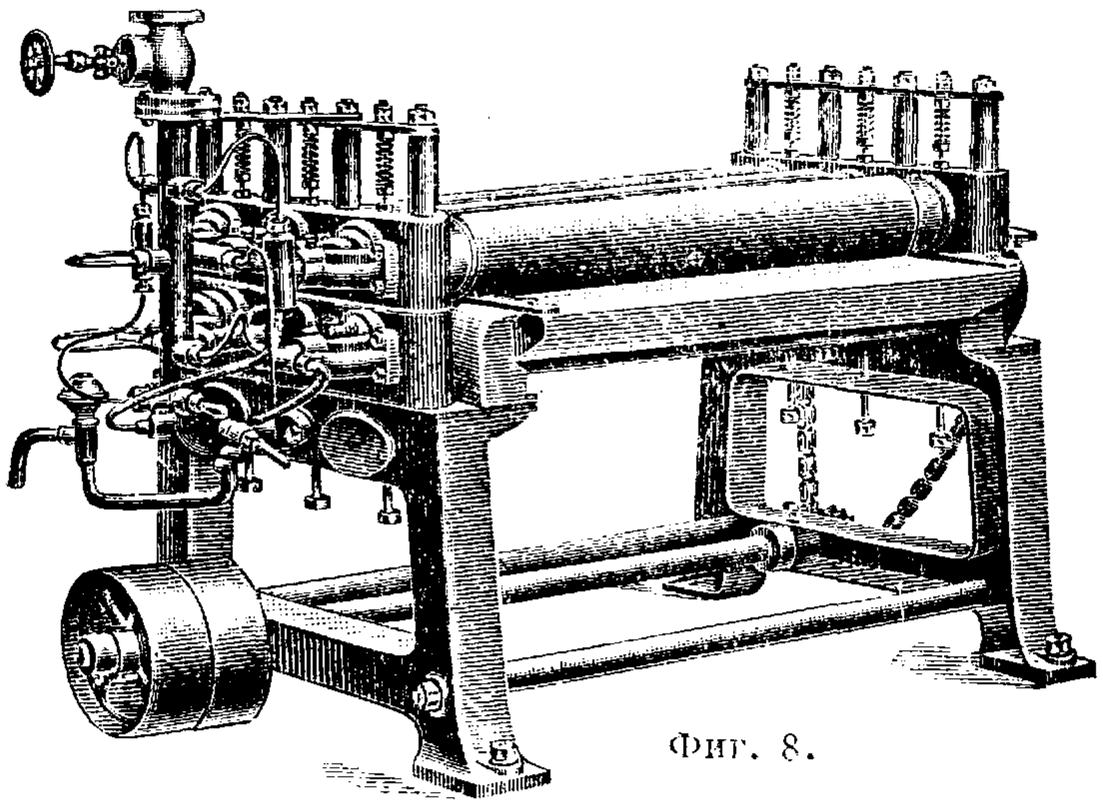
направляется к гладильным вальцам (фиг. 8) и шлифовальному станку (фиг. 9) для окончательной отделки. На фиг. 10 представлен



Фиг. 7.

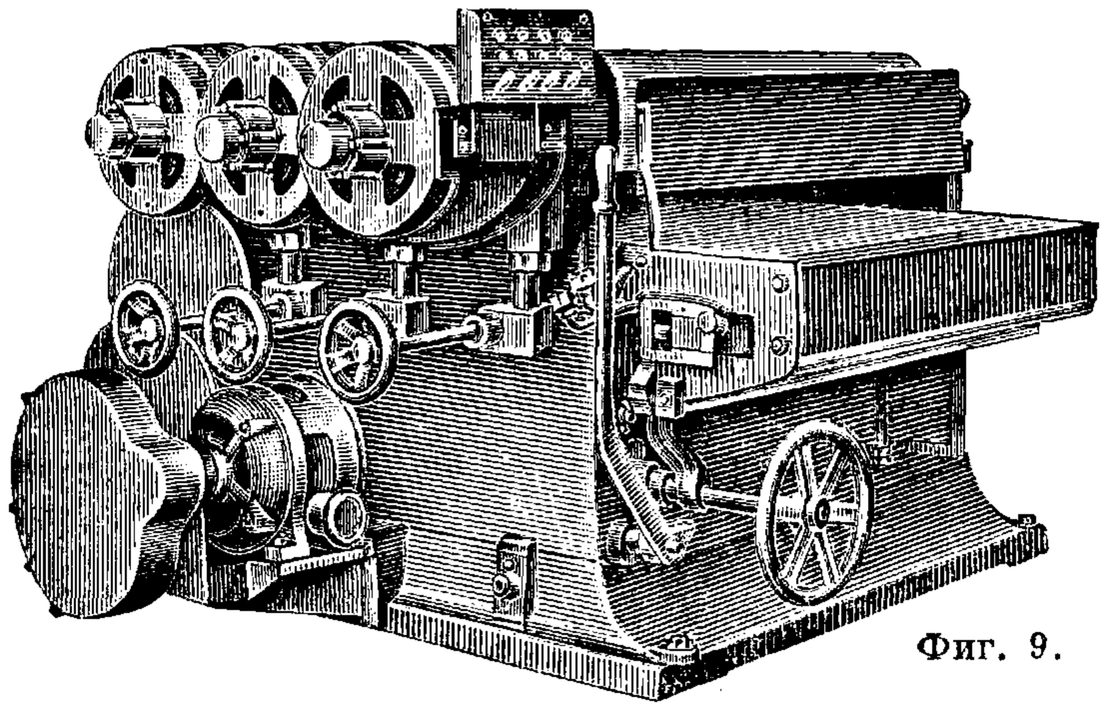
план нового американского фанерного з-да, где *1*—подача чураков, *2*—ленточная пила, *3*—парильные камеры, *4*—лущильные станки, *5*—столы для подачи фанеры к ножницам *6*, *7*—сортировочные столы, *8*—фанерострогальный станок, *9*—обрезной станок, *10*—маркировочный станок, *11*—сушилки, *12*—пилы для «карандашей», *13*—вальцы для нанесения клея, *14*—роликовый конвейер для подачи намазанных клеем листов к прессам *15*, *16*—обрезные пилы, *17*—шлифовальные станки, *18*—обрезной станок, *19*—пила для распиловки карандашей, подаваемых от лущильных станков по пути *20*, *21*—конвейер для отбросов, *22*—дробилка для отбросов, *23*—точильный станок для ножей, *24*—точильный станок для ленточных пил, *25*—точильный станок для крупных пил, *26*—точильное колесо, *27*—станок для точки пил напильником, *28*—склад.

Фиг. 10.

Переклеивание фанеры может вестись различными способами: 1) горячим—сырым, 2) горячим—сухим и 3) холодным—сухим. При горячих способах употребляется альбуминный клей (см. *Кровь переработка*, альбуминный клей), а при холодном—казеиновый. Принцип холодной клейки заключается в том, что листы



Фиг. 8.

фанеры, подлежащие клейке, предварительно сушатся, а затем склеиваются, а при горячих способах, наоборот, листы фанеры склеиваются в сыром виде, а затем сушатся. В зависимости от способа изготовления получается фанера, хорошо переносящая влажную атмосферу (склеенная горячим способом) и хорошо переносящая сухую атмосферу (склеенная холодным способом). Листы фанеры, предварительно высушенные, получают остаточную деформацию при сушке. В дальнейшем, при холодной склейке, они в таком



Фиг. 9.

деформированном виде переклеиваются, таким образом самый процесс склейки происходит в спокойном, не напряженном состоянии. При сырой склейке, наоборот, деформации происходят как-раз в момент схватывания клея, когда между соседними листами может происходить взаимное скольжение, отчего весь процесс склеивания может пострадать. Кроме того при этом вследствие напряжений, возникающих при усушке, может произойти ряд мелких трещин, вследствие чего такая фанера (переклейка) не будет хорошо полироваться.

Большую роль в крепости переклейки играет состав клея; последний можно разбить на следующие группы: 1) собственно клей, обладающий свойством затвердевать на холоде и размягчаться в теплом и влажном воздухе; 2) клей-цемент, к-рый, затвердевая, становится похожим на камень, не поддается действию воды и не возвращается в первоначальное состояние. К первой группе клея относятся: костяной, рыбный и растительный клеи, а ко второй группе—альбуминный и казеиновый клеи. Америк. лаборатория (Forest Products Laboratory, Мэдисон, США), давая рецепты клеев, сомневается, чтобы нашелся клей, к-рый бесконечно долго мог бы связывать два куска дерева при условии, что они постоянно будут то расширяться то усыхать под влиянием перемен влажности. Хотя самый клей по мнению лаборатории и м. б. во-

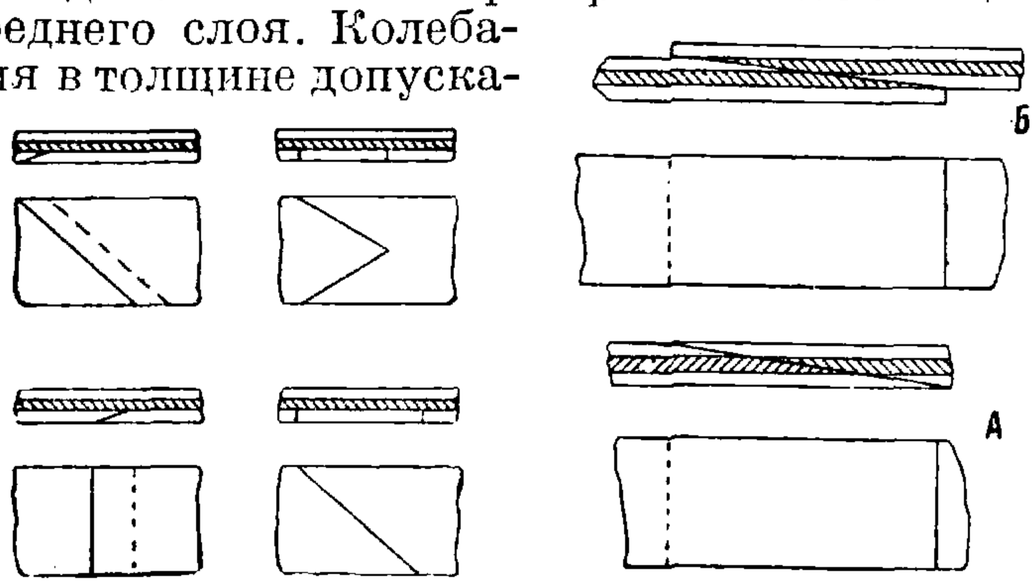
доупорным, но при его применении отделение склеенных кусков друг от друга происходит вследствие постоянного напряжения волокон дерева, причем поддается не клей, а дерево.

В СССР имеется 28 фанерных заводов с общей годовой продукцией в 436 600 *м*³ фанеры. Размеры прессов сильно колеблются, наиболее часто встречаются сл. размеры: 1 524×1 524, 1 524×1 220 или 1 550×1 250 *мм*.

Сорта фанеры. 1) Авиафанера, березовая, самого лучшего качества без всяких пороков и гнили, склеенная сухим холодным способом, без трещин, сучков и пузырей. Временное сопротивление на разрыв для равнослойной фанеры вдоль волокон не менее 500 *кг/см*², поперек волокон рубашки—не менее 350 *кг/см*², а для неравнослойной—вдоль волокон не менее 400 *кг/см*². Водоупорность клея должна проверяться опусканием образца фанеры в воду при 50° на 5 час. 2) Экспортная фанера должна быть из здоровой древесины, крепко склеена (при сгибании углов не д. б. расслоения) и хорошо просушена, с влажностью не свыше 10—12% к первоначальному весу. По толщине составных слоев фанера м. б. равно- и неравнослойной, причем во втором случае две наружные рубашки д. б. одинаковой толщины и в сухом виде иметь:

Для	3—4-*мм*	фанеры	не менее	1	*мм*	каждая		
»	5	»	»	»	»	1,25	»	»
»	6	»	»	»	»	1,50	»	»

Общая толщина фанеры идет с градацией через ½ *мм*, причем колебания в ту или другую сторону допускаются: до 3 *мм* включительно—10%, до 4 *мм*—7%, до 5—6 *мм*—5% с исчислением кубатуры листа по основной толщине. 3) Фанера для внутреннего рынка. Порода фанеры определяется по двум наружным рубашкам, к-рые д. б. однородными и м. б. из любой породы. Порода среднего слоя м. б. независимо от рубашек сделана также из любой древесной породы. Листы фанеры должны приблизительно соответствовать площади работающих прессов с максимальным отклонением в сторону уменьшения до 25%. В отношении толщины слоев допускается неравнослойность, но обе наружные рубашки должны иметь одинаковую толщину, причем сумма их толщин д. б. в 3-слойной фанере не менее толщины среднего слоя. Колебания в толщине допускаются до 5% для фанеры до 6 *мм* толщиною и до 3%—для более толстой. При сортировании фанеры принимаются во внимание качество лущения, цвет древесины и наружные дефекты, в зависимости от чего первые сорта идут на экспорт, а остальные на внутренний рынок.



Фиг. 11. Фиг. 12.

Иногда приходится соединять отдельные слои фанеры, для чего имеется несколько способов, представленных на фиг. 11. При этом наклон замка д. б. в пределах 1 : 20—1 : 30. Способ склеивания отдельными слоями удобен тем, что стыки листов могут быть разнесены в разных слоях фанеры, поэтому неудачное скрепление в одном месте только отчасти ослабляет крепость всей фанеры. Иногда приходится соединять фанеру через всю толщину. На фиг. 12 изображены два типа таких соединений: *А*—прямое соединение и *Б*—замок Альбатрос. В соединении Альбатрос лицевая сторона одного слоя не встречается с лицевой стороной второго слоя. Опыты показали, что для сопротивления на растяжение прямое соединение лучше.

Лит.: Песоцкий А., Лесопильное производство, Л., 1927; его же, Фанерное производство, Л., 1926; Чистяков И., Фанерное производство в Соединенных Штатах Сев. Америки, М., 1928; Кротов Е., Технология дерева, Л., 1929; Гаазе, Фанерное производство, «Лесопром. дело», М., 1924, *21—24*; Кротов Е., Фанерный клей, там же, М., 1924, *11—12*; его же, Технич. состояние фанерных заводов, там же, М., 1924, *11—12*; Н. Ш., Фанерное производство, там же, М., 1926, *5*; Трехслойная переклейка, там же, М., 1925, *10—11*; Фельдман, Новые машины в фанерном производстве, «Лесное хозяйство», М., 1924, *9*. **В. Гессен.**

ФАНЗА, восточная шелковая ткань с гладким тафтяным или тканым рисунком переплетения. Ткань более легкая, чем чесуча, и близкая к шелковому полотну. **С. Молчанов.**

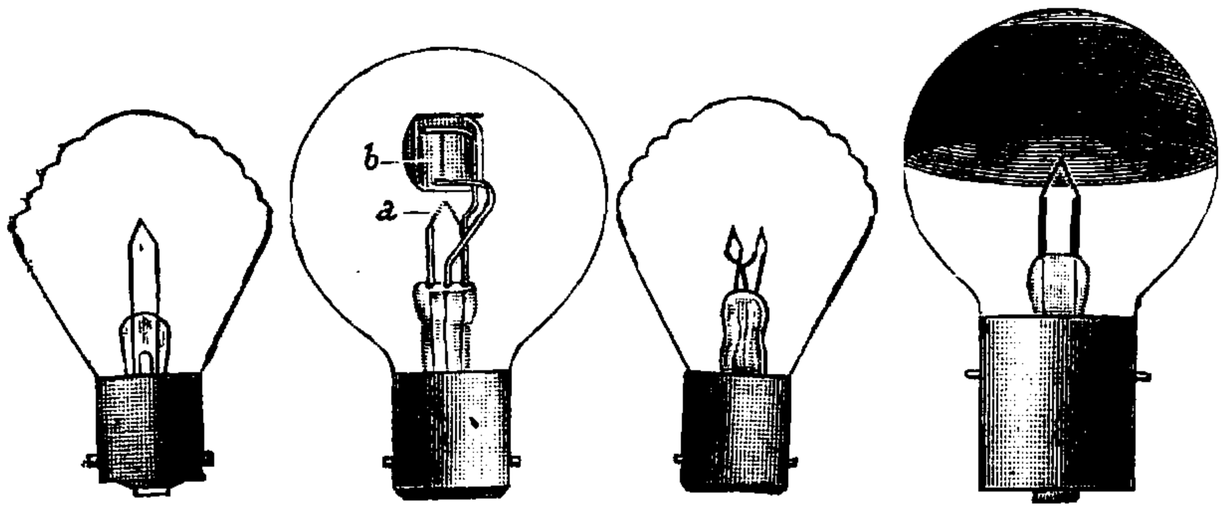
ФАРА, прожектор с небольшими размерами оптической системы, предназначающийся для освещения пути у всякого транспортного механизма: автомобиля, трактора, автодрезины, паровоза, вагона, самолета и т. д. Каждый современный автомобиль имеет следующие осветительные приборы. 1) Две Ф., расположенные по бокам автомобиля, предназначаются для дальнего и ближнего освещения, т. е. для получения: а) луча с небольшим углом рассеяния для освещения пути на большом расстоянии при езде за городом и б) луча с большим углом рассеяния для освещения на небольшом расстоянии при езде по городу (иногда для ближнего освещения устанавливаются подфарники). 2) Одна небольшая Ф., расположенная между первыми двумя, служит для ближнего освещения в туман и является вспомогательной; свет от нее направляется круто вниз перед автомобилем, что уменьшает ослепление шофера отраженной частицами тумана блескостью, создаваемой основными двумя Ф. 3) Ф.—искатель (прожектор) с узким мощным лучом, устанавливаемая возле шофера и легко поворачиваемая во все стороны, предназначается для освещения пути на крутых поворотах при езде за городом. Как всякий *прожектор* (см.), фара состоит в основном из источника света и оптической системы и из корпуса, в котором устанавливаются источник света и оптика.

Источники света. В качестве источника света в Ф. автомобильных и тракторных применяются главным образом низковольтные электрические лампы накаливания и иногда ацетилен. В таблице приведены сведения о мощностях, световых данных и пр. ламп накаливания, применяемых в автомобильных фарах. Тело накала у ламп в большинстве стран делается в виде двух нитей, из которых одна располагается в фокусе отражателя фары и дает луч дальнего освещения, другая же—вне фокуса и дает луч ближнего освещения. Нить накала, расположенная в фокусе отражателя, включается при езде за городом и при больших скоростях, когда необходимо осветить путь перед автомобилем на большое расстояние, а нить накала, расположенная вне фокуса, зажигается при езде по городу при уличном

Характеристики электрических ламп для автомобильных Ф. в разных странах.

№	Характеристики ламп	СССР	США	Англия	Германия	Япония
1	Число нитей накала	1 и 2	2	1 и 2	1 и 2	2
2	Напряжение в сети в V	6—8	6—8	6—7 12—14	6—8 12—16	6—8
3	Мощность в W . . .	17	17	24	20—35	17
4	Ср. сфер. сила света в св.	21	21	—	21,25 (35,50 НК)	21
5	Диам. колбы в *мм* .	32	31,6	40 и 52	35 и 45	35
6	Длина лампы в *мм* .	56	59	60, 66 и 75	62 и 72	59
7	Высота светового центра в *мм*	32 и 31	31,6	макс. 30 мин. 25	26 и 31 25 и 30	31,6
8	Цоколь	Сван малый 1 и 2 контакта	Сван малый	Сван	Сван малый и Бош	Сван малый
9	Срок службы в часах	100	—	—	—	—

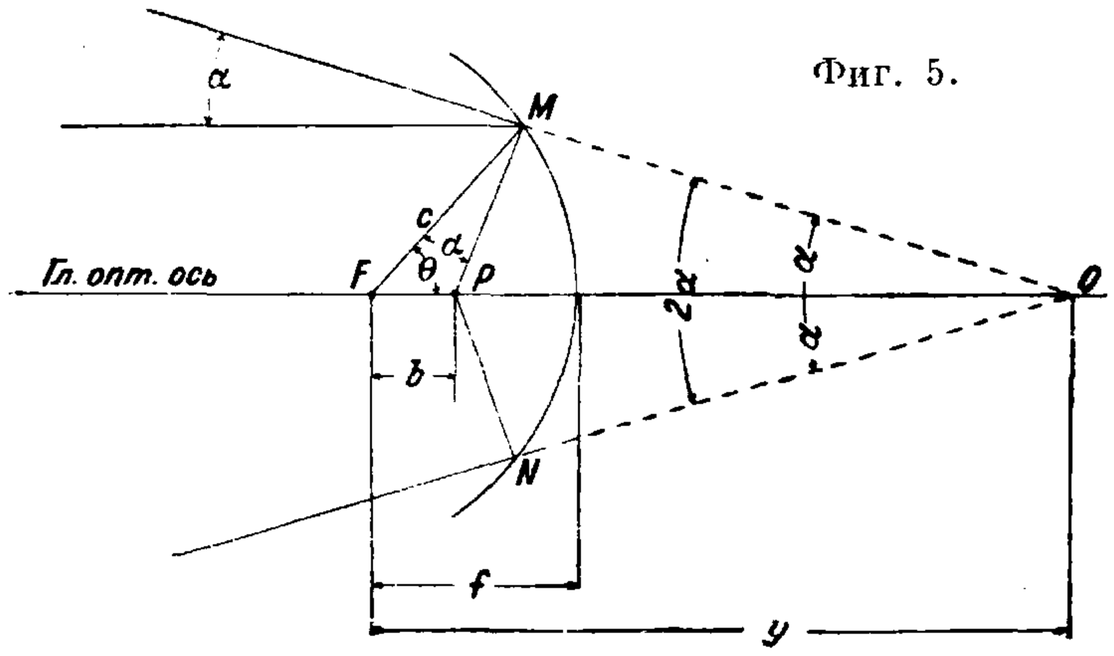
освещении и при сравнительно малых скоростях движения. Освещение ближнего действия дает бо́льшую обеспеченность защиты от ослепления. На фиг. 1—4 приведены типы совре-



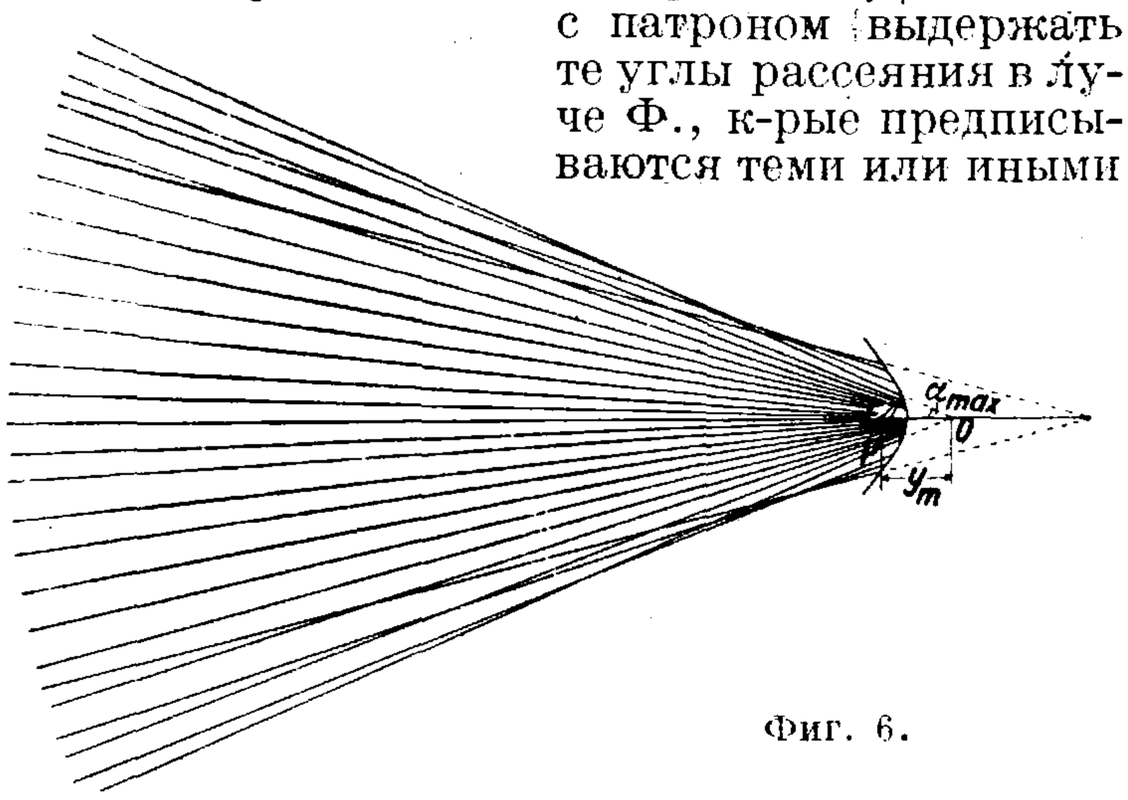
Фиг. 1. Фиг. 2. Фиг. 3. Фиг. 4.

менных автомобильных ламп (фиг. 1—автолампа Филипс: 6—8 V и 12—16 V, 21, 25, 32 и 50 НК, с одной нитью накала; фиг. 2—дубло Филипс: 6—8 V и 12—16 V, 21, 25, 32 и 50 НК, ∅ 40 *мм*, с двумя нитями накала *a* и *b* одинаковой силы света; фиг. 3—американская: 6—8 V, 21 средн. сферич. св., ∅ 35 *мм*, с двумя нитями накала; фиг. 4—для цейссовских фар с зеркальным кольцом на колбе и с одной нитью). Форма нити у них делается либо V-образная либо линейная.

Фиг. 5.



Оптическая система. Большинство современных фар имеет в качестве оптической системы параболический короткофокусный отражатель: стеклянный (посеребренный) или металлический (никелированный или хромированный). В некоторых странах применяются отражатели эллиптической формы в комбинации со сферическим отражателем и с линзой (системы Ryland'a) или манженовский отражатель с особой отражающей поверхностью для создания луча ближнего действия и ряд других систем, которые однако не нашли себе широкого применения, поэтому в дальнейшем описываются подробнее свойства параболич. отражателей, применяемых обычно в Ф. Об основных характеристиках параболич. отражателей см. *Прожектор*, здесь же излагаются только те особенности таких отражателей, которые вытекают из специфич. требований, предъявляемых к ним Ф.: угол рассеяния и зависимость его от формы нити накала и ее расположения по отношению к фокусу отражателя. Характерной особенностью оптич. системы современных Ф. является отсутствие у большинства их фокусирующего приспособления для установки светового центра лампы в фокусе отражателя. Поэтому оптич. система подсчитывается с таким расчетом, чтобы при принятых допусках для ламп и для самого отражателя, а равно для всего взаимного расположения отражателя и лампы с патроном выдержать те углы рассеяния в луче Ф., к-рые предписываются теми или иными



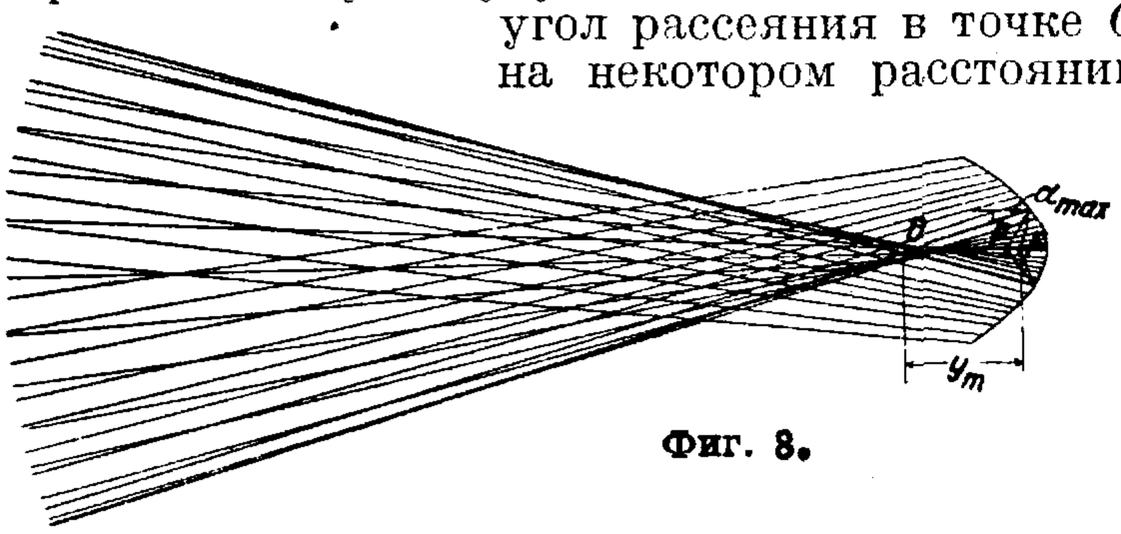
Фиг. 6.

требованиями автомобильного освещения. Вот почему изучение строения светового луча, отраженного от оптич. системы, изменения углов рассеяния в зависимости от того или иного расположения по отношению к фокусу тела накала нити, его формы и размеров имеет в Ф. существенное значение, так как в них не представляется возможным регулировать форму луча путем фокусировки лампы, как в обыкновенных прожекторах. Если тело накала лампы принять за точечный источник света, расположенный на оси параболического отражателя, то при

Фиг. 7.

расположении его в фокусе отражателя мы будем иметь пучок отраженных лучей, параллельных главной оптич. оси. При расположении точечного источника света *P* между фокусом и вершиной отражателя (фиг. 5 и 6) отраженные лучи будут расходиться, причем можно увидеть, что при увеличении угла θ от нуля

сначала значение угла рассеяния α увеличивается, доходя до максимального значения при некотором угле θ_m, а затем уменьшается с увеличением угла θ, и все лучи кажутся как бы исходящими из мнимого изображения источника света, расположенного позади отражателя в точке O. Если источник света P расположен впереди фокуса (фиг. 7 и 8), то угол рассеяния α будет иметь максимальное значение при некотором значении угла θ_m, и все отраженные лучи будут давать максимальный угол рассеяния в точке O на некотором расстоянии



Фиг. 8.

впереди отражателя, причем конус лучей с максимальным рассеянием будет иметь вершину в точке O, т. о. пучок отраженных лучей будет создавать на нек-ром расстоянии от отражателя нек-рое сжатие (талию). Угол рассеяния для любого положения точечного источника света, расположенного между фокусом и вершиной отражателя, можно получить из выражения (фиг. 5):

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\sin\theta}{\frac{c}{b} - \cos\theta}, \qquad (1)$$

где радиус-вектор

$$c = \frac{2f}{1+\cos\theta},$$

откуда

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\sin\theta}{\frac{2f}{b(1+\cos\theta)} - \cos\theta},$$

или

$$\alpha = \operatorname{arc\,tg}\frac{\sin\theta}{\frac{2f}{b(1+\cos\theta)} - \cos\theta}. \qquad (2)$$

Для источника света, расположенного впереди фокуса (фиг. 7), b будет отрицательным, и поэтому мы будем иметь угол β отрицательным. Расстояние между фокусом F и O определяется из соотношения

$$\frac{OF}{c} = \frac{c}{b},$$

откуда

$$OF = y = \frac{c^2}{b};$$

так как

$$c = \frac{2f}{1+\cos\theta},$$

то

$$yb = \frac{4f^2}{(1+\cos\theta)^2},$$

или

$$y = \frac{4f^2}{b(1+\cos\theta)^2}. \qquad (3)$$

При линейном источнике света, расположенном на главной оптич. оси отражателя так, что он не включает фокус, ур-ие (2) дает рассеяние результирующего луча Ф. при условии, если b будет представлять собою расстояние от фокуса до дальнейшего конца нити. Если же нить расположена так, что часть ее b_1 находится между фокусом и отражателем, а часть b_2 впереди фокуса, то угол рассеяния луча будет зависеть от того, что больше—$2\alpha_{max}$ или $2\beta_{max}$. Минимальный угол рассеяния луча при линейном источнике света, расположенном на главной оптич. оси, равен

$$2\alpha_{min} = 37{,}2\,\frac{l}{f} \text{ градусов}, \qquad (4)$$

где l—длина нити накала, f—фокусное расстояние.

Когда мы имеем точечный источник света, расположенный вне главной оптич. оси (фиг. 9), то тогда (при $s/2f = S$)

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\sin(\theta+\psi)}{\frac{1}{S(1+\cos\theta)} - \cos(\theta+\psi)}$$

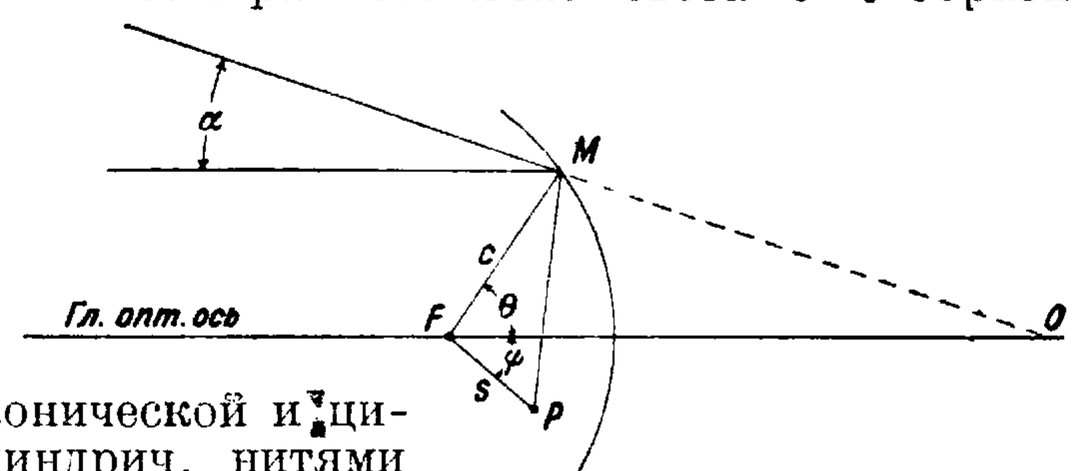
или

$$\alpha = \operatorname{arc\,tg}\frac{\sin(\theta+\psi)}{\frac{1}{S(1+\cos\theta)} - \cos(\theta+\psi)}. \qquad (5)$$

При источниках света кольцевом или в виде прямой нити, расположенных под прямым углом к главной оптической оси, минимальный угол рассеяния будет равен

$$2\alpha_{min} = 57{,}3\,\frac{l}{f} \text{ градусов } \left(\frac{l}{f} < 0{,}7\right), \qquad (6)$$

где l—длина нити накала или ее диаметр при кольцевом источнике света, f—фокусное расстояние. При источнике света с **V**-образной



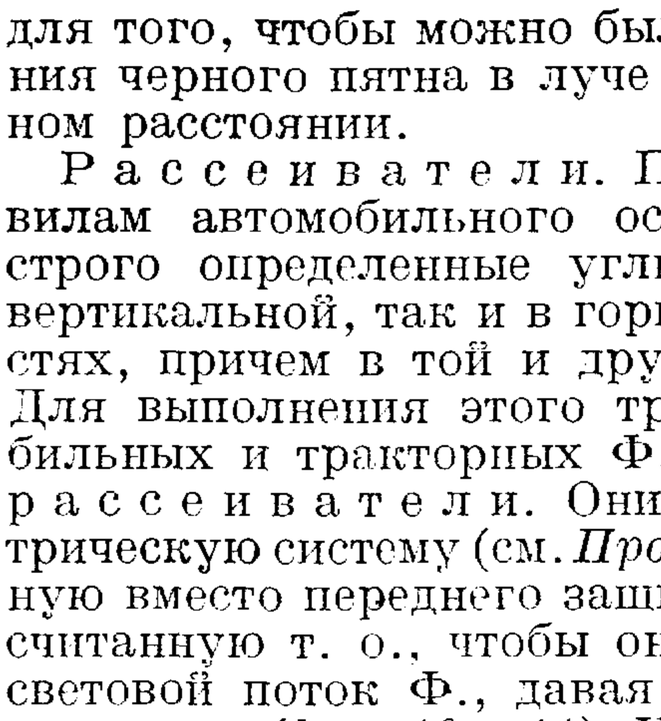
Фиг. 9.

конической и цилиндрич. нитями накала углы рассеяния определяются из уравнений (2) и (5), причем для определения угла рассеяния, получаемого от **V**-образной нити накала, вычисляют угол рассеяния от вершины конуса, как для точечного источника света, расположенного на главной оптической оси, а затем от основания, как от точечного источника света, расположенного вне главной оптической оси, и берут максимальное значение из двух полученных. При цилиндрич. форме нити определяют угол рассеяния для кольца с каждой стороны цилиндра и берут только бóльшие из двух значений, полученных для каждого положения. Если смещать нить лампы в ту или другую сторону от фокуса, то можно достигнуть такого положения, при котором сила света вдоль оси луча уменьшится настолько, что заменится черным пятном, т. е. при освещении экрана в середине последнего будет черное пятно. Из ур-ий (2) и (3) можно найти, при заданном расстоянии любой точки b на нити накала по отношению к фокусу, расстояние y до места пересечения с отраженным под углом α или β лучом главной оптич. оси и этим самым определить местоположение черного пятна. Конечно это можно произвести и путем графич. построений, но это дает большие погрешности. Из построений или расчетов можно видеть, что черное пятно существует только тогда, когда нить не захватывает фокуса. Если источник света охватывает фокус, черное пятно не образуется. Пользуясь приведенными выше ур-иями, можно при заданных минимальных углах рассеяния и фокусном расстоянии определить, каковы должны быть размеры нити накала и допуски в ее длине

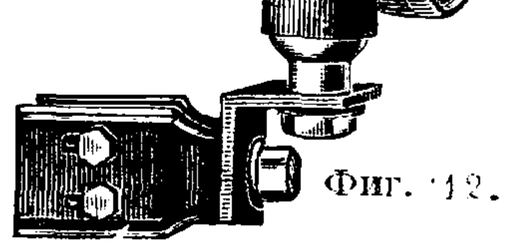
для того, чтобы можно было избежать появления черного пятна в луче фары на определенном расстоянии.

Р а с с е и в а т е л и. По современным правилам автомобильного освещения требуются строго определенные углы рассеяния как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях, причем в той и другой обычно разные. Для выполнения этого требования в автомобильных и тракторных Ф. применяются т. н. р а с с е и в а т е л и. Они представляют диоптрическую систему (см. *Прожектор*), примененную вместо переднего защитного стекла и рассчитанную т. о., чтобы она перераспределяла световой поток Ф., давая лучу нужные углы рассеяния (фиг. 10 и 11). Иногда для этой цели применяют матовые колбы у ламп или делают частичное изменение формы отражателя для требующегося изменения формы луча Ф.

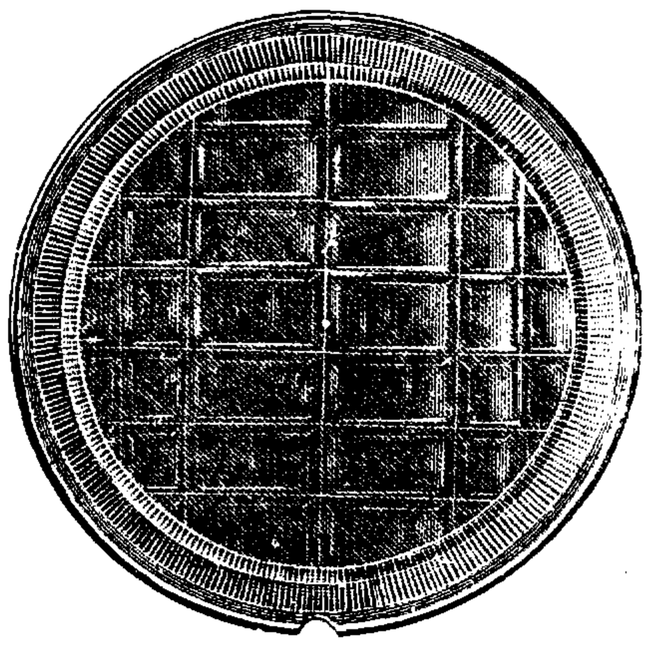
В отношении к о н с т р у к ц и и подавляющее большинство современных Ф. имеет в качестве оптич. системы параболич. короткофокусный отражатель стеклянный (посеребренный) или металлический (хромированный) диам. от 20 до 25 *см*, а в качестве источника света электрич. лампу накаливания с **V**-образной, иногда линейной формой нити. Широко применяются лампы с двумя нитями накала. Фокусирующее приспособление в Ф. нигде не допускается и устанавливаются только строгие допуски в отношении размеров нити накала и расположения светового центра. Для получения нужного угла рассеяния в горизонтальной плоскости и уменьшения угла рассеяния в вертикальной плоскости (для уменьшения ослепления) применяют различных видов рассеиватели. В частности рассеиватели на фордовских фарах в этом отношении дают удовлетворительные результаты. Применяемые в СССР автомобильные фары с наружным диаметром в 229 *мм* и глубиной в 103 *мм* имеют корпус из железа, покрытый снаружи и внутри черным лаком либо никелированный с последующим хромированием. Отражатель делается железный хромированный параболич. формы. Электрич. лампы применяются с цоколем «Сван малый»: либо одна с двумя нитями накала либо две—одна, расположенная в фокусе для дальнего освещения, а другая, расположенная вне фокуса для ближнего освещения. Для установки лампы в фокусе временно применяется фокусирующее приспособление, к-рое с установлением жестких допусков для лампы и отражателя д. б. уничтожено. Вместо переднего защитного стекла установлен рассеиватель, к-рый должен для дальнего освещения давать рассеяние в горизонтальной плоскости не менее 6°, а в вертикальной не более 4° и для ближнего освещения в горизонтальной плоскости не менее 12°, а в вертикальной не более 4°. Сила света Ф. должна давать освещенность при луче дальнего освещения не менее 1 lx на расстоянии 100 *м* в вертикальной плоскости и при луче ближнего освещения не менее 5 lx на расстоянии 25 *м* тоже в вертикальной плоскости на уровне земли. Во избежание опасности ослепления от блескости не разрешается иметь яркость от Ф. более 2 стильбов в пространстве выше горизонтальной плоскости, проходящей на высоте 1,4 *м* над уровнем земли при ближнем освещении. Изготовляемые у нас тракторные Ф. имеют наружный диам. 192 *мм* и глубину 98 *мм*. Отражатель железный хромированный, параболический. Электрич. лампа с одной нитью накала и с цоколем «Сван малый». Рассеиватель иной формы, нежели у автомобильной Ф. Эти Ф. могут быть применены и в качестве Ф. для ближнего освещения в туман. На фиг. 12 изображена Ф.-искатель, изготавливаемая в Германии фирмой К. Цейсс в Иене. Эта Ф. имеет параболический стеклянный отражатель с диам. 80 *мм*.



Фиг. 10.



Фиг. 12.



Фиг. 11.

Б л е с к о с т ь Ф. и б о р ь б а с н е й. Одним из самых неприятных и опасных свойств Ф. является ослепление, создаваемое ее лучом при попадании его в поле зрения наблюдателя. Стремление получить от Ф. луч с максимальной силой света, дабы иметь возможность освещать путь перед автомобилем на большое расстояние, что необходимо при больших скоростях движения, вызывает значительное увеличение блескости, а тем самым и опасность ослепления. Опыты Холлидея показали, что при предельной освещенности в глазу $E = 0{,}225 \div 0{,}6$ lx и при величине угла θ между горизонтальной линией и линией, соединяющей глаз с источником света, величина разницы яркостей δB, к-рая м. б. ощутима при яркости поля адаптации B, увеличивается благодаря слепящему действию источника света на такую величину, к-рая получится при яркости поля адаптации

$$B_1 = B + 9{,}2\,\frac{E}{\theta^2} \text{ стильбам.} \qquad (7)$$

Есть предположения, что опыты Холлидея соответствуют условиям к-рые имеют место в автомобильных Ф. Фон в этом случае практически черный, и эффект предполагается такой же, как и при величине δB, равной той, которая будет, если слепящий источник отсутствует и яркость поля адаптации (фона) равна

$$B_1 = 9{,}2\,\frac{E}{\theta^2} \text{ стильбам.}$$

Наблюдения показывают, что при встрече двух автомобилей в то время, когда освещенность в глазу шофера по мере приближения друг к другу увеличивается в 10 раз, видимость увеличивается всего только на 50%. Это является результатом слепящего действия встречной Ф., понижающим функции зрения, из к-рых более всех повидимому на это реагирует контрастная чувствительность, тогда как другие функции, как-то: быстрота различения, острота зрения и т. п., реагируют на это в мень-

шей степени. Все современные правила автомобильного освещения обращают большое внимание на борьбу с блескостью, создаваемой Ф. В настоящее время за границей имеется целый ряд приспособлений у Ф. для защиты от блескости. В общем все приспособления сводятся к тому, чтобы при встрече с автомобилем или другим каким-либо движущимся предметом уменьшать яркость Ф. в поле зрения встречного наблюдателя и тем избавлять его от ослепления. Для этого существует ряд приемов. 1) Затемнение, т. е. уменьшение силы света в луче Ф. всякий раз при встрече путем включения последовательно сопротивления в цепь электрич. ламп или даже полного выключения света Ф. Этот способ не рекомендуется, т. к. получающаяся при этом темнота бывает настолько низка, что шофер ничего не видит вследствие того, что его зрение перед этим было адаптировано на бо́льшую яркость, что конечно м. б. опасным. 2) Опускание луча с полной силой света. Обычно при встрече луч Ф. опускается вниз настолько, чтобы верхний его край был не более чем на 2° выше горизонта. Это осуществляется либо применением ламп с двумя нитями либо непосредственным наклоном самих Ф. Первый способ наиболее распространен. 3) Опускание луча с частичным затемнением. Для этого применяются специальные затемнители, надвигающиеся на лампу либо в виде колпачка с прорезами для пропускания только части светового потока в лампе либо в виде цилиндра из желтого стекла с призматическими кольцами на наружной поверхности (фирма К. Цейсс). Последний прибор при помощи приспособления, снабженного электромагнитом, надвигается на лампу простым нажатием кнопки. Желтое стекло применяется для того, чтобы во время тумана получать лучшее освещение. Специальные призматические кольца направляют луч фары вниз.

Описанные выше Ф. применяют не только на автомобилях, но также и на других транспортных механизмах, изменяя лишь в том или ином отношении некоторые детали конструкции и размеры: способ крепления, диаметр отражателя, форму рассеивателя или переднего защитного стекла, мощность и напряжение лампы и т. д. В основном как конструкция, так и оптич. световые элементы у всех Ф. остаются одинаковыми.

Лит.: Jolley L. B., The Automobile Headlight a. Its Standartization Chiefly with Reference to the Linear Filament, «Proceedings International Congress on Illumination», N. Y., 1928; Ryde I. a. Doris E. Jates, The Divergence of Beams from Parabolic Reflectors, ibid.; Bossu P., Considérations générales sur les projecteurs d'automobiles, ibid.; Jolley L., Waldram J., Wilson E., The Theory a. Design of Illuminating, «Engineering Equipment», L., 1930; Bloch L., Die neuen deutschen Vorschriften f. Kraftfahrzeugbeleuchtung, «Licht u. Lampe», B., 1931, H. 21, p. 1042—1046; Bloch L., Verordnung über Kraftfahrzeugverkehr vom 15 Juli 1930, ibid., 1931, H. 18, p. 915; Calvert E., Motor-Car Headlights, «The Illuminating Engineer», L., 1932, v. 24, p. 32—37; Born F., Neue Wege in der Kraftwagenbeleuchtung, «Die Lichttechnik», W., 1928, H. 8, p. 77—80; Rödiger W., Die Elektrotechnik auf der Internationalen Automobilausstellung, «ETZ», 1931, H. 16, p. 497; Born F., Die Kraftwagenbeleuchtung in Europa u. Amerika, «Licht u. Lampe», B., 1929, H. 3, p. 99; Dickinson H. a. Allen H., Automotive Headlichting Bequirements from the Driver's Point of View, «Transactions of the Illuminating Engineering Society», N. Y., 1929, v. 24, p. 15—39. **Б. Луговской.**

ФАРАДА, единица электроемкости (см. *Емкость*) в *практической системе мер* (см.), равная емкости *электрического конденсатора* (см.), заряженного одним *кулоном* (см.) при разности потенциалов в один *вольт* (см.). Обозначается символом F.

$$1\ \mathrm{F} = \frac{1\ \mathrm{C}}{1\ \mathrm{V}} = 10^{-9}\ CGSM = 9 \cdot 10^{11}\ CGSE = 9 \cdot 10^{11}\ см.$$

Ф. является единицей слишком большой, и в практике употребляют единицу в 10^6 меньшую, называемую микрофарадой:

$$1\ \mu\mathrm{F} = 10^{-6}\ \mathrm{F} = 9 \cdot 10^{5}\ CGSE = 900\,000\ см.$$

В радиотехнике применяется микромикрофарада:

$$1\ \mu\mu\mathrm{F} = 10^{-12}\ \mathrm{F} = 0{,}9\ см.$$

ФАРАДЕЙ, число Фарадея, F = 96 490 кулон (А - *ск*) (~ 96 500 кулон/*г*-эквив.), количество электричества, связанное с 1 грамэквивалентом любого иона (т. е. с 1 *г*-ионом одновалентного иона). F = *eN*, где *e*—заряд электрона (элементарный заряд), а *N*—число Авогадро. F назван в честь М. Фарадея и является основной универсальной константой в электрохимич. законе Фарадея (см. *Электролиз* и *Эквивалент* электрохимический). Т. к. 1 Ah = 3 600 C, имеем следующее соотношение:

$$96\,490\ \mathrm{C} \cdot (\text{А-}ск) = 26{,}8\ \mathrm{Ah} = 1\ \mathrm{F}.$$

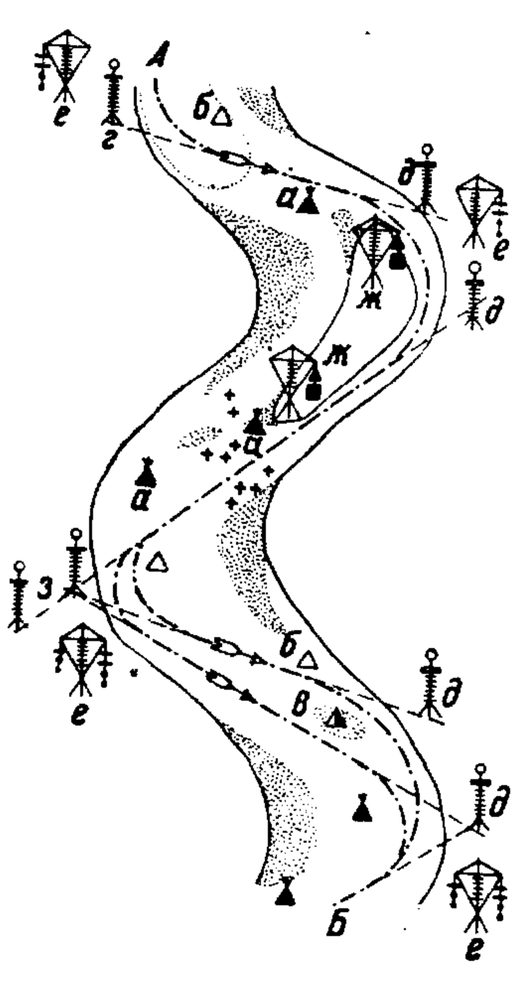
ФАРВАТЕР (нем. Fahrwasser, англ. fairway, waterway), каким-либо образом отмеченное направление на водной поверхности для безопасного плавания корабля с той или иной осадкой. Понятие о Ф. относится в общем случае к прибрежным водам, а также к тем закрытым бассейнам (например Финский залив), в к-рых глубины и рельеф дна могут представлять опасность для мореплавания, или к свободным в обычное время для плавания районам, но стесненным временно какими-либо искусственными мерами (например Ф. среди минных заграждений). В основном можно различать следующие типы Ф.: морские (например большой корабельный Ф. в Финском заливе), прибрежные и шхерные. Речные Ф. называются судовым ходом.

На морских картах Ф. обозначаются различными условными знаками. На английских картах, издаваемых для морей всего мира, Ф. обозначаются прерывистой линией, характеризующей только лишь его направление; детальные сведения о Ф. даются в специальных примечаниях на карте, а также в лоциях. На русских картах условное обозначение Ф. позволяет судить и о его доступности для данного корабля. На наших картах обозначаются Ф.: а) протраленные, т. е. такие, на к-рых установленная глубина определена не только промером, но отсутствие глубин, меньше заданной установлено проходом Ф. жестким (гидрографическим) тралом. Траление Ф. применяется гл. обр. в важных для мореплавания местах. На картах протраленные Ф. обозначаются пунктирной линией с перекрещивающими ее римскими цифрами, обозначающими глубину, на к-рую данный Ф. протралён, напр. —··XIV—···—···—Ф., протраленный на 14 фт.; б) обследованные, т. е. пройденные промером, обозначаются черточным пунктиром и группами точек, в к-рых каждая точка обозначает 6 фт., напр.: —·—·—·— 6-футовой Ф.; —··—··—··— 12-футовый Ф.; —···—···—···— 18-футовый Ф. и т. д. При этом обозначении над линией фарватера иногда делается надпись: «Фарватер глубиной—фут.». Глубина, показанная на этом Ф., означает, что при его промере глубины, меньше обозначенной, встречено не было. Следует иметь

в виду, что в районах, имеющих неровный рельеф дна, обследованные Ф. не могут гарантировать полной безопасности плавания, т. к. при промере в таких местах м. б. пропущены пункты с резким изменением глубин (т. н. «сахарные головы»), когда лот легко может соскользнуть; в) необследованные, на к-рых не было сделано ни промера ни траления. На картах они обозначаются либо сплошной волнистой тонкой либо пунктирной волнистой линией. Необследованные Ф. официально не гарантируют безопасности плавания корабля. На линиях, обозначающих Ф., иногда делаются надписи, указывающие с точностью до $^1/_4°$ его прямое и обратное направления. При пользовании Ф. необходимо учитывать не только степень его обследованности (доверие к Ф.), но также состояние уровня моря (т. к. глубины на картах приводятся к определенному уровню), степень волнения и осадку кормы корабля на ходу (особенно на большом), а также и на мелководии. В отношении специального назначения Ф. разделяются на подходные, продольные, поперечные, секретные и т. д.

Наблюдение за состоянием Ф. относится к деятельности лоцмейстерской службы. Все мореплаватели приглашаются сообщать органам, ведающим обеспечением безопасности плавания на морях (в СССР—Гидрографич. управление, находящееся в составе Наркомвоенмора), о всех изменениях, замеченных ими на Ф. (изменение глубин, обстановки и пр.).

Обстановка речного Ф. (судового хода) дана на фигуре. Для обозначения судового хода *АБ* применяются бакены, вешки, перевальные вехи, створные знаки (см. *Береговые знаки*), сигнальные мачты и семафоры; *маяки* (см.) употребляются сравнительно редко. Бакены *а*, *б* и *в* служат для показания границ судового хода: справа (по течению реки) ставятся красные бакены *а* с голиком, слева—белые *б*; бакены *в*, к-рые можно обходить с обеих сторон, делаются пестрыми. Перевальные вехи *г* и *д* ставят для обозначения того, что Ф. переходит с одного берега на другой; направление линии судового хода определяется прямой, соединяющей обе соответственные вехи—правобережную красную *г* и левобережную белую *д*. В тех местах, где в виду узости фарватера требуется особо точное обозначение линии судового хода, ставят створные знаки *з*. Для обозначения глубины воды на перекатах ставят сигнальные мачты *е* (доска обозначает 1 *м*, большой шар 20 *см*, малый 5 *см*); в случае наличия двух ходов на перекате глубина правого вывешивается на красном конце рея, обращенном вверх по реке. Семафоры *ж* ставят в узких местах Ф. для показания порядка следования судов.



Лит.: Римский-Корсаков П., Служба по обеспечению безопасности кораблевождения, Л., 1925; Сакеллари Н., Навигация, Л., 1926; Паскин А., Основы лоции внутренних водных путей, М., 1931; его же, Руководство для занятий по лоции морей, М., 1933.

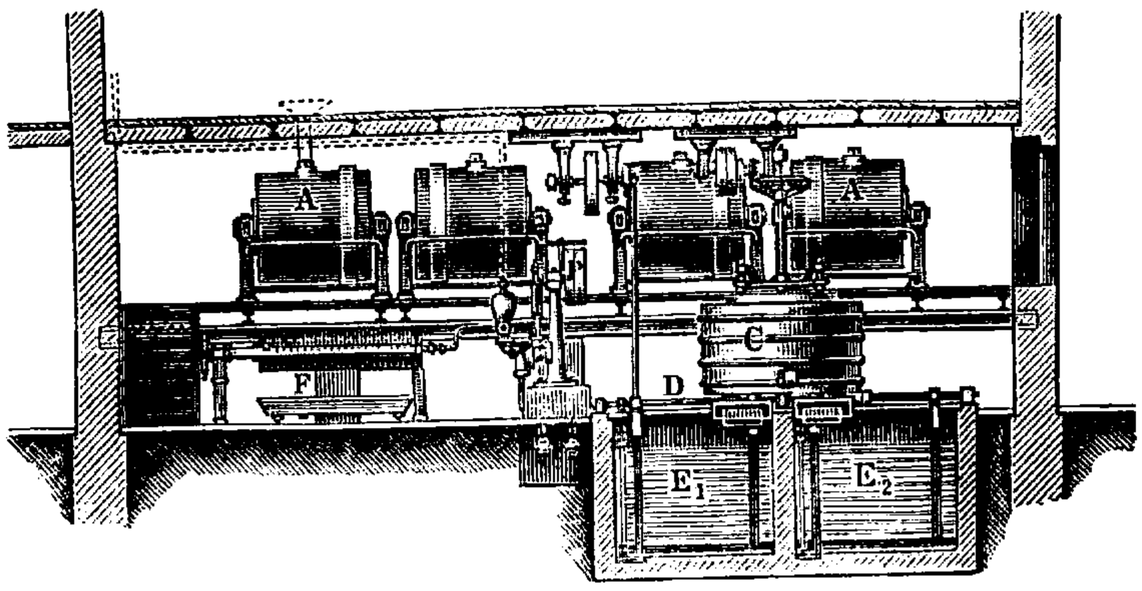
К. Мигаловский.

ФАРФОРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО, изготовление фарфора — белых глинистых изделий, с плотным, обожженным до сплавления черепком, покрытых прозрачным прочным слоем глазури. Эти изделия не поддаются режущему усилию стального ножа. По белизне, просвечиваемости, прозрачности, механич. стойкости к действию к-т и другим свойствам фарфор является высшим продуктом глиняных или керамич. изделий. До 19 в. Ф. п. обслуживало только интересы высших привилегированных классов: из фарфора изготовлялись только предметы роскоши. Начиная с 19 века, фарфор становится уже более доступным широким массам. Во второй половине 19 в. производство фарфора стало быстро развиваться, и помимо изготовления *изделий домашнего обихода фарфор широко* начинает применяться в электротехнич., химич., текстильной и других отраслях пром-сти.

Основными сырыми материалами для производства фарфора служат белая *глина* (см.), или *каолин* (см.), кварц и полевой шпат. В отдельных случаях в его состав входят еще белая жирная глина, мел, доломит и фосфорнокислый кальций (в виде костяной золы). Суммарное содержание окислов железа и титана в глинах, идущих на производство фарфора, не должно превышать 1%. Наиболее частыми вредными примесями к полевому шпату и кварцу являются: биотит, турмалин, эгорин и пр., от к-рых эти породы должны быть освобождены тщательной сортировкой. Белые глины д. б. отделены от продуктов разрушения материнской породы *отмучиванием* (см.) на обогатительных каолиновых з-дах (обычно на месте месторождения каолина). До войны 1914—18 гг. для Ф. п. импортировались в Россию англ. корнуэльский отмученный каолин и норвежские чистые полевые шпаты и кварц. В настоящее время широкое применение для изготовления фарфора находят в СССР отмученные каолины со ст. Просяная, Южных ж. д., и со ст. Глуховицы, Киевской обл., и карельские полевые шпаты и кварцы (пром-сть Центрального района и Северо-западной обл.). Украинская фарфоровая пром-сть работает на второстепенных местных шпатах и кварцах, сибирская—также на местных материалах, только более высокого качества, чем украинские.

Для изготовления фарфоровых масс необходимо, чтобы отсортированные и опробованные сырые материалы были в тонкоразмолотом состоянии тщательно смешаны между собою до получения совершенно однородной смеси. Поступающие на з-д глины могут итти прямо в смешение. Каменные же материалы должны подвергнуться предварительному тонкому помолу. Перед помолом полевой шпат и кварц подвергаются обжигу при $t°$ до 1 000°. Этот обжиг имеет двоякое назначение: во-первых, после него кварц и полевой шпат значительно легче поддаются размолу и, во-вторых, с трудом отличимые загрязнения полевого шпата и кварца отчетливо выступают после обжига и легко м. б. отсортированы. Крупные обожженные куски кварца или полевого шпата поступают вначале на дробилку (обычно Блека) для грубого размола на куски в 3—5 *см* в поперечнике, после чего идут в промывной барабан для удаления частиц песка, глины, слюды и пр. После промывного барабана для дальнейшего помола материал поступает под бегуны, где он мелется до величины зерна в 1—2 *мм*, затем отсеивается и поступает для окончатель-

ного тонкого помола в шаровые мельницы, размол в к-рых длится, смотря по величине мельницы, 7—12 ч. до содержания от 1—3% остатка при пропуске молотого материала через контрольное сито в 10 000 отв. на 1 *см*². Длительность помола контролируется автоматически путем установки на осях барабанов счётчиков числа оборотов. Особыми желобами молотая масса из шаровых мельниц спускается в баки с мешалками для соединения с глинами. Готовая смешанная масса пропускается для извлечения свободных частиц железа через электромагниты и через тонкие (до 3 600 отв. на 1 *см*²) вибрирующие сита в приемник для жидкой массы, откуда мембранными насосами накачивается в фильтрпрессы для удаления излишней влаги. На фигуре показана уста-



новка для приготовления фарфоровой массы высоковольтных изоляторов, где *A*—шаровая мельница, *C* — смесительный бак, *D* — сита, E_1, E_2—приемники для жидкой массы, *F*—фильтрпресс. Отпрессованная масса с влажностью $22 \div 25\%$ для придания ей полной однородности подвергается тщательному промину на особых мяльных машинах. Перед промином целесообразно фарфоровые массы подвергать длительному вылеживанию в подвалах (не менее 3 недель). Способность масс к формованию после длительного вылеживания резко увеличивается. В составе фарфоровой массы каолин играет основную роль. В процессе обжига, начиная с темп-ры 450°, молекула каолинита начинает разлагаться с отщеплением конституционной воды. Этот распад особенно энергично происходит при *t*° ок. 600°. С отщеплением воды молекула каолинита распадается на аморфный глинозем и кварц. Начиная с 900°, глинозем и кварц образуют новое, вначале аморфное, и с 1 200° начинающее переходить в кристаллич. соединение—муллит состава $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$. Полевой шпат начинает плавиться при 1 200° и в расплавленном состоянии растворяет ок. 70% кварца и ок. 5% глинозема. Образующийся тугоплавкий раствор пропитывает глинистый или муллитовый скелет черепка. Чем совершеннее прошла муллитизация каолинита и чем больше растворилось кварца в полевом шпате, тем прозрачнее получается фарфор и тем выше его механич. прочность. Чем выше содержание в фарфоровых массах каолина, тем выше необходима *t*° для его обжига и тем длительнее он должен производиться, и, наоборот, фарфоровые массы с малым содержанием глин и высоким—плавней требуют для обжига меньше времени и более низкой *t*°.

По своему составу фарфор можно подразделить на две основные группы. Твердый фарфор: 40—55% каолина, 20—30% полевого шпата, 25—30% кварца, и мягкий фарфор: 25—40% каолина, 30—60% полевого шпата, 30—40% кварца. К мягкому фарфору следует отнести также и англ. костяной фарфор. Твердый фарфор подразделяется на хозяйственный (посуда с черепком высокой белизны, просвечиваемости, механич. прочности), электрофарфор (помимо высокой механич. прочности обладает стойкостью к резким колебаниям *t*° и высокой сопротивляемостью к действию токов высоких напряжений) и фарфор для химической посуды и лабораторий (с высокой термической стойкостью и кислотоупорностью). Ниже приведены примеры состава (в %) масс твердого хозяйственного фарфора. Обыкновенный сервиз Берлинской мануфактуры имеет состав:

	I	II	III
Каолина	77	60	—
Глинистого вещества	—	—	66
Кварца	—	18	32
Полевого шпата	23	22	2

Состав русских масс твердого хозяйственного фарфора:

	Ломонос. з-д	Дулевский з-д
Просяновск. каолина	40	20
Глуховского каолина	10	—
Часов-ярск. глины № 5	—	18
Черепа политого	—	10
Кварца	25	33
Полевого шпата	25	18
Мела	—	до 1

Сравнительный химический состав европейских фарфоровых масс:

	Чехослов.	Нимфенб.	Берл.	Севрск.	Лиможск.
SiO_2	74,78	72,80	66,60	66,75	70,20
Al_2O_3	21,30	18,10	28,00	32,00	24,00
CaO	0,64	3,30	0,30	3,50	0,70
MgO	—	0,30	0,30	—	0,10
K_2O	2,18	0,65	3,40	3,00	4,30
Na_2O	1,84	—	—	—	—

Составы масс для высоковольтного фарфора Германии и США:

	Thomas	Lock	Ohio-Beass	Rosenthal	Hermsdorf
Глинист. вещества	39,56	40,31	41,11	39,50	40,21
Полевого шпата	33,52	34,38	36,15	23,92	26,54
Кварца	26,93	25,31	22,74	36,18	33,25

Состав масс для высоковольтного фарфора в СССР:

	Ломонос. з-д	«Изолятор»	Дулевский з-д
Просяновск. каолина	22,5	—	—
Часов-ярск. глины РВ	27	18,5	23
Полевого шпата	18	18,5	25
Кварца	22,5	15,5	25
Бой черепа 2-го обжига	10	13,2	20
Глуховецк. каолина	—	34,3	7

Состав массы для лабораторной посуды Берлинской государственной мануфактуры следующий: 55 весовых частей глинистого вещества, 22,5 вес. ч. полевого шпата, 22,5 вес. ч. кварца. Обжиг производится при *t*° 15—16 SK. Для массы пирометрич. труб з-да им. Ломоносова берут: просяновского каолина 30 вес. ч., часов-ярской глины 30 вес. ч., просяновского каолина прокаленного 30 вес. ч., полевого шпата 10 вес. ч. Мягкий фарфор отличается по своему составу от твердого фарфора бо́льшим содержанием плавней; он обладает меньшей механич. и термич. прочностью и кислотоупорностью. Мягкий фарфор находит применение в изготовлении хозяйственного фарфора (чайной и столовой посуды) и декоративных изделий. Состав наиболее известных масс мягкого фарфора указан в табл. 1, а масс для изготовления искусственных зубов в табл. 2. Масса новосеврская обжигается при температуре 9—10 SK и зегеровская—8 SK.

Табл. 1. — Состав наиболее известных масс мягкого фарфора (в %).

Состав	Японские массы			Китайские массы			Ново-серп.	Зегера
Каолина . . .	24,59	30,90	34,79	30,08	23,5	14.0	40	25
Кварца . . .	40,91	15,33	41,52	30,68	28,0	47,7	24	45
Пол. шпата .	31,50	19,66	23,69	14,82	25,0	5,8	36	30
Слюды	—	—	—	24,49	23,5	32,5	—	—

Табл. 2. — Состав отдельных масс для искусственных зубов (в %).

Состав	Америк. (по Watts'у)	Немецк. (по Eisenlohr'у)	Ломоносовского з-да
Каолина	4	—	—
Полев. шпата плав.	81	73	68,50
Кварца	15	21,6	19,48
Мела	—	2,3	0,55
Глуховской глины 1-го сорта	—	—	9
Рутина	—	—	0,35

Особое место в группе фарфора занимает костяной фарфор, в широком масштабе вырабатываемый в Англии. В качестве флюсующего материала в состав его массы входит фосфорнокислый кальций, получаемый от прокалки костей. Особенностью производства костяного фарфора является более высокий предварительный обжиг с применением свинцовых глазурей; по белизне и просвечиваемости черепок костяного фарфора занимает первое место. Стойкость к резким колебаниям $t°$ у костяного фарфора незначительна, механич. прочность на удар по данным O. Krause такая же, как твердого фарфора. Состав масс костяного фарфора колеблется в сл. пределах: 30—50% костяной золы, 15—30% корнишстона, 15—40% каолина, 0—20% пластич. глины, 0—20% кварца.

Формование фарфоровых изделий м. б. производимо несколькими способами: 1) формование вручную на ножном кругу. Этот способ применяется сейчас в исключительных случаях или в кустарных мастерских; он является наиболее старым и несовершенным, не обеспечивает получения постоянных результатов и базируется исключительно на искусстве мастера; 2) формование во вращающихся гипсовых формах на формовочных станках с помощью соответствующих шаблонов; 3) формование в неподвижных гипсовых формах с помощью нагретого вращающего шаблона (горячее прессование); этот способ применяется преимущественно для формования отдельных видов изоляторов; 4) формование в гипсовых формах литьем при обыкновенном давлении или в случае получения толстостенных плотных черепков с применением высоких давлений (с помощью компрессора); последний способ применяется при отливке больших толстостенных высоковольтных проходных изоляторов; 5) формование изделия с помощью прессования из полусухой массы в стальных формах или матрицах на особых штамповальных станках; этот способ применяется преимущественно для изготовления электротехнич. фарфора; 6) формование изделий путем вытачивания их из подсушенных цилиндров на токарном станке; таким способом оформляются втулки и большинство цилиндрич. изоляторов. Подавляющее большинство изделий хозяйственного фарфора оформляется с помощью шаблона в гипсовых формах на простых точильных машинах или станках. Для формования полых изделий, например корпуса чайника, применяются разъемные гипсовые формы. При формовании плоских изделий, напр. тарелка, блюдце, вначале на особой машинке вытачивается из кома массы пласт в виде блина. Затем пласт массы накладывается на форму и «разводится» до возможно более совершенного облегания формы, и после этого шаблоном ему придается окончательная форма. Правильное разведение пласта является непременным условием при формовании плоских тонких изделий, иначе последние после обжига будут получаться искривленными. Формование фарфоровых изделий, особенно хозяйственных, требует большего количества рабочих рук. Лишь в самое последнее время наметились пути широкой механизации этого процесса (автоматы Дорета, машина Миллера и появившиеся патенты механизации литья). После формования и предварительной подсушки в гипсовых формах изделия имеют шероховатости по краям и швы—в случае применения разъемных форм; эти шероховатости устраняются «оправкой» на точильной машинке с помощью влажной мягкой губки или шкуркой. Такие изделия, как чашки, чайники и т. д., требуют приставки к ним носков и ручек, формующихся отдельно или способом литья или «лепниной».

Сушка отформованных фарфоровых изделий производится на воздухе на стеллажах возле рабочих мест или же в особых сушильных камерах, обогреваемых паром или теплом отходящих газов от тепловых установок.

Обжиг тонкостенных фарфоровых изделий (хозяйственного фарфора) производится в два приема: первый, или предварительный «утильный», обжиг имеет назначение лишь придать черепку необходимую механич. прочность для его оглазурования. Для толстостенных фарфоровых изделий предварительный обжиг не обязателен, так как они достаточно механически прочны в воздушно-сухом состоянии и их легко глазуровать без риска разрушения черепка. Обычно толстостенные изоляторы обжигаются в один прием. После утильного обжига весь товар подвергается «перезвонке» и отсортировке. Отсортированный товар перед глазурованием тщательно обдувается сжатым воздухом перед специальными вытяжными шкафами от пыли. Глазурование фарфоровых изделий почти повсеместно осуществляется простым окунанием изделий в глазурную ванну, к-рая представляет собою эмульсию взвешенных в воде тонко молотых частиц глазури. Плотность глазурной ванны устанавливается ок. 40° Bé. По вынутии изделия из глазурной ванны вода быстро впитывается в тонкие поры изделия, а взвешенные в ней частицы глазури в виде равномерного тонкого слоя оседают на поверхности изделия и, плавясь затем при вторичном обжиге, покрывают изделие равномерным стекловидным слоем.

Фарфоровые глазури в качестве плавней содержат преимущественно полевой шпат и известь или доломит, т. е. плавни, не растворимые в воде, и поэтому фарфоровые глазури в отличие от фаянсовых не подвергаются предварительному сплавлению, а представляют собою тонко молотую физич. смесь составных частей. Фарфоровые глазури с преобладающим содержанием полевого шпата, называемые полевошпатовыми, обладают большой замутненностью, химической устойчивостью и

блеском по сравнению с известковыми глазурями с преобладающим содержанием CaO. Помимо CaO в состав глазурей часто входит MgO, придающий глазурям бо́льшую белизну и блеск, но при большом содержании MgO они делаются весьма восприимчивыми к газовой среде (поглощение свободного углерода). Редко вводимый в состав фарфоровых глазурей ZnO также повышает белизну, блеск и замутненность глазури; Al_2O_3 повышает огнестойкость глазури, ее эластичность и противодействует расстекловыванию; SiO_2 является основным стеклообразующим окислом. Копенгагенская глазурь имеет следующий состав: 6,75 вес. ч. каолина, 48,75 вес. ч. кварца, 28 вес. ч. полевого шпата, 2,75 вес. ч. мела, 13,75 вес. ч. черепа. В состав глазури Дулевского з-да входит: 4 вес. ч. просяновского каолина, 27 ч. кварца, 26 ч. полевого шпата, 16 ч. опоки (доломитизированного известняка), 27 ч. битого черепа. Составы глазурей для мягкого фарфора:

Ново-севрского фарфора $\left\{\begin{matrix}0{,}06\ K_2O\\0{,}09\ Na_2O\\0{,}85\ CaO\end{matrix}\right\} 0{,}5\,Al_2O_3 \cdot 4{,}21\,SiO_2$

Ниже приведены составы глазурей, допускающих обжиг при $t°$ SK 6—8 и SK 9—10.

	SK 6—8	SK 9—10
Полевого шпата	139,0	83,85
Магнезита	89,0	16,9
Окиси цинка	12,2	—
Углекислого бората	98,5	—
Цетлицкого каолина сырого	25,9	45,3
» » прокален.	—	38,8
Мрамора	—	65,0
Кварца	108,0	144,0

Составы фритты и глазурей для костяного фарфора (при $t°$ обжига SK 010a—1,0) приведены ниже:

	Фритта I	Фритта II		Глазурь I	Глазурь II
Корнишстона	34	—	Фритты	70	60
Полевого шпата	—	38	Корнишстона	9	20
Кварца	15	24	Свинц. бел.	21	20
Мела	17	11			
Буры	34	27			

Оглазурованные фарфоровые изделия зачищаются от потеков глазури с мест, не подлежащих оглазуровке, напр. края тонких чашек, ножек изделий и т. п., и затем направляются во второй политой обжиг. Политой обжиг фарфора является самым ответственным моментом в производстве фарфора—при нем протекают основные реакции образования черепка и глазури. Черепок получает в этом обжиге необходимую белизну, просвечиваемость и механич. прочность. Политой обжиг фарфора требует специального как $t°$-ного, так и газового режима, при отклонениях от к-рых изделия получают многочисленные пороки. Чтобы обжечь фарфор без единого порока, требуется большой опыт и искусство. Как в первом, так и во втором обжиге фарфоровые изделия обжигаются в особых шамотных коробках, т. н. *капселях* (см.). Для обжига 1 *m* хозяйственного фарфора требуется ок. 5 *m* капселя. В капселях политые фарфоровые изделия размещаются, «забираются», с большой тщательностью, чтобы не соприкасались при обжиге во избежание «слипыша». Тонкие полые фарфоровые изделия, как чашки и стаканы, во избежание деформации обжигаются на особых, из той же фарфоровой массы выработанных кружках или «бомзах». Капсели с забранным товаром столбами плотно устанавливаются в камере для обжига. Обжиг фарфоровых изделий производится или в печах периодич. действия или же в печах непрерывного действия. Фарфоровые печи, или горны периодического действия, обычно делаются круглыми двухэтажными. В нижней камере производится основной политой обжиг фарфора, в верхней камере одновременно с использованием тепла отходящих газов—предварительный, или утильный, обжиг. Нормальной кубатурой политой камеры круглого фарфорового горна считается 75—100 $м^3$. Фарфоровые горны периодического действия как со стороны расходования топлива, так и трудности регулирования обжигом являются весьма несовершенными. При обжиге фарфора в туннельных печах непрерывного действия достигается по сравнению с обжигом в круглых горнах экономия в топливе до 70%, легкая возможность регулирования как $t°$-ного, так и газового режима при сокращении длительности обжига. Применение туннельных печей для обжига фарфора быстро распространяется на Западе и в США; в СССР реконструкция больших существующих з-дов проходит с установкой туннельных печей; в проектах новых фарфоровых з-дов предусмотрены для обжига фарфора исключительно туннельные печи.

После обжига фарфоровые изделия поступают в сортировочный отдел для сортировки; затем хозяйственный фарфор поступает в живописное отделение з-да. Раскраска фарфора производится вручную, а высокохудожественных изделий—с помощью переводных рисунков, или *декалькомании* (см.), с помощью аэрографии и печати; наибольшее применение имеют переводные рисунки. Обжиг декоративных изделий производится на крупных з-дах уже только в непрерывнодействующих печах муфельного типа. После обжига декоративные изделия просматриваются и поступают на склад готовых изделий для упаковки.

О механич. свойствах фарфора см. *Спр. ТЭ*, т. III, стр. 208—232.

Лит.: Селезнев В., Производство и украшение глиняных изделий в настоящем и прошлом, СПБ, 1894; Лысин Б., Производство фарфора и фаянса, Киев, 1923; Будников П., Керамическая технология, 2 изд., ч. 1—2, Київ—Харьків, 1932—33; Brogniart A., Traité des arts céramiques, P., 1877; Granger A., La céramique industrielle, 2 éd., t. 1—2, P., 1930; Larchevêque M., La fabrication de la porcelaine, t. 1—2, P., 1928—30; Hecht H., Lehrbuch d. Keramik, 2 Aufl., W.—Lpz., 1930; Dietz R., Das Porzellan, Halle a/S., 1907.

С. Туманов.

Фарфоро-фаянсовое производство в России возникло во второй половине 18 в. Наибольшего развития фарфоро-фаянсовая пром-сть в России достигла к 1914 г. Производство достигло большого совершенства, и качество продукции не уступало лучшим заграничным образцам. Почти вся потребность страны в фарфоро-фаянсовых изделиях покрывалась внутренним производством; импортировалось около 3% от всех изделий, потреблявшихся в России, и почти столько же экспортировалось, главн. образом на Восток. Отрицательной стороной экономики фарфоро-фаянсовой пром-сти являлось то, что она почти полностью зависела от европ. стран в отношении снабжения сырьем и полуфабрикатами: каолин получался из Англии, шпат и кварц из Норвегии, сурик и бура из Англии и Германии. Эта зависимость вызвала сокращение производства в период войны 1914—18 гг., когда подвоз сырья и материалов из-за границы был приостановлен. С этого времени начинается организация разведок и добычи отечественного сырья и снабжение ими з-дов. За годы империалистич. и гражданской войн

количество действующих з-дов снизилось; восстановительный период в фарфоро-фаянсовой промышленности прошел относительно успешно. Ниже приведены данные о производстве заводов в фарфоро-фаянсовой промышленности:

	1915	1919	1921/22	1927/28
Число заводов . . .	42	29	14	29
» » рабоч. в тыс.	25,2	19,1	6,6	23,3
Годов. выработка в тыс. *m*	60,0	41,4	41,0	54,4

Значение фарфоро-фаянсовой пром-сти, вырабатывающей предметы широкого потребления (не считая обслуживания электрификации), из года в год возрастает. Развитие коллективизации с. х-ва, усиленное внедрение общественного питания вызывали значительное увеличение спроса на хозяйственные изделия. Реконструкция и развитие линии связи требуют значительного повышения производства низковольтных изоляторов, наконец значительное жилищное и социально-бытовое строительство предъявляют требования на увеличение производства строительного и санитарного фаянса (см. табл. 3). Выработки изделий фарфоро-фаянсовой промышленности, обслуживающие эти нужды, в 1932 г. достигли 63,7 тыс. *m* при 17,4 тыс. рабочих.

Табл. 3.—Удельный вес различных видов продукции (в % от общей суммы).

Вид продукции	1913	1924/25	1927	1932*
Хозяйствен. фарфор .	40	47	28,3	32,0
Хозяйствен. фаянс . .	49	39	46,6	36,9
Электротехнич. фарфор	7	10	19,5	12,8
Санитарно-строит. фаянс	4	4	2,1	8,3
Прочие изделия	—	—	3,5	10,0

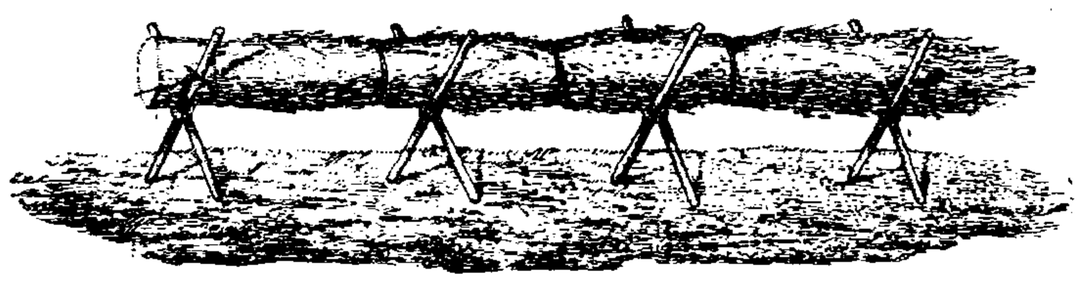
* Только по пром-сти, объединенной НКЛП.

Значительно, в сравнении с довоенным временем, расширился и ассортимент выпускаемой промышленностью продукции. **К. Рабинович.**

ФАСОННАЯ ПРЯЖА, пряжа, которая по внешнему виду отличается чем-либо от обыкновенной крученой пряжи; она придает ткани или другому текстильному изделию специальный внешний вид. Ф. п. сильно зависит от моды и весьма разнообразна как по способу приготовления, так и по характеру и виду. Основными видами Ф. п. являются: 1) сильно крученая пряжа (применяется при выработке крепа, муслина и т. п. тканей), 2) пряжа, скрученная из одиночной пряжи различной тонины и имеющая волнистый вид (ондюле), 3) пряжа, скрученная из одиночной пряжи различных цветов, 4) пряжа с мушками, 5) пряжа с пучочками, 6) пряжа петлями, 7) пряжа кроше, построенная сл. образом: одиночные нити тростятся и крутятся в направлении, обратном их крутке на прядильных машинах, затем скрученные нити вновь тростятся в обратном направлении, 8) пряжа для кружев—спряденная вправо и после тростки сильно скрученная влево. Первые три вида Ф. п., а также пряжа для кружев м. б. получены на обыкновенных крутильных ватерах, необходимы лишь хорошее качество одиночной пряжи и строгие требования к работе для получения возможно равномерной по тонине и по крутке пряжи. Для производства прочих видов Ф. п. применяются специальные крутильные ватеры, причем скорости вращения цилиндров и число оборотов веретен могут изменяться в очень широких пределах. Обычно привод ватера так сконструирован, что каждая сторона его имеет самостоятельное движение (см. *Пряжа*). **В. Линде.**

ФАШИННЫЙ ТЮФЯК, см. *Фашины*.

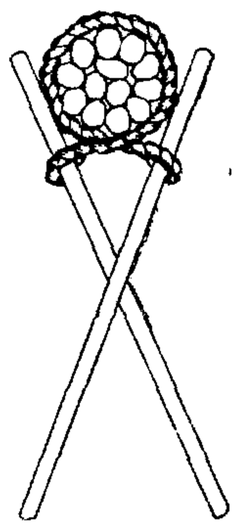
ФАШИНЫ, связанные пучки хвороста, применяемые для возведения гатей, для береговых одежд, для устройства дамб, запруд и других гидротехнических и прочих сооружений. Для изготовления фашин употребляют хворост разных деревьев, по преимуществу ивовых пород. Длина прутьев д. б. не менее 1,8 *м* при толщине в комле 3,8 *см*. Фашинный хворост получается также от тополя, орешника и вообще от лиственных пород. Такой хворост д. б. зимней рубки, причем его применяют для частей сооружения, находящихся постоянно под водою. Хвойный кустарник используется для получения хвороста лишь в исключительных случаях. Хороший материал для фашинных работ целесообразно подготовлять разведением в соответствующих местах наиболее пригодных сортов



Фиг. 1.

ивы, например белотала прутного (Salix viminalis), белотала прилистникового (Salix stipularis), верболоза (Salix acuminata), семенами или черенками, заготовленными из совершенно свежего хвороста (тотчас после его рубки) и посаженными комлями в землю на расстоянии ок. 0,60 *м* друг от друга; черенки берут длиною 0,90 *м* и сажают в заготовленные ямы на глубину около 0,60 *м*. Такие плантации через 2—3 года дают хороший материал для фашинных работ.

Различают однокомельные и двухкомельные Ф.; первые связаны комлями в одну сторону, а вторые—комлями к обоим концам. Длина Ф. должна быть по возможности не менее 2,7 *м* и диам. в комле 30 *см*, причем чем длиннее Ф., тем они лучше связывают кладку. Вязку Ф. производят на козлах (фиг. 1), стягивая крепко через 0,75—1,00 *м* при помощи затяжки (фиг. 2), после чего перевязывают стянутое место *вицею* (см.). Ф. заготовляют при рубке хвороста, причем вследствие ссыхания последнего их приходится при употреблении в дело перевязывать. Однокомельные фашины применяются для нижних слоев фашинной кладки, верхние (выше воды) слои которой составляют из развязанных фашин (из хвороста). Двухкомельные фашины используются для починки топких дорог и для устройства одежд. Фашинную кладку скрепляют кольями (обыкновенно сосновыми) длиною 1,2 *м* и толщиною 5—6,5 *см*. Для погружения слоев фашинной кладки их пересыпают землею, применяя в воде жирные, трудно расплывающиеся глины, а выше воды—суглинки или растительную землю; чистый песок мало пригоден, так как он легко просыпается между Ф. Для загрузки фашинной кладки пользуются также, особенно в опасных местах, булыжным камнем в виде мостовой или каменной наброски, а также крупным гравием и хрящем. Для

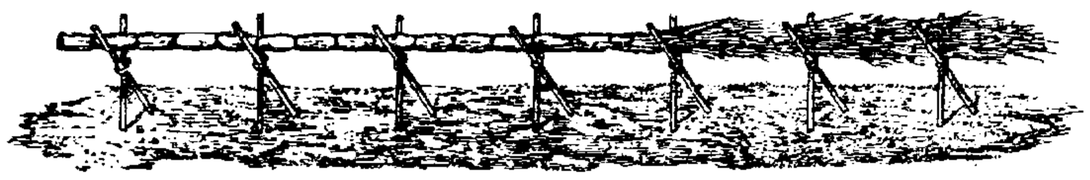


Фиг. 2.

удержания земли или камня и связывания фашинной кладки делают плетни (фиг. 3) из кольев, забитых на расстоянии 20—30 *см* друг от друга и переплетенных свежим хворостом

Фиг. 3.

(желательно ивовым) осенней рубки. Для связывания Ф. и хворостных слоев кладки применяют фашинные канаты, к-рые вяжут из лучшего длинного ивового хвороста, при этом отдельные хворостины д. б. не короче 2,15 *м*. Вязку производят, подобно вязке Ф., на козлах с укладыванием хвороста комлями в одну сторону и перевязыванием его вицами через каждые 20—30 *см* (фиг. 4); необходимо следить



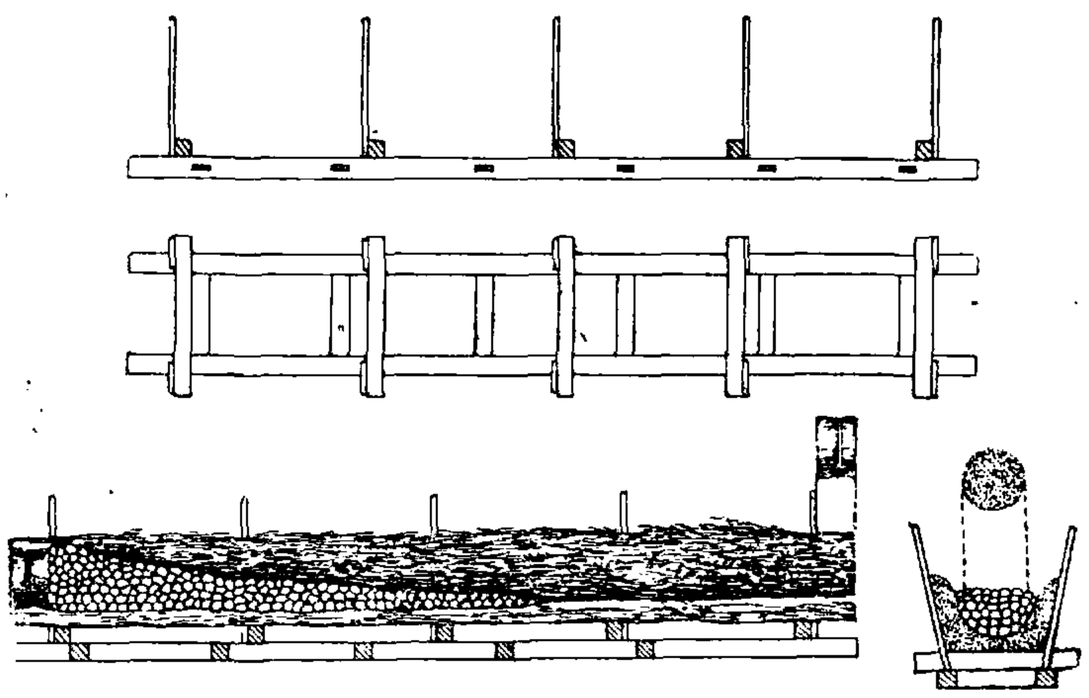
Фиг. 4.

за тем, чтобы одна хворостина заходила за другую не менее как на треть своей длины. Канатам придают ⌀ 10—12 *см* и длину ок. 40 *м*. Чтобы канат выходил по возможности одинаковой толщины по всей длине, необходимо комли хвороста располагать по возможности равномернее по всей длине каната. При вязке прутяные (фашинные) канаты стягиваются крепко, подобно фашине, затяжкой (хомутом).

Фиг. 5.

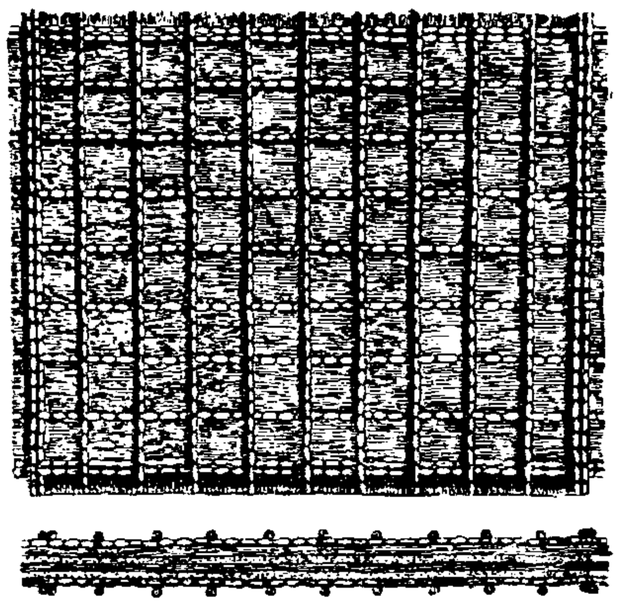
Вязка канатов должна производиться особенно тщательно и притом по мере надобности с тем, чтобы использовать их вскоре после изготовления, так как от солнечных лучей они сохнут, теряя при этом свою гибкость. При заблаговременной заготовке канатов их надлежит хранить зимой в снегу, а летом в воде. Канаты крепят к кладке наклонно забитыми кольями.

Помимо обыкновенных Ф., в целом связанных из хвороста, изготовляют также т я ж е-



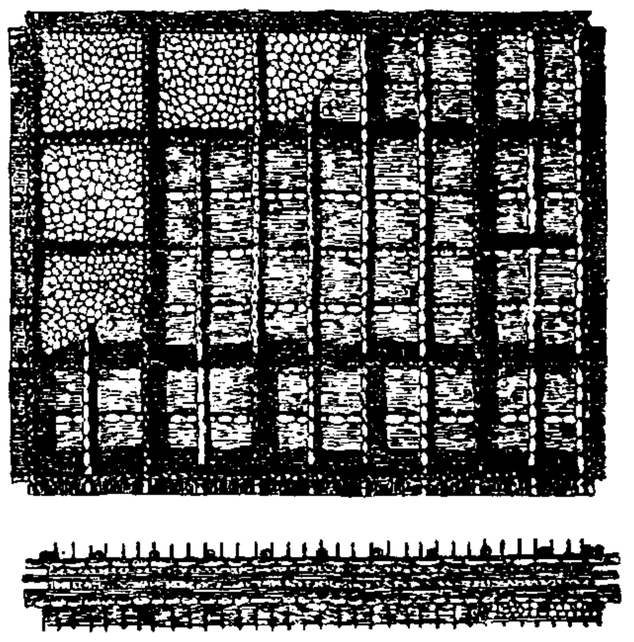
Фиг. 6.

л ы е Ф., состоящие из хворостяной оболочки и каменной начинки (фиг. 5). Тяжелые Ф. вяжут на специальных козлах (фиг. 6) и перевязывают отожженной железной проволокой ⌀ ок. 3 *мм*. Хворост укладывают на козла комлями в обе стороны, образуя днище и бока для помещения камня; по заполнении фашин камнем накладывают сверху слой хвороста и закладывают в обоих концах нарезанные из фашин пробки, чтобы камень не вывалился с концов. Для стягивания хвороста в местах, где назначены перевязки, пользуются стяжными цепями (подобно затяжке для прутяных канатов). Перевязи ставятся через 60—75 *см*. Тяжелые Ф. делают толщиной 0,6—1,0 *м* и длиной 4—6 *м*; они м. б. соединены в длинные валы, связываемые на берегу, причем готовая часть может постепенно опускаться в воду. Тяжелые Ф. используют для огрузки откосов фашинных и других сооружений и для предохранения их от подмыва.



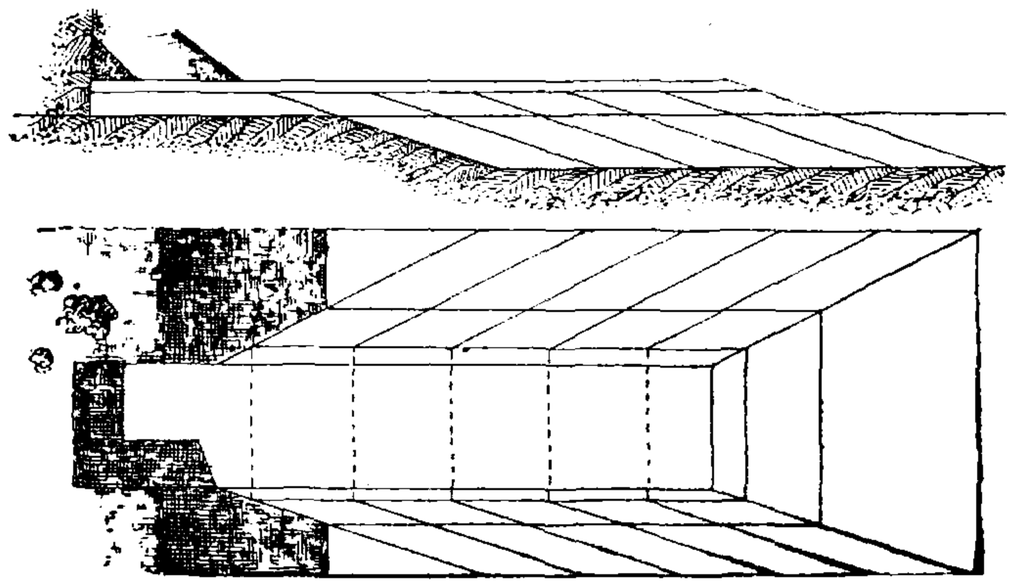
Фиг. 7.

Там, где требуется быстро покрыть значительную поверхность, употребляют фашинные тюфяки, состоящие из верхней и нижней сеток, связанных из фашинных прутяных канатов, из хворостяной кладки между сетками и из устроенных наверху плетневых клеток, заполненных камнем (фиг. 7 и 8). Сетки тюфяков вяжут из канатов, положенных крест-накрест и перевязанных смоленными веревками толщиною не менее 1 *см*; расстояние между осями канатов берут в 0,90 *м*; наружные канаты д. б. двойными; концы веревок от связывания нижней сетки временно прикрепляют к кольям, забитым в землю, чтобы потом теми же веревками связать канаты верхней сетки и плотно стянуть тюфяки; на нижнюю сетку укладывают хворост (развязанные Ф.) в 2—4 слоя, перпендикулярные один к другому; хворост кладется метлами внутрь, а комлями кнаружи тюфяка; после укладки хворостяных слоев накладывают поверх верхнего сетку, стягивая ее веревками с нижней сеткой, как указано выше. Для удержания загрузочного материала на поверхности тюфяка забивают колья, имеющие длину на 30 *см* более толщины тюфяка, по линиям канатов верхней сетки, через несколько клеток один от другого; забивку кольев производят так, чтобы нижние концы их лишь вонзились в нижнюю сетку, не проходя насквозь; верхние, выступающие концы кольев переплетаются ивовым хворостом, образуя плетневые клетки для их загрузки камнем; когда плетней не устраивают, камень загружают в ячейки, образуемые верхней сеткой; камень распределяют ровным слоем по всему тюфяку. Тюфяки делают тонкие и толстые. Первые имеют толщину хворостяного тела в 0,46 *м* и каменной загрузки в 10—16 *см*, у вторых толщина хворостяного тела в 0,60 *м* и каменной загрузки в 13—23 *см*. Тюфяки м. б. неограниченной длины и шириною до 100 *м*.



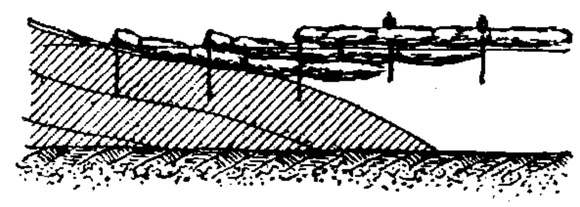
Фиг. 8.

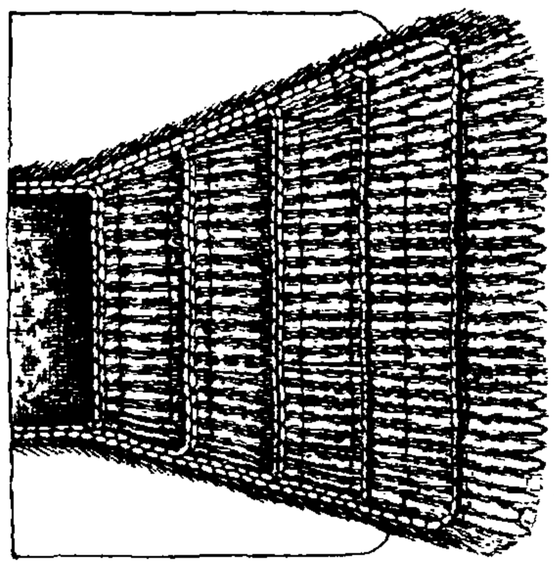
Вязку тюфяков производят на подмостках с наклоном не менее 1 : 10 или на горизонтальной платформе, сооруженной на временных стойках, или на плаву, в стоячей воде, в неглубоких затонах, причем вязку в этом случае



Фиг. 9.

начинают на бревнах. Тюфяки значительной длины изготовляют на воде, на плотах, причем по мере изготовления тюфяка плот передвигается вперед и часть тюфяка при этом опускается на дно или тюфяк вплавь подводится к месту своего назначения, где он и погружается посредством набрасывания на него камней с укрепленных лодок. Нижние канаты сетки должны при погружении тюфяка лечь поперек течения; тюфяки прочно удерживаются канатами и распорками. На сильном течении, какое бывает например у голов полузапруд, тюфяк при наводке приходится удерживать большим числом канатов. Укладка тюфяков в подводные части сооружений производится часто зимою со льда причем, все операции производятся в следующей последовательности: а) данное место очищают от снега; б) устраивают майну (прорубь) на 20—30 *см* больше размеров тюфяка; в) майну перекрывают поперек деревянными пластинами (толщиной 9—13 *см* и шириной 18—22 *см*), уложенными через 0,90—1,00 *м*; г) на пластины натягивают волоком нижнюю сетку тюфяка (связанную на стороне); д) производят вязку тюфяка обычным способом, пропуская в нескольких местах через тело тюфяка т р а в к и (канаты ∅ 4—5 *см*); е) на нек-ром расстоянии от майны забивают в дно реки (через лед) или, при слабом течении, замораживают во льду в о р о т к и (сваи толщиной 18—22 *см*); ж) надевают травки на воротки, одним концом наглухо, другим петлею (для подтягивания или пропускания травки); з) вытаскивают по одной пластине из-под тюфяка, и тюфяк опускается в воду; и) тюфяк перекрывают сверху пластинами, опирающимися концами на лед, и подвешивают к ним снастями через одну; к) нагружают тюфяк камнем, равномерно укладывая последний в ячейки верхней сетки тюфяка; л) перерубают снасти, к которым подвешен тюфяк, причем рабочие стоят на незагруженных пластинах; м) пропуская травки, опускают тюфяк на дно реки. Уложенный тюфяк освобождают от

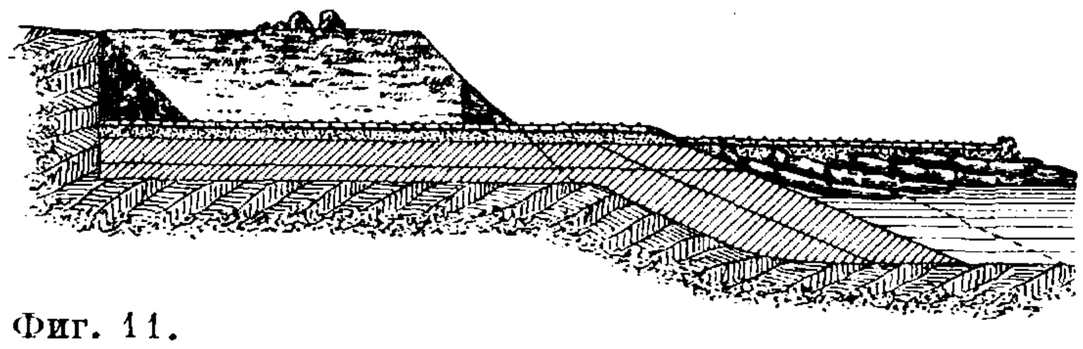




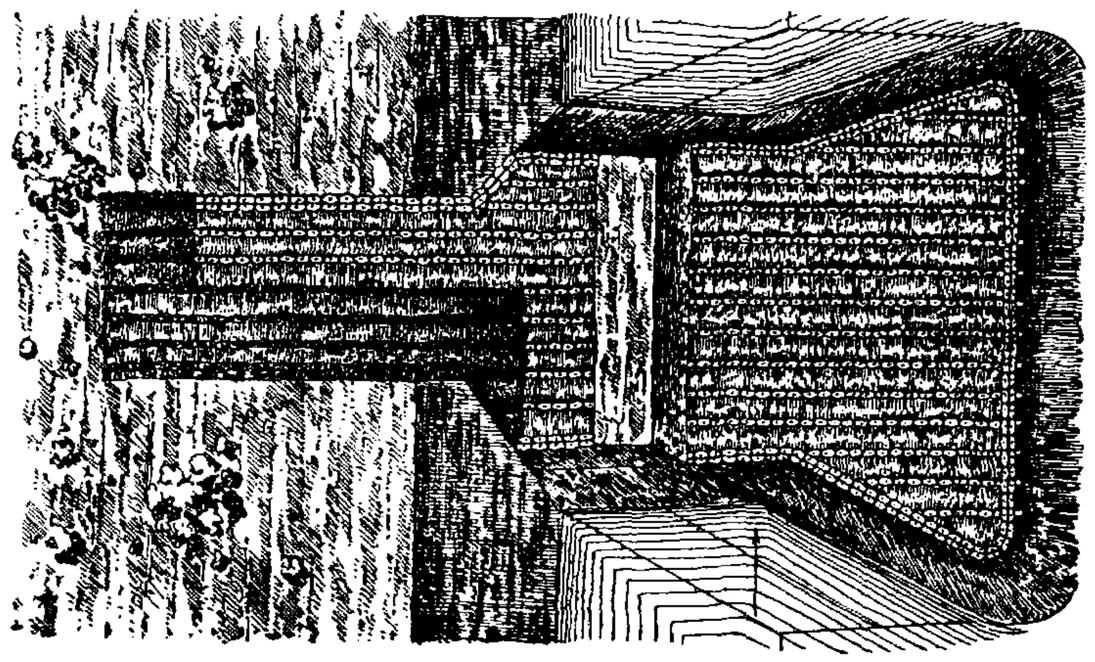
Фиг. 10.

травок при слабом течении через 2—3 ч., при среднем—через 10—12 ч. и при сильном—через 24 ч. после погружения. Способ и род подготовки места для укладки тюфяка, а также самая укладка его в общем находятся в зависимости от назначения тюфяка, от характера места укладки и времени производства работ. Для укрепления основания под сооружением иногда изготовляют л е н т о ч н ы е т ю ф я к и, соответствующие по размерам нижнему очертанию сооружения.

На суше фашинную кладку производят рядами; Ф. каждого ряда соприкасаются комлями; в промежуток между первой линией Ф., отступая на 1,8 *м*, укладывают вторую линию и т. д. на всю ширину сооружения; крайние линии обращаются комлями наружу. Уложив ряд, вколачивают колья через одну-две Ф. и сооружают плетни на расстоянии 0,60—0,90 *м* друг от друга; промежуток между плетнями заполняют трамбованной землей. Для сопряжения фашинного сооружения с берегом обра-



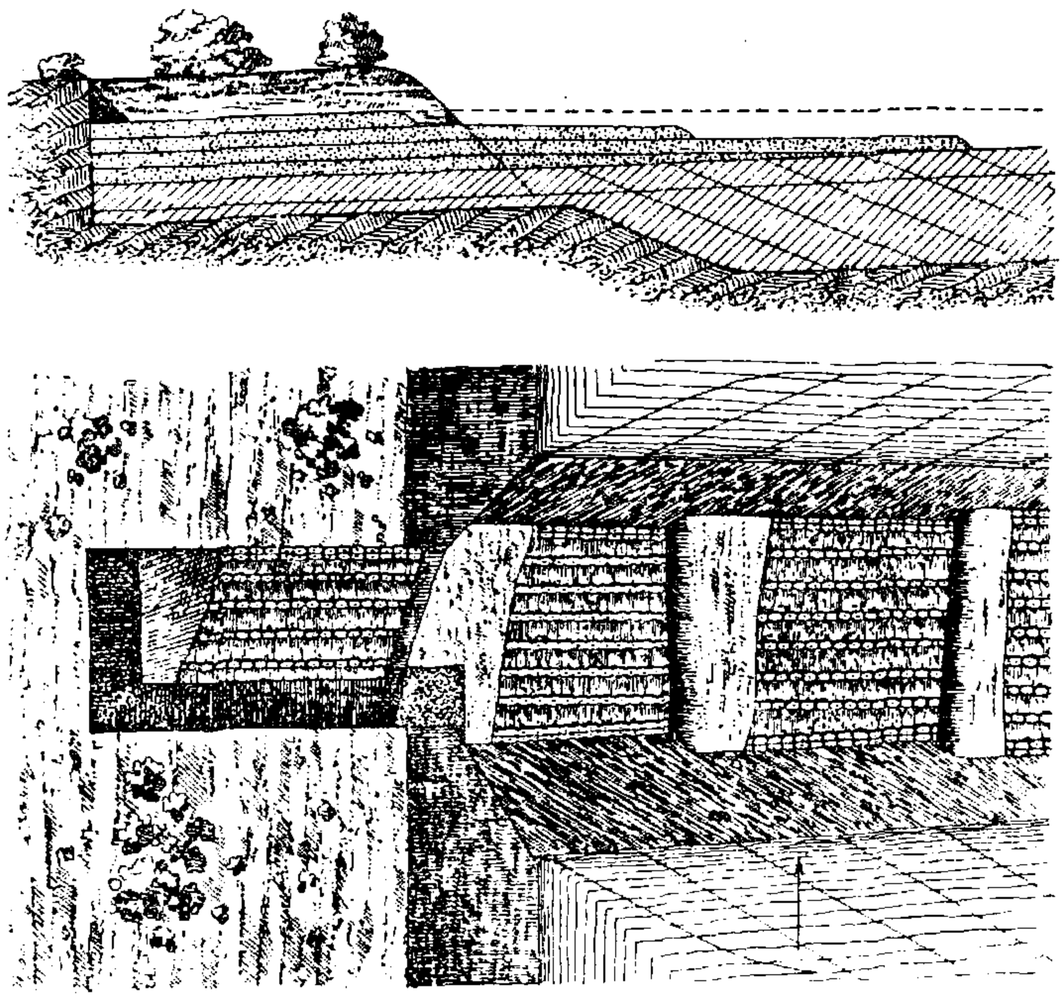
Фиг. 11.



зуют т. н. к о р е н ь с о о р у ж е н и я, чтобы воспрепятствовать течению воды промыть в береге обход сооружения. Котлован, к-рый отрывают для этого с возможно крутыми откосами, врезывают в берег на нек-рую длину (6—16 *м*), причем доводят дно котлована до уровня воды или немного ниже. Для производства кладки корня насухо оставляют земляной порог. С целью заложить корень возможно ниже, его выделывают при наиболее низком уровне воды. При ведении фашинной кладки в котловане последние Ф. слоя выпускают в воду для перехода к подводной кладке.

Подводную фашинную кладку ведут постепенным нарастанием рядов вперед, крепя каждый ряд над водой и затем опуская его огрузкой землей; сооружение в подводной своей части состоит при этом в продольном разрезе из наклонных клинообразных слоев (фиг. 9), носящих название р я д о в или о с н о в а н и й. Для подводной кладки наибольшее применение получил голландский способ вследствие его простоты и прочности кладки. Каждый ряд сооружений по этому способу кладки состоит из выступающего фашинного слоя и слоя хворостяной выстилки. Первый слой укладывают из цельных Ф. параллельно оси сооружения и скрепляют канатами перпендикулярно к этой оси (фиг. 10); второй слой состоит из хвороста,

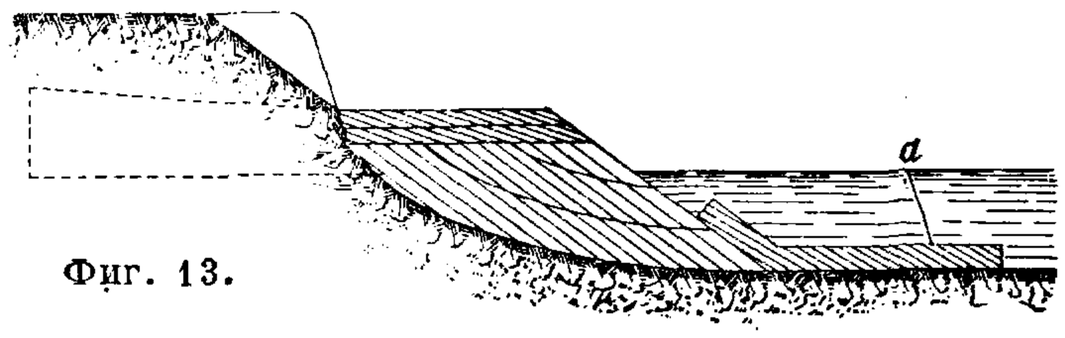
полученного от развязанных Ф., причем хворост укладывают перпендикулярно к оси сооружения и скрепляют канатами параллельно



Фиг. 12.

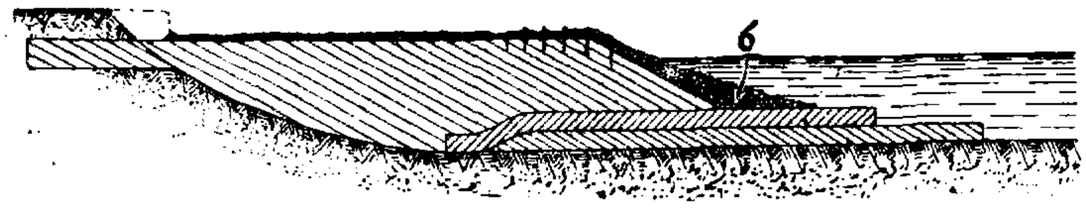
оси (фиг. 11); второй слой накладывают на первый с целью выравнивания кладки предидущего слоя; погружают ряды последовательно в воду огрузкой их землею. Ряды делают возможно тонкими, для чего отдельные веера одного выступающего слоя укладывают с выступом вперед на треть длины Ф. предыдущего ряда, применяя при этом наиболее длинные Ф.

Переходя фашинной кладкой из котлована на воду, расширяют кладку выступающего ряда веером, придавая фашинному сооружению



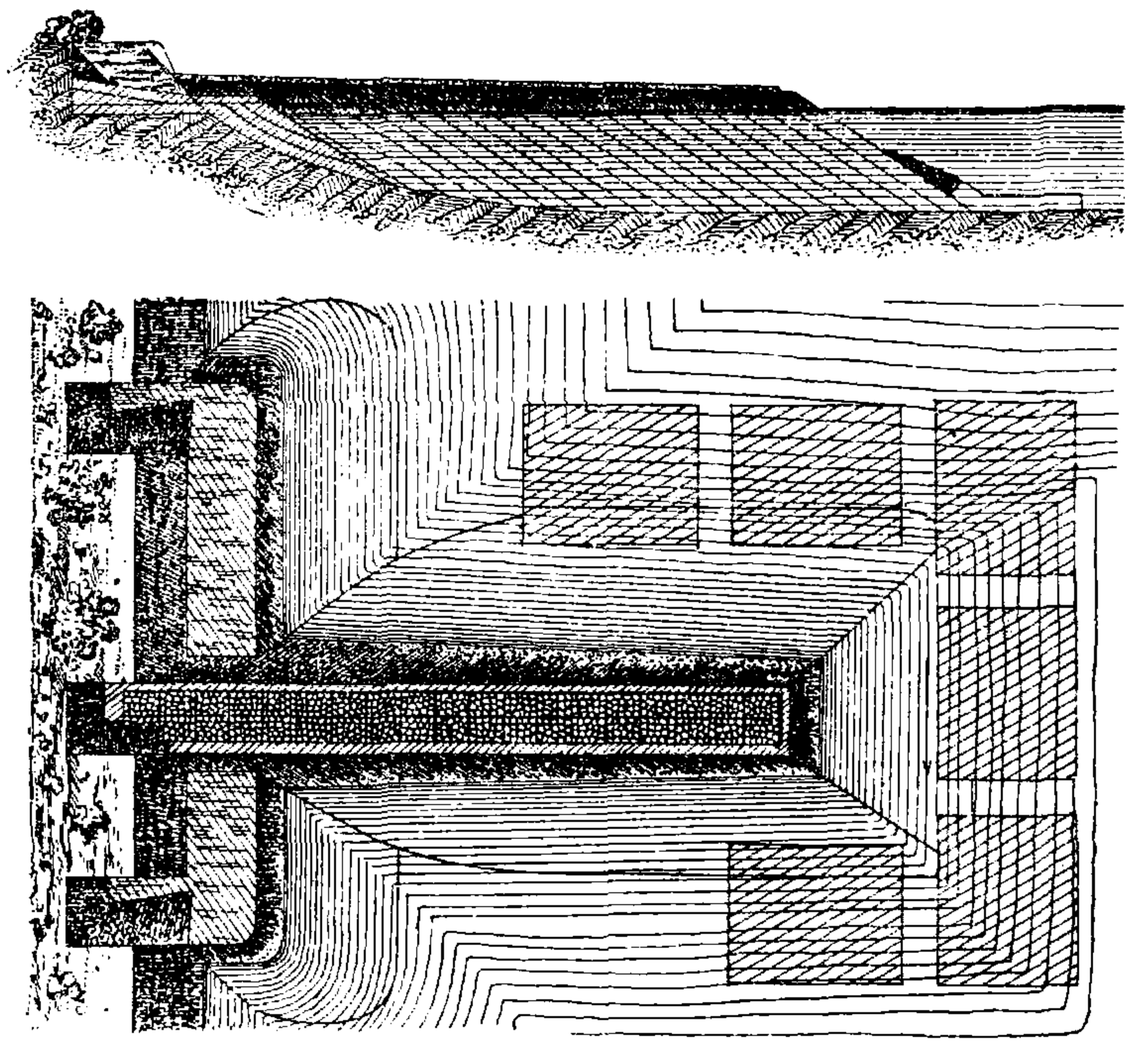
Фиг. 13.

надлежащие откосы: полуторные—на стороне, обращенной к течению, и одиночные—на низовой стороне или в стоячей воде. Поверх кладки располагают венчающие ряды из слоев хворостяной выстилки, доводя тем самым кладку до требуемой высоты (фиг. 12). В наружные откосы пускают в дело свежий ивняк, и работы производят осенью, чтобы хворост мог прижиться. Головы фашинных сооружений, вдающихся на нек-рое расстояние в реку, прижимают ко дну тюфяками *a* (фиг. 13), тяжелыми Ф.



Фиг. 14.

или каменной наброской *б* (фиг. 14). Корень фашинного сооружения защищают от подмыва при помощи о п о я с к и (фиг. 15). Для устройства запруды, долженствующей перегородить русло по всей его ширине, работу ведут с обоих берегов, смыкая полузапруды в середине потока. При сближении головами полузапруд уширяют кладку, выпуская ее веером против течения, чтобы при погружении течение нажало весра друг на друга. Эти работы выполняют форсированно, заготовляя заранее весь необходимый материал, ведя работы круглые сутки и следя за тщательной перевязкой кладки канатами. При смыкании полузапруд канаты с одной головы переводят на другую, связывая оба конца кладки и прижимая откос к грунту тюфяками как с верховой, так и с низовой стороны для предохранения от размыва. С



Фиг. 15.

последней целью иногда бывает полезно погрузить заранее тюфяк на том месте, где придется смыкать кладку (фиг. 15).

Лит.: Б р и л и н г С., Технические свойства строительных материалов, М., 1926; Курс внутренних водных сообщений, под ред. К. Акулова, т. 1, Реки в свободном состоянии, М.—Л., 1927; А к у л о в К. и В е л и к а н о в М., Краткое изложение теорий движения речного потока и методы выправления рек, М., 1928; Л у н д б е р г Э., Материалы и работы, ч. 1, 2 изд., СПБ, 1905; F r a n z i u s O., Der Verkehrswasserbau, B., 1927; Handb. d. Ing., T. 3, B. 7, 5 Aufl., 1924; K r e u t e r F., Der Flussbau, ibid., T. 3, B. 6, 5 Aufl., 1921; S c h o k l i t s c h A., Der Wasserbau, W., 1930; E n g e l s H., Handb. des Wasserbaues, Lpz., 1922; E s s e l b o r n, Lehrbuch des Tiefbaues, 8 Aufl., B. 1, 2, Lpz., 1925. **С. Брилинг.**

ФАЯНСОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО, изготовление фаянса—глиняных изделий с белым или почти белым, плотным, пористым черепком, политым прозрачной или окрашенной непрозрачной эмалевой глазурью. Основными сырыми материалами для изготовления фаянса служат: белая тощая глина или каолин, жирная пластичная глина, кварц или песок, мел или доломит, полевой шпат. По своему составу и $t°$ обжига фаянс подразделяется на легкий глинистый или известковый фаянс и твердый фаянс. Состав глинистого фаянса варьирует в пределах: 25—27% жирной глины, 20—38% каолина, 55—35% кварцевого песка. Глинистый фаянс обжигается при температуре 1—5 SK (1 100—1 180°), обладает легким пористым черепком и применяется для изготовления трубок и фильтров. Известковый фаянс имеет в составе: 40—55% глинистого вещества, 5—20% мела и ~ 40% кварцевого песка. Обжиг его производится при $t°$ 1—4 SK; он обладает легким пористым черепком с незначительной механич. прочностью и применяется для изготовления дешевой хозяйственной посуды. Состав твердого, или полевошпатового, фаянса лежит в пределах: 40—55% глинистого вещества, 55—42% кварца, 4—12% полевого шпата. В качестве примера приводятся англ. и нем. составы масс твердого фаянса (см. таблицу на ст. 779).

Состав твердого фаянса (в %).

Компоненты	Английский				Немецкий			
	1	2	3	4	5	6	7	8
Жирная глина . . .	43	30	24	18	36	60	25	30
Каолин	24	22	27	43	30	—	31	40
Кварц	23	36	36	24	30	35	39	16
Пегматит	10	12	13	15	—	—	—	—
Полевой шпат	—	—	—	—	4	5	5	14

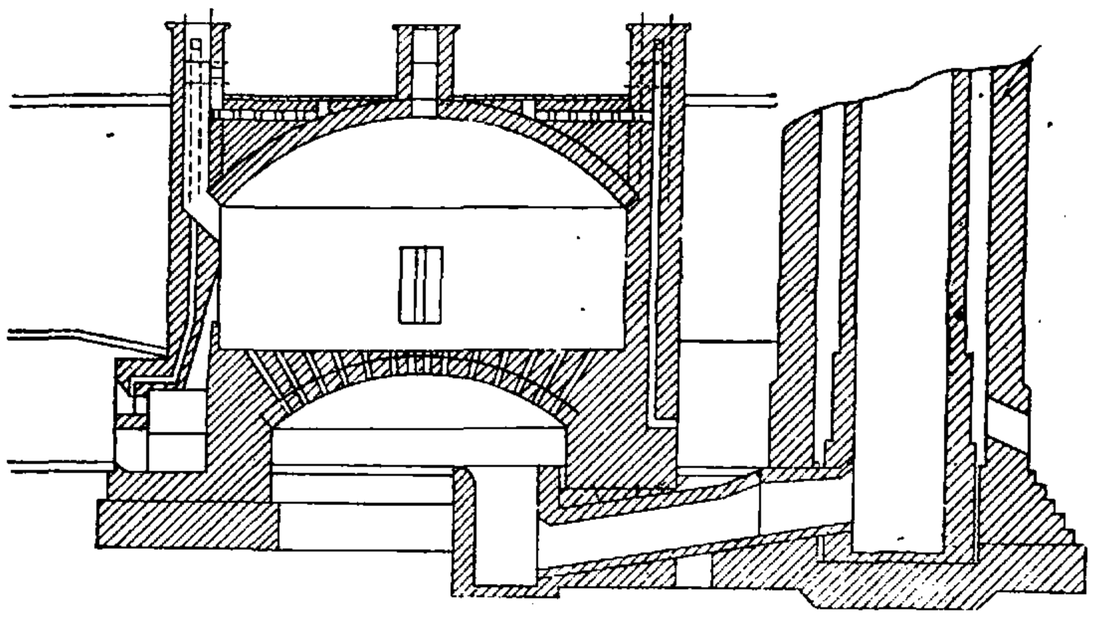
Твердый фаянс обжигают при 5—10 SK (1 180—1 300°). Из всех видов фаянса он обладает наиболее плотным и механически прочным черепком и употребляется для хозяйственной посуды и санитарных изделий.

Известковые фаянсовые изделия в виду значительного распространения известковых глин являются наиболее дешевыми по сравнению с другими фаянсовыми изделиями. Недостатком известкового фаянса является его небольшая механическая прочность, вследствие чего уже в процессе изготовления этих изделий получается много боя. При употреблении доломита или магнезита вместо известкового шпата получается более плотный и прочный черепок при сравнительно низкой $t°$ обжига. В состав магнезиального фаянса (с ф-ки Richard Ginori в Милане) по данным лаборатории Зегер и Крамер в Берлине входят (в %):

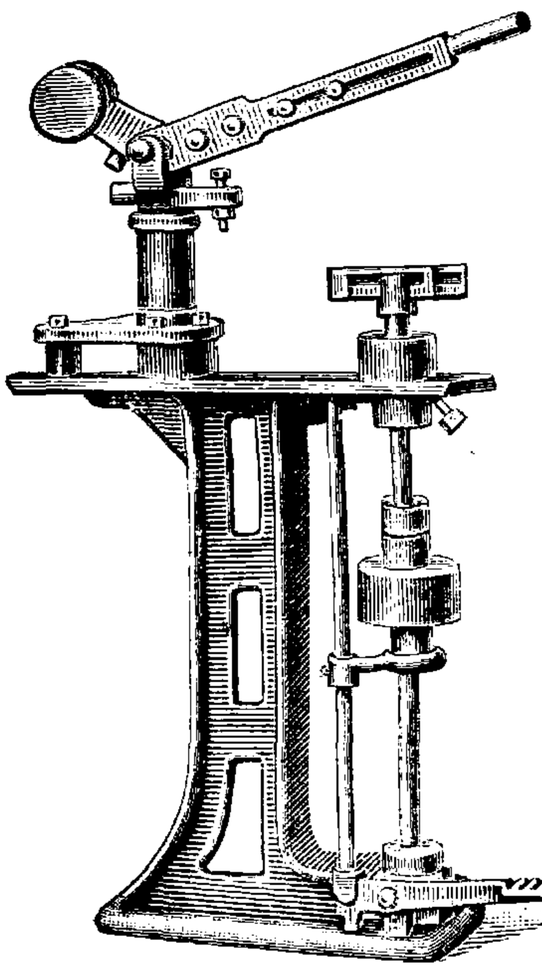
Кремнезем	45,12	Окись магния . . .	18,47
Глинозем	15,81	Окись кальция . . .	0,63
Окись железа . . .	1,12	Потеря при прокал .	0,71

К известковому фаянсу нужно отнести также и фаянс, приготовляемый добавкой щелочной фритты к известковой массе. Состав фритты: кварцевого песка 85 ч., поташа 7 ч., соды 3 ч., мела 5 ч. Состав известкового фаянса: белой глины 24 ч., известкового шпата (или мела) 24 ч., кварца 48 ч., фритты 4 ч.

Процесс изготовления фаянсовой массы аналогичен изготовлению фарфоровой массы (см. *Фарфоровое производство*). Формование хозяйственной фаянсовой посуды производится ручным способом на гончарных кругах, но б. ч. на формовочных станках с механич. приводом (фиг. 1), а также в гипсовых формах с помощью металлического шаблона; формование санитарных фаянсовых изделий преимущественно производят в гипсовых формах способом литья. Отформованные тонкостенные изделия подвергаются сушке в обычных условиях на стеллажах возле рабочих мест, толстостенные же изделия во избежание их растрескивания подвергаются особому режиму сушки в специальных сушилках. Высушенные изделия подвергаются «оправке», т. е. сглаживанию мокрой губкой («мокрый» способ) или шкуркой («сухой» способ) с их поверхности шероховатостей, происшедших от формования. Обжиг производится в два приема. Первый предварительный (утильный) обжиг имеет преимущественное значение для фаянса, так как при нем фаянсовый черепок приобретает свою максимальную плотность и механическую прочность. На фиг. 2 изображена печь для утильного обжига Ф. В зависимости от состава черепка предварительный обжиг производится при различных $t°$, но всегда до начала спекания массы. С целью устранения непосредственного соприкосновения товара с пламенем в процессе обжига последний обжигается в особых толстостенных пористых коробках, т. н. *капселях* (см.). Обжиг фаянса производится или в круглых печах—«горнах»—периодич. действия или же в непрерывнодействующих туннельных печах. В СССР новые заводы проектируются только с туннельными печами. После первого обжига фаянсовые изделия глазуруются таким же способом как и фарфоровые изделия. Очень часто хозяйственный фаянс перед оглазуровкой подвергается раскраске огнеупорными подглазурными керамич. красителями, которые наносятся или кистью, или с помощью пульверизатора, или способом печати.



Фиг. 2.



Фиг. 1.

Изготовление фаянсовых глазурей является делом весьма ответственным в производстве фаянсовых изделий, т. к. глазурь д. б. тщательно подогнана к черепку и должна держаться прочно на его поверхности после обжига. Плохо подогнанные глазури вскоре по охлаждении растрескиваются на поверхности черепка с образованием мелкой сети волосяных трещин или отскакивают с краев изделий. По своему составу фаянсовые глазури представляют сложные щелочные или щелочноземельные свинцовые или бессвинцовые алюмоборосиликаты. Ниже приведены следующие примерные составы глазурей, выраженные в ф-ле Зегера:

Для обжига при $t°$ SK 07a:

$$\left.\begin{matrix}0{,}2\ K_2O\\0{,}25\ Na_2O\\0{,}3\ CaO\\0{,}25\ PbO\end{matrix}\right\}\ 0{,}28\ Al_2O_3\ \left\{\begin{matrix}2{,}1\ SiO_2\\0{,}5\ B_2O_3\end{matrix}\right.$$

Для обжига при $t°$ SK 1a—6a:

$$\left.\begin{matrix}0{,}2\ K_2O\\0{,}05\ Na_2O\\0{,}45\ CaO\\0{,}3\ PbO\end{matrix}\right\}\ 0{,}3\ Al_2O_3\ \left\{\begin{matrix}3{,}0\ SiO_2\\0{,}3\ B_2O_3\end{matrix}\right.$$

$$\left.\begin{matrix}0{,}25\ K_2O\\0{,}25\ Na_2O\\0{,}20\ CaO\\0{,}30\ BaO\end{matrix}\right\}\ 0{,}40\ Al_2O_3\ \left\{\begin{matrix}3{,}2\ SiO_2\\0{,}5\ B_2O_3\end{matrix}\right.$$

$$\left.\begin{matrix}0{,}25\ K_2O\\0{,}75\ CaO\end{matrix}\right\}\ 0{,}35\ Al_2O_3\ \left\{\begin{matrix}3{,}0\ SiO_2\\0{,}75\ B_2O_3\end{matrix}\right.$$

Свинцовые фаянсовые глазури обладают зеркальным блеском, менее капризны в обжиге и заметно повышают яркость красок, но они опасны в виду возможности отравления свинцом рабочих, занятых их изготовлением и оглазурованием изделий. Согласно существующему в СССР постановлению по охране труда рабочих, занятых в фарфоро-фаянсовой пром-сти,

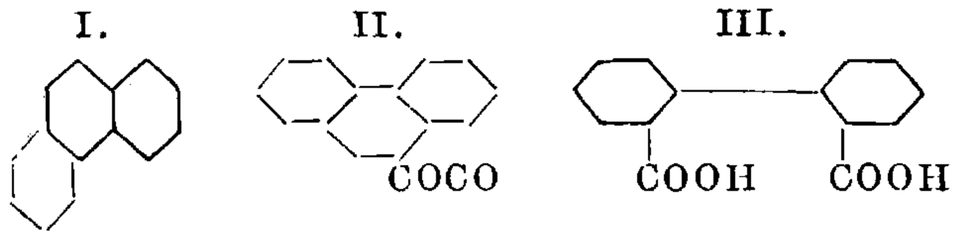
фаянсовые глазури, отдающие при кипячении в течение 1 часа с 1% соляной к-ты 0,3% PbO, считаются вредными и в производстве недопустимыми. Бессвинцовые фаянсовые глазури с $t°$ обжига 5—7 SK прочно привились при изготовлении санитарных изделий. Для хозяйственной же фаянсовой посуды вопрос замены свинцовых глазурей равноценными бессвинцовыми до сих пор не может считаться разрешенным в положительном смысле. Обжиг оглазурованных фаянсовых изделий производится в тех же печах, как и утильный, но при более низких $t°$. Для зеркального блестящего вида глазури необходима окислительная среда.

О механич. свойствах фаянса см. *Спр. ТЭ*, т. III, стр. 208—232. **С. Туманов.**

Лит.: см. *Фарфоровое производство.*

ФЕНАНТРЕН, $C_{14}H_{10}$ (см. строение I), изомер *антрацена* (см.), кристаллизуется из спирта в бесцветных моноклинных листочках с $t°_{пл.}$ 99,6, $t°_{кип.}$ 340°, уд. в. 1,182; 100 ч. абсолютного спирта растворяют при 16° 2,62 ч., при кипении 10,08 ч. Ф. В 100 ч. насыщенного раствора заключается: в спиртовом растворе 4,91 ч. Ф., в бензоле 59,5 ч., в сероуглероде 80,3 ч., в четыреххлористом углероде 26,3 ч., в эфире 42,9 ч., в гексане 9,15 ч. Ф. Растворы показывают слабую синюю флуоресценцию. Окислители переводят Ф. в фенантренхинон (II); энергичное окисление дает дифеновую кислоту (III).

I. II. III.



Ядро фенантрена служит основой многих алкалоидов (морфин, кодеин, тебаин); вместе с антраценом и карбазолом он находится в каменноугольном дегте (см. *Коксобензольное производство*) как существенная составная часть сырого антрацена. Раньше Ф. рассматривали как отброс и перерабатывали на сажу; теперь его применяют в технике взрывчатых веществ: он служит прибавкой к нитроглицериновым взрывчатым веществам (баллистит) и как стабилизатор для нитроклетчатки, а также его перерабатывают на фенантренхинон, из которого приготовляют краситель флавиндулин (см. *Красящие вещества синтетические* и *Хиноны*). **Н. Ельцина.**

ФЕНАЦЕТИН, ацето-*п*-фенетидин $C_2H_5O \cdot C_6H_4 \cdot NH \cdot CO \cdot CH_3$, белые листочки без вкуса и запаха, с $t°_{пл.}$ 135°, растворимые в 1500 ч. холодной и в 80 ч. кипящей воды, в ~16 ч. холодного и в 2 ч. кипящего спирта. Получают Ф. ацетилированием *п-фенетидина* (см.) или этилированием *п*-ацетаминофенола; применяется в медицине как жаропонижающее и при разного рода невралгиях как в чистом виде, так и в виде препарата кефалдоля—смеси из 50% Ф., 32% салициловой к-ты, 5% лимонной к-ты, связанной с Na и хинином.

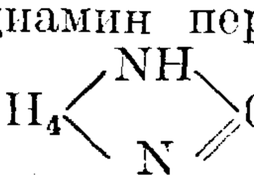
ФЕНЕТИДИН, $C_6H_4(NH_2)(OC_2H_5)$, этиловый эфир аминофенола (см. *Аминофенолы*). Известны *о-* и *п*-изомеры. Первый легко получается восстановлением этилового эфира соответственного нитрофенола (цинковой пылью и серной к-той); маслообразная жидкость с $t°_{кип.}$ 229° (ацетильное производное его с $t°_{кип.}$ 254°); служит промежуточным продуктом при получении *азокрасителей* (см.), а также для приготовления гветола (см. *Пирокатехин*). Второй изомер—*п*-фенетидин—жидкость с $t°_{пл.}$ 2,4° и $t°_{кип.}$ 254°; D^{15} 1,0613; служит промежуточным продуктом при получении *азокрасителей* (см.). Ацетильное производное его есть *фенацетин* (см.); дульцин, производное *п*-фенетидина и мочевины $NH_2 \cdot CO \cdot NH \cdot C_6H_4 \cdot OC_2H_5$, иглы с $t°_{пл.}$ 173°—синтетическое сладкое вещество (в 200 раз слаще сахара); см. *Спр. ТЭ*, т. I, стр. 468.

ФЕНЕТОЛ, $C_2H_5OC_6H_5$, этиловый эфир фенола (см. *Фенолы*).

ФЕНИЛЕНДИАМИНЫ, диаминобензолы общей ф-лы $C_6H_4(NH_2)_2$; известны 3 изомера (*о-*, *п-* и *м-*). *о*-Фенилендиамин, 1,2-диаминобензол, получается восстановлением *о*-нитроанилина или *о*-динитробензола; кристаллизуется из хлороформа в бесцветных блестящих листочках с $t°_{пл.}$ 102—103°; $t°_{кип.}$ 252°; трудно растворим в холодной воде, хорошо—в спирте, эфире и хлороформе. Для него характерна способность к конденсации с образованием новых ядер: так, при обработке горячего раствора солянокислого *о*-фенилендиамина раствором хлорного железа выделяются красные (рубиновые) кристаллы солянокислого

диаминофеназина $C_6H_4C_6H_2(NH_2)_2$;

при кипячении с муравьиной или уксусной кислотами *о*-фенилендиамин переходит в бензимидазол



C_6H_4CH, который выделяется при прибавлении щелочи. Применяют *о*-фенилендиамин для крашения волоса, меха и перьев и как промежуточный продукт при синтезе ряда красителей.

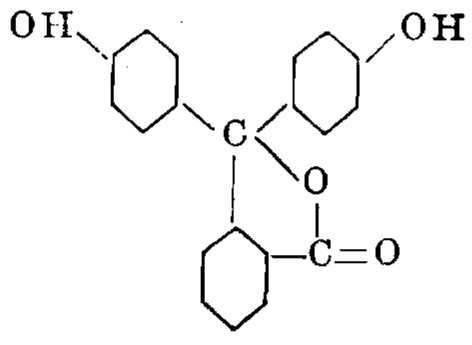
м-Фенилендиамин, 1,3-диаминобензол, получается восстановлением *м*-динитробензола; масло, с температурой плавления 63° и температурой кипения 287°; легко растворим в воде, мало постоянен при хранении; более прочна его солянокислая соль; прибавление к нейтральному ее раствору нитрита калия вызывает появление окраски (образование бисмарка коричневого); реакция характерна для всех *м*-диаминов; ею пользуются для их обнаружения. *м*-Фенилендиамин применяется в крашении и печатании тканей, в производстве азокрасителей (бисмарка коричневого, хризоидина и др.).

п-Фенилендиамин, 1,4-диаминобензол, получается восстановлением *п*-нитроанилина (цинковой пылью или электролитическим путем) или *п*-аминоазобензола; кристаллизуется в воде в моноклинных кристаллах с $t°_{пл.}$ 139,7° и $t°_{кип.}$ 267°; легко растворяется в спирте и эфире, хуже в воде, действием окислителей (нагреванием с MnO_2 и серной к-той) переводится в хинон. Для него характерна цветная реакция (общая для всех *п*-диаминов): при обработке сероводородом и хлорным железом в разбавленном кислотном растворе он образует фиолетовый краситель (лаута фиолетовый); при окислении с моноаминами дает синие красители, *индамины* (см.), применяется в крашении и печатании тканей и для окраски мехов (см. *Урсолы*). *п*-Фенилендиамин ядовит, поражает подобно анилину почки и пищеварительные органы (см. *Заболевания профессиональные*).

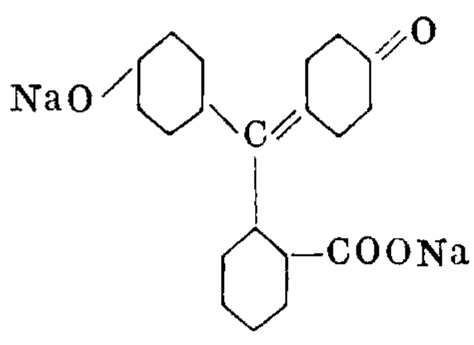
Лит.: Ворожцов Н., Ступени в синтезе красителей, Л., 1926. **Н. Ельцина.**

ФЕНОЛФТАЛЕИН, красящее вещество, получаемое при конденсации фталевого ангидрида с фенолом в присутствии водосвязывающих веществ, как хлористый цинк или серная

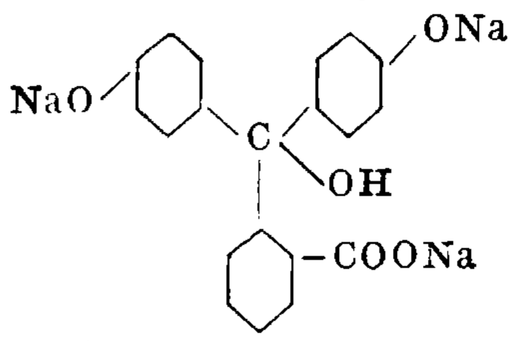
к-та (см. *Красящие вещества* синтетические). Ф. находит применение почти исключительно в качестве индикатора, так как весьма чувствителен к щелочам. Свободная к-та Ф. бесцветна, в то время как ее щелочная соль красного цвета. Избыток щелочи вновь обесцвечивает Ф., вероятно переводя его в производное трифенилкарбинола. По хиноидной теории строения красящих веществ эти три формы Ф. имеют следующее строение:



бесцветное соединение



красное соединение



бесцветное соединение

Ф. является весьма слабой к-той, вследствие чего применим лишь при титровании едких щелочей, но не аммиака и углекислых щелочей. Красная двунатриевая соль Ф. обесцвечивается при пропускании углекислоты. Ф. в виде его сульфокислоты, равно как и ряд родственных ему соединений, находит большое применение при работах, связанных с определением концентрации водородных ионов. Ниже приведена составленная Кларком таблица индикаторов Ф.

Наименование индикатора	Продажные названия	Переход цвета	Границы pH
Тимолсульфофталеин (кислая обл.)	Тимоловый синий	Красный—желтый	1,2÷2,8
Тетрабромфенолсульфофталеин	Бромфеноловый синий	Желтый—синий	3÷4,6
Дибром-*о*-крезолсульфофталеин	Бромкрезоловый пурпурный	Желтый—пурпурный	5,2÷6,8
Дибромтимолсульфофталеин	Бромтимоловый синий	Желтый—синий	—
Фенолсульфофталеин	Феноловый красный	Желтый—красный	6,8÷8,4
о-Крезолсульфофталеин	Крезоловый красный	Желтый—красный	7,2÷8,8
Тимолсульфофталеин (щелоч. обл.)	Тимоловый синий	Желтый—синий	8÷9,6
о-Крезолфталеин	Крезолфталеин	Бесцветный—красный	8,2÷9,8

Лит.: Clark W., The Determination of Hydrogen Jons, 2 ed., Baltimore, 1922. **И. С. Иоффе.**

ФЕНОЛЫ, важнейший класс органических соединений, характеризуемый наличием гидроксильной группы, замещающей водород бензольного ядра. В зависимости от числа гидроксильных групп различают одноатомные и многоатомные фенолы. По своей распространенности, размерам и многообразию промышленного применения выдающееся место занимает простейший Ф.—C_6H_5OH, т. н. карболовая кислота. Он кристаллизуется в бесцветных иглах или призмах специфич. запаха; $t°_{пл.}$ 41,5—43°, $t°_{заст.}$ 40,5—40,9°, $t°_{кип.}$ 181,3° (при 760 *мм* Hg). D_{20}^{20}—1,0722; теплота сгорания при постоянном давлении 768,76 Cal. На воздухе и на свету Ф. окрашивается в розовый цвет; примесь восстановителей, как $SnCl_2$, препятствует окрашиванию, следы металлов, как Fe, Cu, а также аммиак и некоторые производные ускоряют его. Контроль чистоты Ф. при приемках и в заводских лабораториях производится гл. обр. по определению $t°_{заст.}$ и по растворимости в 15%-ном растворе NaOH. Влажность, притягиваемая фенолом из воздуха, значительно понижает $t°_{пл.}$: известен гидрат его $C_6H_5OH \cdot H_2O$ с $t°_{пл.}$ 17,2°. С бо́льшим количеством воды карболовая кислота образует при обыкновенной $t°$ две несмешивающиеся жидкости—раствор фенола в воде и раствор воды в феноле. При 15° 100 ч. Ф. растворяют 37,4 ч. воды и 100 ч. воды растворяют 8,2 ч. фенола; при температурах выше 65° Ф. смешивается с водой во всех соотношениях. Фенол чрезвычайно легко растворим в спирте, серном эфире, бензоле, глицерине и ледяной уксусной кислоте, труднее в лигроине. Растворимость в щелочах основана на образовании солей—легко гидролизуемых феноля́тов, разлагаемых углекислотой. C_6H_5OH является продуктом обмена веществ животного организма и встречается в небольших количествах в моче; он обнаружен также среди продуктов гниения белка. Ф. ядовит, особенно при нанесении на раны, свертывает белок и обладает значительным кожным действием. Смертельная доза при приеме внутрь не менее 8—10 *г*; как противоядие применяется сахарат кальция. Присутствие C_6H_5OH обнаружено в остатках от перегонки нефти нек-рых месторождений, а также в сосновых шишках и иглах; Ф. образуется при многих пирогенетических процессах: при сухой перегонке дерева, бурого угля и каменного угля. Каменноугольная смола является основным сырьем для промышленного получения Ф. (см. *Коксобензольное производство*, переработка каменноугольной смолы). Смесь среднего масла с нек-рыми погонами легкого и тяжелого масел, перегоняющаяся в интервале 160 ÷ 250°, содержит 25 ÷ 40% Ф., гл. обр. C_6H_5OH; бо́льшая часть нафталина удаляется охлаждением; карболовое масло с $t°_{кип.}$ 160 ÷ 205°, содержащее 35 ÷ 40% Ф., подвергается обработке раствором едкого натра, причем сперва растворяется C_6H_5OH, а затем, при избытке щелочи,—*крезолы* (см.), на чем и основан один из методов отделения последних от C_6H_5OH. Пропусканием пара отгоняют из щелочной жидкости углеводороды и пиридиновые основания, пропускают через фильтрпрессы и осаждают C_6H_5OH углекислотой. Фракционированной перекристаллизацией получают чистую карболовую к-ту. Выход 0,3 ÷ 0,5% от веса каменноугольной смолы. Большое технич. значение имеет также получение синтетич. C_6H_5OH путем сплавления бензосульфокислого натрия с едким натром:

$$C_6H_5SO_3Na + NaOH = C_6H_5OH + Na_2SO_3.$$

Для получения бензосульфокислого натрия бензол сульфируют дымящей серной к-той при 50—70° в течение 30 ч. Продукт реакции нейтрализуют известковым молоком и фильтруют. Растворимая в воде кальциевая соль бензосульфокислоты обрабатывается раствором соды. После отделения карбоната кальция выпариванием получают натриевую соль с содержанием ок. 10% воды. Само сплавление с едким натром производят в железных котлах,

снабженных мешалками, при 340°. Продукт реакции обрабатывается небольшим количеством воды для отделения более растворимого фенолята натрия от большой части сульфита (последний используется в технологич. процессе взамен соды для превращения кальциевой соли бензосульфокислоты в натриевую). Из раствора фенолята получают C_6H_5OH пропусканием SO_2, CO_2 или прибавлением H_2SO_4; очистку производят перегонкой. Выход чистого кристаллич. Ф. составляет 75÷80% от веса исходного бензола. За последнее время получает распространение метод получения Ф. путем гидролиза хлорбензола 15—20%-ным раствором NaOH в течение 8 час. при $t° \sim 300°$. Из лабораторных способов получения различных Ф. важнейшим является диазотирование нитритом натрия соответствующих аминов и превращение образующихся водных растворов диазосоединений нагреванием в Ф., напр. для простейшего Ф.

$$C_6H_5\cdot N_2\cdot Cl+H_2O=C_6H_5\cdot OH+HCl+N_2.$$

C_6H_5OH образуется также непосредственно из бензола при окислении воздухом или перекисью водорода в присутствии катализаторов.

Характерной для C_6H_5OH является фиолетовая окраска с раствором хлорного железа. Наиболее же чувствительной реакцией для обнаружения следов Ф. является получение желтого осадка, дающего с HNO_3 красный раствор при нагревании с милоновым реактивом—раствором азотнокислой закиси ртути, содержащим продукты разложения азотистой к-ты, т. е. нитрозные газы. Количественное определение Ф. производится обычно превращением его бромом in statu nascendi в трибромфенилбромид; последний выделяет из иодистого калия иод по ур-ию:

$$C_6H_2Br_3OBr+2KJ=C_6H_2Br_3OK+KBr+2J.$$

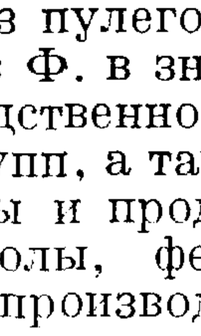
Выделившийся при этом иод оттитровывается раствором гипосульфита.

Ф. имеет широкое применение в анило-красочной пром-сти для получения многих важнейших красителей. В производстве взрывчатых веществ Ф. служит сырьем для получения пикриновой кислоты. В фармацевтич. пром-сти из фенола получают салициловую кислоту и ее производные (аспирин, салипирин, салофен, салол); Bi-соль трибромфенола находит широкое применение под названием ксероформа; Ф. служит сырьем для получения *n*-оксифениларсиновой к-ты—исходного продукта для получения сальварсана. Получаемый из Ф. салициловый альдегид $C_6H_4\langle^{OH}_{CHO}$ перерабатывается в ценное душистое вещество—кумарин. Большое значение для парфюмерной пром-сти имеют также эфиры Ф., получаемые обычно действием соответствующих бромистых соединений на феноляты, напр.

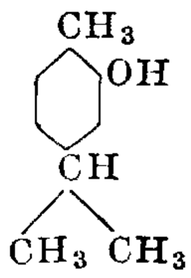
$$C_6H_5OK+BrC_2H_5=C_6H_5OC_2H_5+KBr.$$

Метиловый эфир $C_6H_5OCH_3$—*анизол* (см.); этиловый эфир—*фенетол* (см.). Дифениловый эфир $O(C_6H_5)_2$ ($t°_{кип.}$ 252—259°, $t°_{пл.}$ 27°) применяется как душистое вещество (запах герани). Общеизвестно применение фенолов для целей дезинфекции; однако вследствие своей ядовитости он постепенно вытесняется из этой области крезолами и специальными препаратами, напр. лизолом. Важнейшее значение имеет Ф. в производстве искусственных смол и пластич. масс. Наконец Ф. является сырьем для получения трифенилфосфата, широко применяющегося как смягчитель для нитролаков и как суррогат камфоры.

Высшие гомологи Ф. являются производными соответствующих углеводородов—толуола (см. *Крезолы*), ксилола (см. *Ксиленолы*) и т. д., их физич. и химич. свойства весьма напоминают Ф. Помимо крезолов технич. применение находит лишь тимол



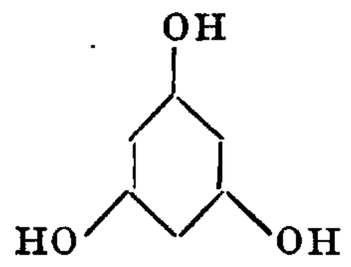
получаемый из эфирного масла (Thymus serpyllum), как антисептик и в особенности как пропитка, предохраняющая от развития плесени. Изомерное соединение карвакрол



близко по структуре группе *терпенов* (см.) и м. б. получено из пулегона. Наличие гидроксильной группы в Ф. в значительной степени облегчает непосредственное введение в ядро нитро- и сульфогрупп, а также хлора и брома. Нитрофенолы и продукты их восстановления — аминофенолы, фенолсульфокислоты, галоидофенолы и производные этих соединений имеют значительное техническое применение; *n*-хлорфенол ($t°_{пл.}$ 37°, $t°_{кип.}$ 217°) применяется как антисептик и служит для получения некоторых красителей типа хинизарина; *o*-хлорфенол ($t°_{пл.}$ 7°, $t°_{кип.}$ 173—176°) служит для получения *пирокатехина* (см.) и применяется как средство борьбы с вредителями; 2, 4, 6-трибромфенол ($t°_{пл.}$ 95—96°) применяется как антисептик под названием бромол; *n*-нитрофенол ($t°_{пл.}$ 113°) и соответствующее *o*-соединение ($t°_{пл.}$ 44,5°) служат для получения сернистых красителей и для производства соответствующих метиловых и этиловых эфиров аминофенолов: *анизидина* (см.) и *фенетидина* (см.).

Многоатомные Ф. Наиболее важным синтетич. методом получения многоатомных Ф. является сплавление соответствующих многоатомных сульфокислот, а также галоидозамещенных и сульфокислот простейших Ф. с едкими щелочами. Многоатомные Ф. могут быть также получены окислением одноатомных Ф. или соответствующих ароматич. углеводородов при помощи перекиси водорода или персульфата калия. Нек-рые многоатомные Ф. и их производные получаются технически из естественных продуктов, напр. пирогаллол, флороглюцин, или образуются в результате пирогенетич. процессов. Для большинства многоатомных Ф. характерна чрезвычайно легкая окисляемость, особенно в щелочном растворе, на чем иногда основано их технич. применение, напр. пирогаллола—для определения кислорода в газовых смесях и как проявителя в фотографии, гидрохинона—как проявителя. С раствором хлорного железа многоатомные Ф. дают характерные окрашивания. Важнейшими многоатомными Ф. и их производными, нашедшими применение в пром-сти, являются: *пирокатехин* (см.), *гваякол* (см.), *пирогаллол* (см.), *резорцин* (см.), *гидрохинон* (см.), *ванилин* (см.), стифниновая кислота (тринитрорезорцин); последняя является взрывчатым веществом и желтой краской для шерсти и шел-

ка; получают ее действием разбавленной азотной к-ты на резорцин.

Флороглюцин 

, симметрич. триоксибензол ($t°_{пл.}$ 217°), применяется как реактив на *фурфурол* (см.) и для открытия древесины в бумаге (красное окрашивание).

Лит.: Nouvel O., Die Industrie der Phenol-Aldehyd-Harze, Halle a/S., 1931; Lunge G. u. Köhler H., Die Industrie des Steinkohlenteers und des Ammoniaks, 5 Aufl., B. 1, p. 724—772, Brschw., 1912. **Л. Зорохович.**

ФЕНОЛЯТЫ, солеобразные металлич. производные *фенолов* (см.) общей формулы ROMe, где R—ароматич. радикал, а Me—одновалентный металл. Ф. аналогичны *алкоголятам* (см.).

ФЕРМА ПРИНЦИП, геометрическая оптика, утверждает, что оптич. путь, пробегаемый световым лучом от точки A до B через какие угодно промежуточные среды, разделяемые преломляющими поверхностями, будет экстремальным, т. е. соответствует минимуму или максимуму. Обозначая переменный показатель преломления через μ и элемент пути через ds, в математич. форме Ф. п. можно записать так:

$$\delta \int_A^B \mu\, ds = 0, \qquad (1)$$

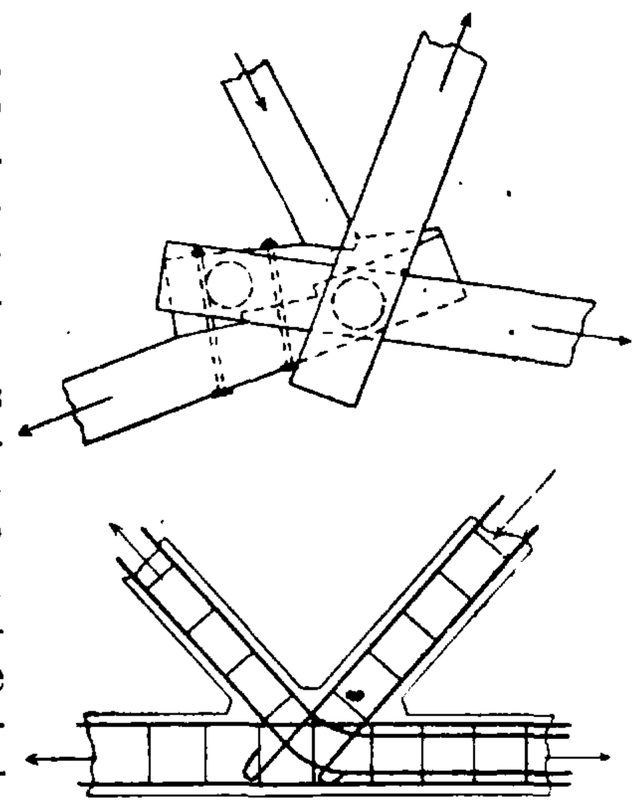
где δ—знак вариации. С точки зрения Ф. п. основная задача геометрич. оптики—определение пути луча—есть частная проблема *вариационного исчисления* (см.). Такой метод математич. решения задач геометрич. оптики в систематич. форме впервые проведен Гамильтоном и в настоящее время является довольно распространенным в специальной литературе. Ферма вывел свой принцип из рассмотрения простейших задач геометрич. оптики об отражении и преломлении света на плоской поверхности. Из элементарных геометрических соображений легко доказать, что реальный световой луч, подчиняющийся законам отражения и преломления, соответствует минимальному возможному времени прохождения между заданными точками A и B при соблюдении поставленных условий (напр. отражение от данной поверхности). Обратно, из Ф. п. можно вывести законы отражения и преломления. Световой путь, т. е. $\int_A^B \mu\, ds$, не всегда является однако минимальным. Отражение от вогнутого зеркала—пример случая, когда световой путь между точками A и B, наоборот, максимальный. Ф. п. не является вполне точным оптич. принципом, пределы его приближенной применимости ограничиваются областью геометрической оптики, где можно пренебречь диффракцией, т. е., строго говоря, только для волн бесконечно малой длины. Для явлений диффракции Ф. п. теряет смысл, как в этом можно убедиться на любом примере.

Вариационный принцип (1) м. б. сопоставлен и даже отождествлен с вариационными принципами динамики, поэтому он м. б. справедлив только при тех условиях, когда дифференциальное волновое линейное ур-ие второго порядка практически совпадает с основным дифференциальным уравнением динамики, являющимся ур-ием первого порядка и второй степени (ур-ие Гамильтона-Якоби). Как показано впервые Дебаем, это и имеет место при переходе к чрезвычайно коротким волнам. Таким образом Ф. п. не является в сущности принципом, но только частной приближенно верной теоремой, к-рую можно вывести либо из волнового ур-ия либо из эквивалентного последнему принципа Гюйгенса (см. *Гюйгенса принцип*) при переходе к бесконечно коротким волнам. В наст. время Ф. п. сохранил исключительно практич. значение как математический метод, удобный в нек-рых случаях для оптотехнических расчетов.

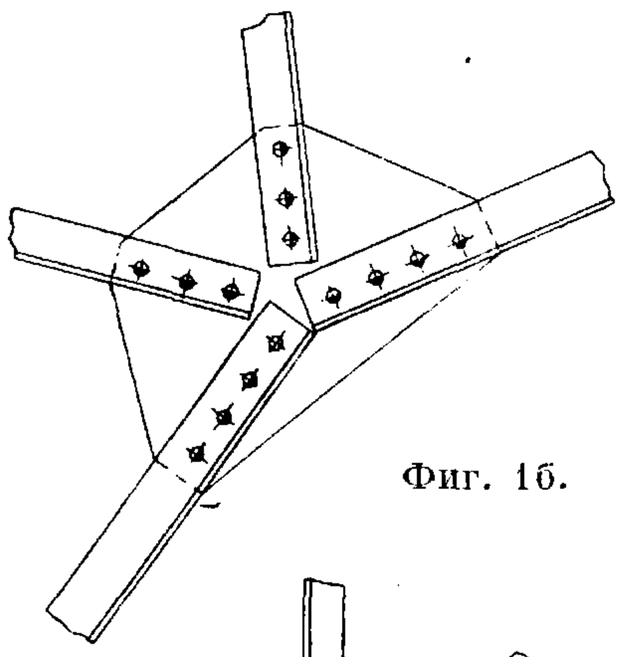
Лит.: Игнатовский В., Элемент. основы теории оптич. приборов, Л.—М., 1933; Herzberger M., Strahlenoptik, B., 1931; Born M., Optik, B., 1933; Mises R. u. Frank P., Differential- u. Integralgleichungen der Mechanik u. Physik, 2 Teil, 7 Aufl., Brschw., 1927; Bruhat G., Cours d'optique, P., 1931. **С. Вавилов.**

ФЕРМЕНТЫ, энзимы, биологич. катализаторы, вещества, образующиеся в живой клетке (растительного или животного организма), действующие каталитически на происходящие в клетке химич. процессы. Деятельность Ф. специфична: каждый отдельный Ф. действует на тела лишь определенной структуры. Подробнее см. *Энзимы.* **Н. Ельцина.**

ФЕРМЫ, сооружения, состоящие из отдельных материальных стержней или дисков, взаимно соединенных между собой в систему, геометрически неизменяемую, в к-рой замена реальных узловых соединений шарнирами без трения не обращает ее в подвижный механизм (см. *Неизменяемость геометрическая*). Изготовляются Ф. из металла, дерева и реже из железобетона. Способы соединения стержней в узлах зависят от материала Ф. и выполняются в настоящее время в виде заклепочных, сварных и болтовых соединений в металлич. Ф., помощью врубок, нагелей, болтов и специального вида вкладышей в деревянных Ф. и помощью взаимосвязывающей арматуры в железобетонных Ф. (фиг. 1а и 1б). Особенностью Ф. как сооружения является работа ее прямолинейных элементов при узловых нагрузках преимущественно на продольную силу N, что отличает Ф. от прочих систем, в которых составные элементы как правило подвергаются сложному воздействию. По характеру образования и работы в сооружениях Ф. разделяются на плоскостные и пространственные. Ф. плоскостные имеют составные элементы, расположенные в одной плоскости, обладают плоскостной геометрической неизменяемостью и способны

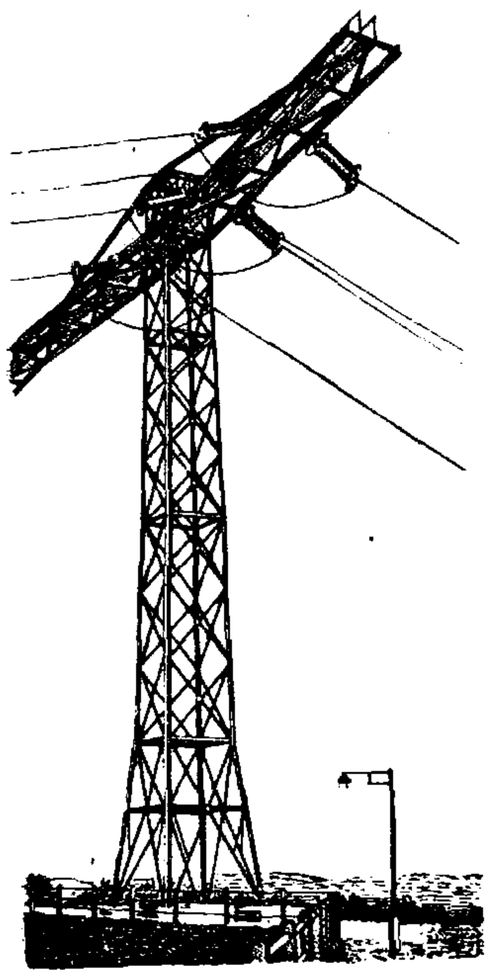


Фиг. 1а.



Фиг. 1б.

воспринимать на себя нагрузки, лежащие только в той же плоскости. Ферма плоскостная самостоятельно, в виде сооружения, встречается редко (краны, кронштейны), а употребляется гл. обр. как составная часть сооружения, особенно отчетливо выявляясь во всевозможных покрытиях гражданских и промышленных зданий, в мостах, гидротехнич. сооружениях и т. п. Ф. пространственные имеют элементы, пространственно расположенные, способны воспринимать на себя нагрузки любых направлений. Они в отличие от плоскостных Ф. представляют обычно законченные самостоятельные сооружения, в состав к-рых м. б. включены отдельные плоскостные Ф. Пространственные фермы в практике употребляются в качестве купольных, шатровых перекрытий, в кранах, в дирижаблях и других инженерных сооружениях (фиг. 2). Изучение работы Ф. в сооружениях, необходимое для определения усилий и деформаций в элементах Ф. вне зависимости от узловых соединений, связано с понятием теоретической Ф., к-рая и рассматривается в курсах строительной механики. Ф. теоретическая представляет схему реальной Ф., в к-рой материальные стержни заменены линиями, а узловые соединения—теоретическими (в плоскостных Ф.—цилиндрическими, в пространственных—шаровыми) шарнирами без трения. Как показывают опытные исследования, теоретич. Ф. обладает свойствами, достаточно близкими к свойствам реальных Ф., почему во многих случаях практики довольствуются произведенным расчетом теоретич. Ф. без учета дополнительных факторов. Образование теоретич. Ф. как системы подчинено всем правилам образования сочлененных систем (см. *Система*).

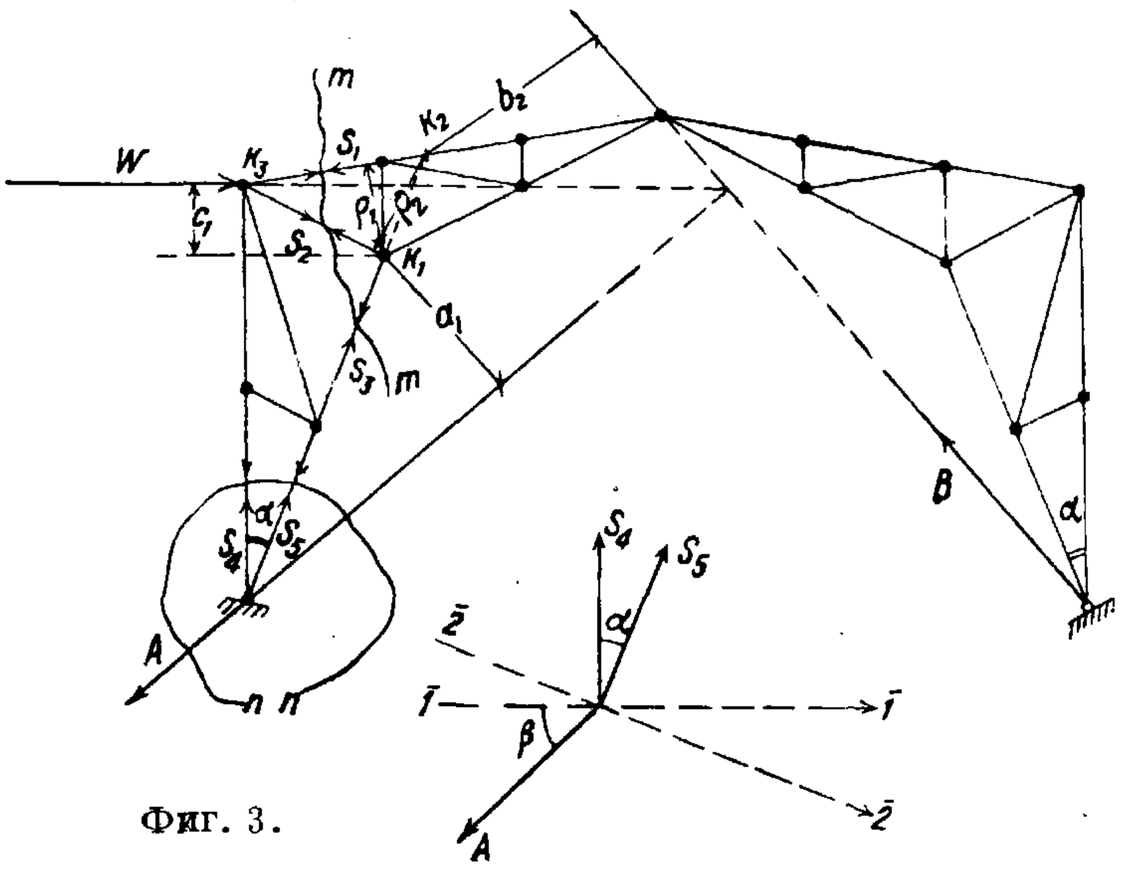


Фиг. 2.

Определение усилий в Ф. Статический расчет Ф. заключается в определении усилий ее элементов и упругой деформации самой Ф. По характеру действия нагрузки различают расчет на неподвижную и подвижную нагрузку. Расчет на подвижную нагрузку кроме непосредственного определения усилий или деформаций требует еще анализа опасного ее положения. Последнее обстоятельство связано с построением законов изменения определяемых факторов в зависимости от положения груза на Ф., т. н. линий влияния, или инфлюентных линий. Линии влияния позволяют определять опасное положение подвижной нагрузки и величину вызываемого ею усилия или деформации (см. *Линии влияния*). Расчет Ф. производится на Ф. теоретических по их схемам до деформаций, что практически точно в виду относительно малых упругих искажений Ф. В целях уточнения расчета, а также и по эксплоатационным соображениям Ф. иногда придают в процессе постройки т. н. строительный подъем—искажение Ф. в сторону, обратную возможным ее деформациям, с тем чтобы во время нагрузки схема Ф. отвечала расчетной. Однако такой прием в значительной степени усложняет вопросы конструирования Ф., не давая значительного эффекта в приближении предположений к действительности. Все приемы расчетов Ф. основаны на приложениях к ним законов механики твердых и упругих тел. При определении усилий в статически определимых Ф. пользуются только законами механики твердых систем, а при определении деформаций и усилий в «лишних стержнях» статически неопределимых ферм—дополнительно законами упругих тел. Принципиальных различий расчетов пространственных и плоскостных Ф. нет, и можно лишь различать их по сложности или малой разработанности выполнения. Сложность расчета пространственных Ф. обусловлена гл. образом пользованием пространственной системой координат и законами пространственных материальных систем вместо плоскостных. Методика расчетов статически определимых Ф. зависит прежде всего от тех отделов механики, к-рые кладутся в основу расчета. Так, использование законов равновесия твердых тел дает статич. метод, а использование законов равновесия подвижных кинематич. цепей дает кинематич. метод. Указанные два метода являются общими и в настоящее время достаточно разработанными, особенно в области плоскостных Ф. Они имеют свои достоинства и недостатки, и целесообразность применения каждого из них в разных случаях обусловливается схемой Ф. В начале расчета оба метода объединены одной общей идеей превращения определяемого внутреннего усилия элемента Ф. в силу внешнюю, что необходимо для приложения законов механики материальных систем. Достигается это разрезом или выбрасыванием, что одно и то же, элемента и заменой действия его на узлы, согласно свойствам теоретич. Ф., продольными силами, по величине равными усилию элемента. Превращение внутреннего усилия в силу внешнюю по отношению к Ф. или части ее дает возможность включать его в ур-ия, характеризующие условия равновесия системы, из к-рых и определять как неизвестное. Направление внутреннего усилия условно считается положительным, т. е. растягивающим, действующим от узла, знак же, получаемый в результате решения, определяет истинное направление усилия. Статич. метод расчета основан на идее расчленения Ф. разрезами на две или большее количество частей и приложения к каждой из них условий статич. равновесия. Идея кинематич. метода заключается в том, что с вырезом элемента из Ф., последняя обращается в подвижную кинематич. цепь (механизм), к-рая под действием заданной нагрузки и усилия разрезанного элемента должна находиться в статич. состоянии. Применяя различные приемы исследования равновесного состояния кинематич. цепи, тем самым можно написать его условие, к-рое и определяет неизвестное усилие разрезанного элемента. В статически неопределимых Ф. прежде всего определяют усилия в лишних стержнях на основании анализа возможной деформации Ф. с лишними стержнями. Затем может прилагаться любой метод расчета статически определимых Ф., причем кроме заданной нагрузки нагрузкой же будут служить определенные выше усилия лишних стержней.

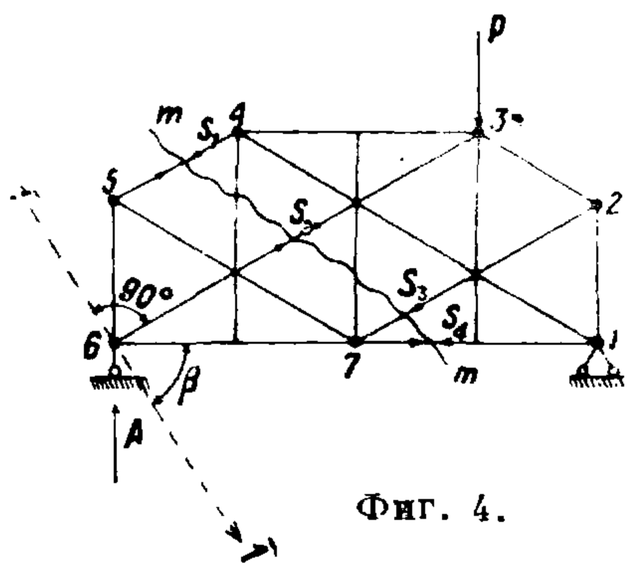
Расчет плоскостных статически определимых Ф. по статич. методу заключается в приложении ур-ия плоскостной статики к отдельным сечениям Ф. в их аналитич. и графич. виде. При аналитич. решении в зависимости от вида ур-ия различают следующие способы расчета: 1) спо-

соб моментных точек (Риттера) по условию, что сумма моментов всех внешних сил и рассеченных внутренних усилий относительно любой точки плоскости равна нулю, 2) способ проекций по условию, что проекция на ось всех внешних сил и рассеченных внутренних усилий равна нулю. Последний способ в нек-рых задачах является частным случаем первого. Располагая свободным выбором моментной точки k и направлением оси, следует их выбирать с расчетом упрощения задачи. Способ моментных



Фиг. 3.

точек м. б. приложен при любых сечениях Ф. за исключением вырезания только одного узла, способ же проекций приложим и в этом последнем частном случае. Сечения Ф. для расчета м. б. проведены различным путем и как угодно, чем и следует пользоваться для упрощения задачи. Так напр., особенно просто определяются



Фиг. 4.

усилия при рассечении Ф., проводимом через 3 стержня (на фиг. 3 сечение m—m), и вырезанием узла с двумя стержнями (на фиг. 3 сечение n—n). По первому из них для определения усилия S_1 точку моментов следует взять на пересечении усилий S_2 и S_3, т. е. точку k_1, и рассмотреть равновесие левой или правой части Ф. Для равновесия левой части ур-ие моментов будет

$$\Sigma M_{k_1} = Aa_1 + Wc_1 + S_1\varrho_1 = 0,$$

откуда

$$S_1 = -\frac{Aa_1 + Wc_1}{\varrho_1}.$$

Для определения силы S_2 точка моментов будет k_2. Равновесие правой части от сил, к ней приложенных, напишется:

$$\Sigma M_{k_2} = -Bb_2 + S_2\varrho_2 = 0.$$

Для определения усилий S_4 и S_5 при вырезании узла следует направление осей выбрать так, чтобы на каждую из них одно из неизвестных усилий S_4 и S_5 проектировалось в нуль. Этому условию удовлетворяют оси *1—1* и *2—2* (фиг. 3). Проектируя на каждую из них, получаем два ур-ия, определяющих S_4 и S_5. Вид ур-ия будет:

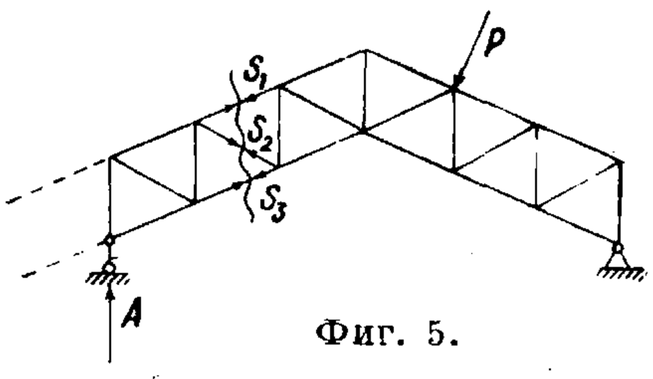
$$-A\cos\beta + S_5\sin\alpha = 0$$

$$-A\cos(\alpha+\beta) - S_4\sin\alpha = 0.$$

Использование способа проекций при разрезе m—m показано на фиг. 4, где за ось проекций взята ось *1—1*. Ур-ие, определяющее S_4 из равновесия левой части, будет

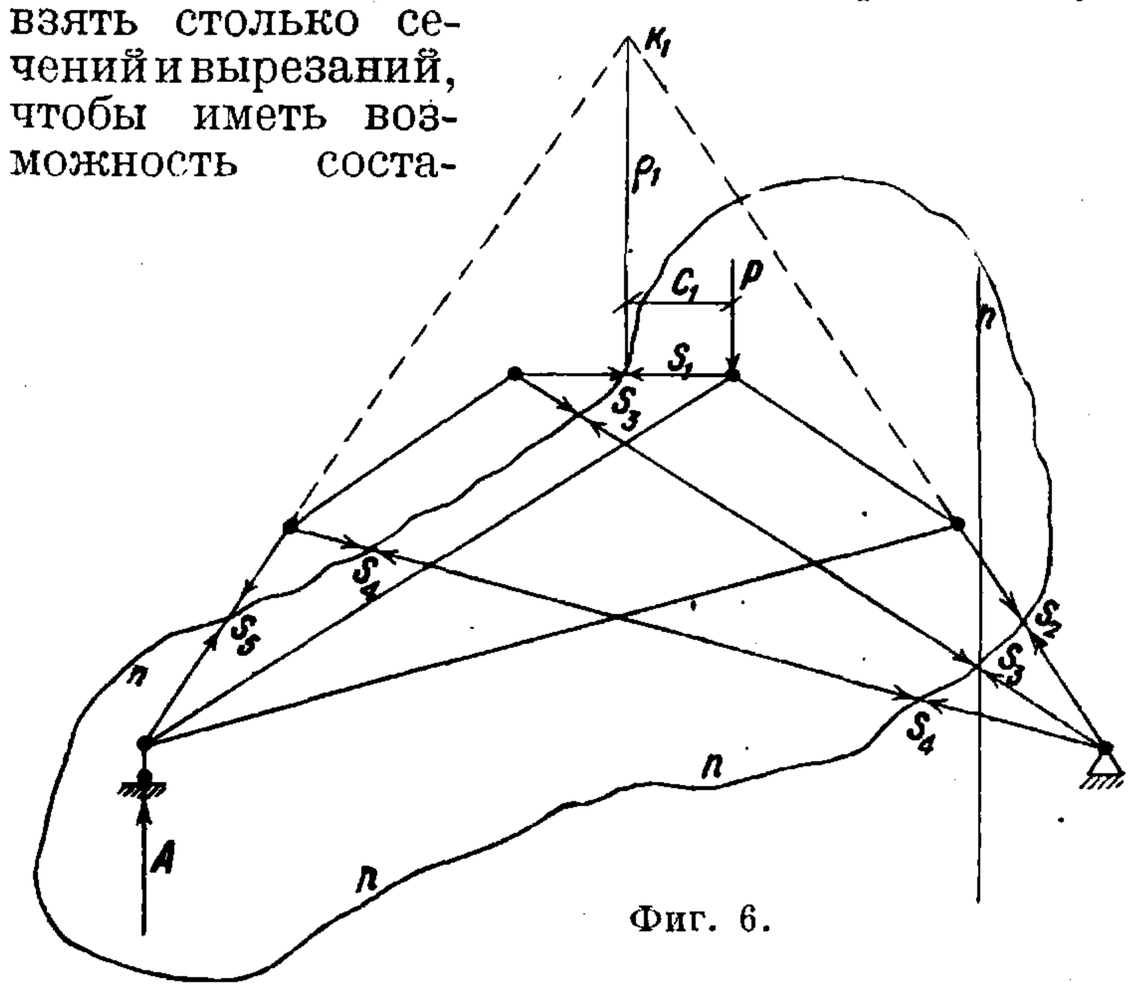
$$-A\cos(90°-\beta) + S_4\cos\beta = 0.$$

Когда в разрезе трех стержней два параллельны, то определение усилия третьего возможно только способом проекций, т. к. точка моментов в этом случае удаляется в бесконечность (фиг. 5). Следует иметь в виду, что не во всякой Ф. можно провести сечение через три стержня или вырезать узел с двумя стержнями; но и в этих случаях задача решается тем же путем, только усложняется процесс расчета. Обычно это встречается в преобразованных Ф., в к-рых следует



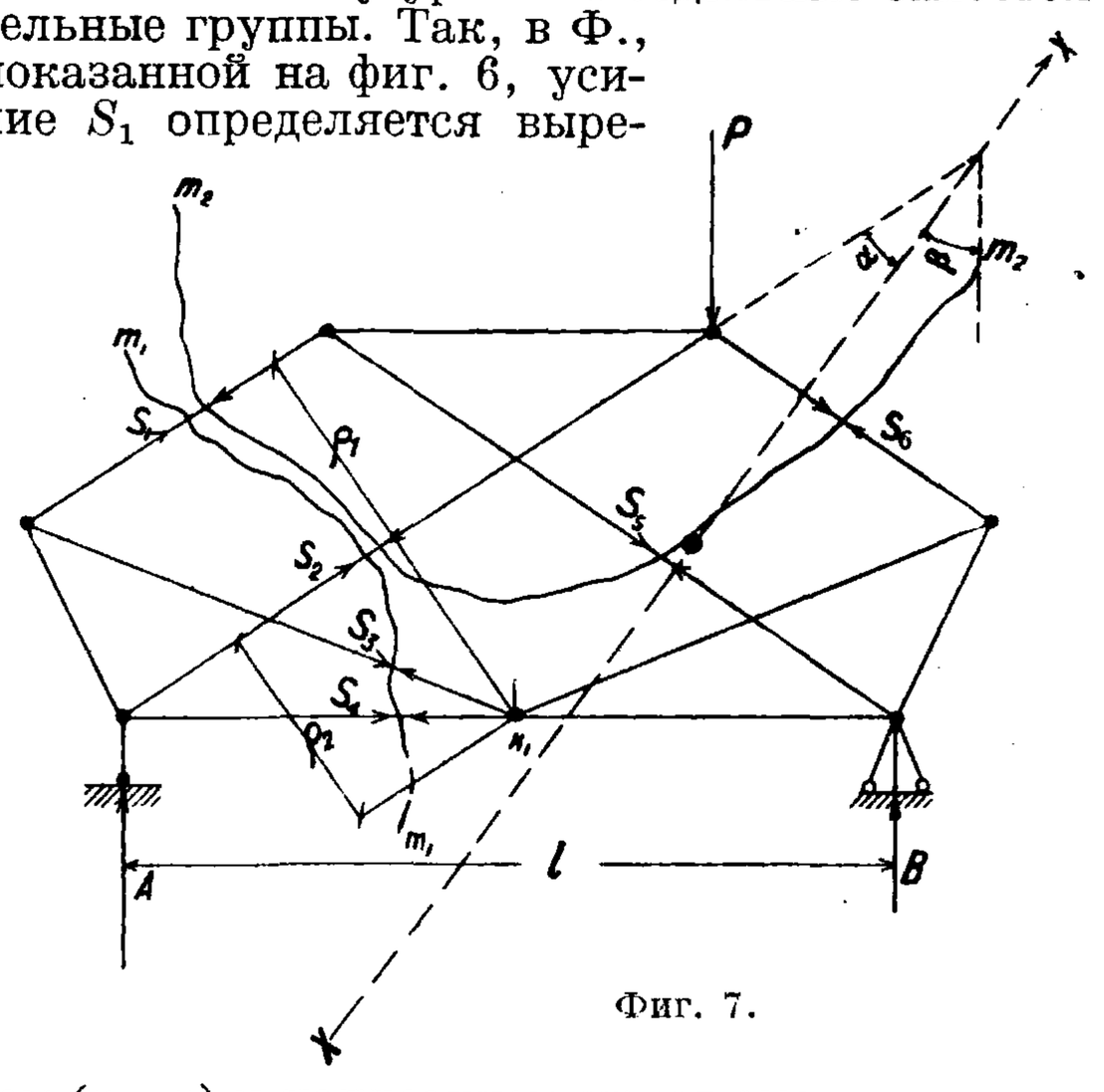
Фиг. 5.

взять столько сечений и вырезаний, чтобы иметь возможность состав-



Фиг. 6.

вить необходимое количество ур-ий. Успех расчета с наименьшей затратой будет зависеть от удачно выбранных сечений, к-рые иногда расчленяют систему ур-ий на отдельные самостоятельные группы. Так, в Ф., показанной на фиг. 6, усилие S_1 определяется выре-



Фиг. 7.

зом (n—n) и написанием ур-ия моментов относительно точки k_1, а именно:

$$\Sigma M_{k_1} = A\frac{l}{2} + Pc_1 + S_1\varrho_1 = 0.$$

В Ф. на фиг. 7 усилия S_1 и S_2 определяются моментом по разрезу m_1—m_1 относительно точки k_1, а также проекцией по разрезу m_2—m_2

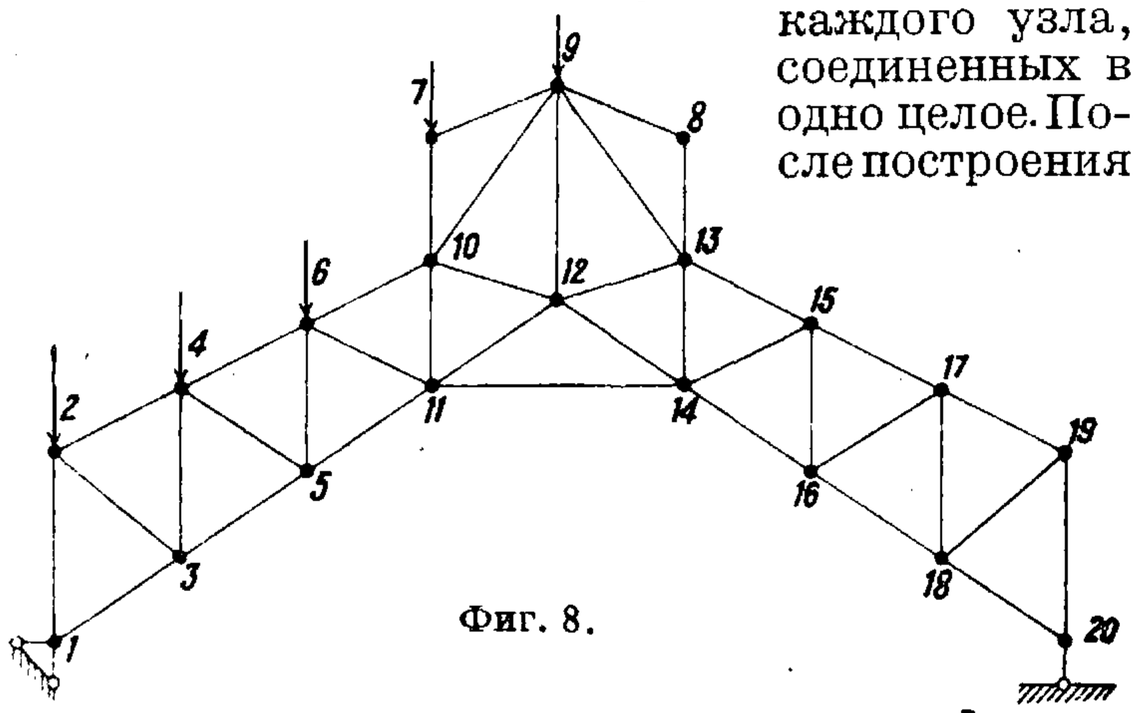
на ось X—X. Ур-ия, определяющие усилия, напишутся так: по разрезу m_1—m_1 равновесие левой части:

$$\Sigma M_{k_1} = A\frac{l}{2} + S_1\varrho_1 + S_2\varrho_2 = 0;$$

по разрезу m_2—m_2 равновесие верхней части как сумма проекций на ось X—X

$$-S_1\cos\alpha - S_2\cos\alpha_2 - P\cos\beta = 0.$$

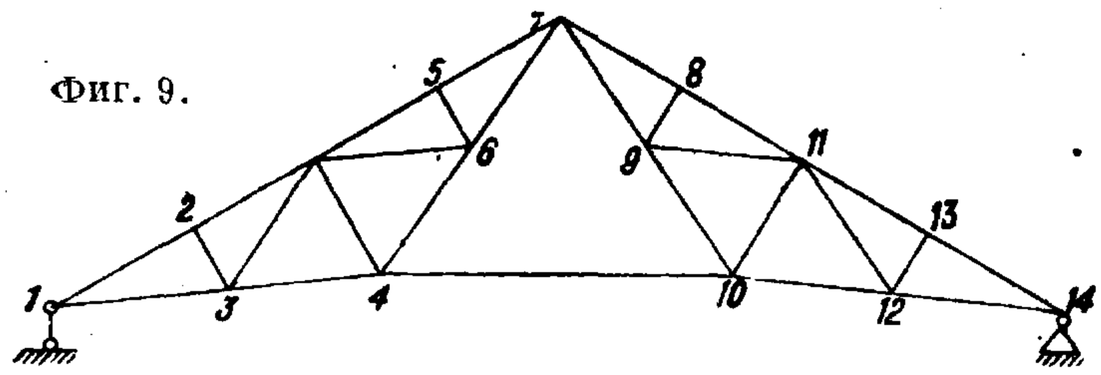
Наряду с аналитич. приемами статич. метода расчета существуют и графические, основанные на общеизвестных положениях графостатики, что всякая сила м. б. разложена на два любых направления, пересекающихся с ней в одной точке, и на три любых направления, не пересекающихся с силой в одной точке. Они возможны как по разрезам (способ Кульмана-Циммермана), так и по вырезанию узлов (диаграмма Максвелла-Кремоны). Из названных способов наиболее совершенным и распространенным является диаграмма Максвелла-Кремоны. Диаграмма основана на построении замкнутых силовых мн-ков усилий и нагрузки каждого узла, соединенных в одно целое. После построения



Фиг. 8.

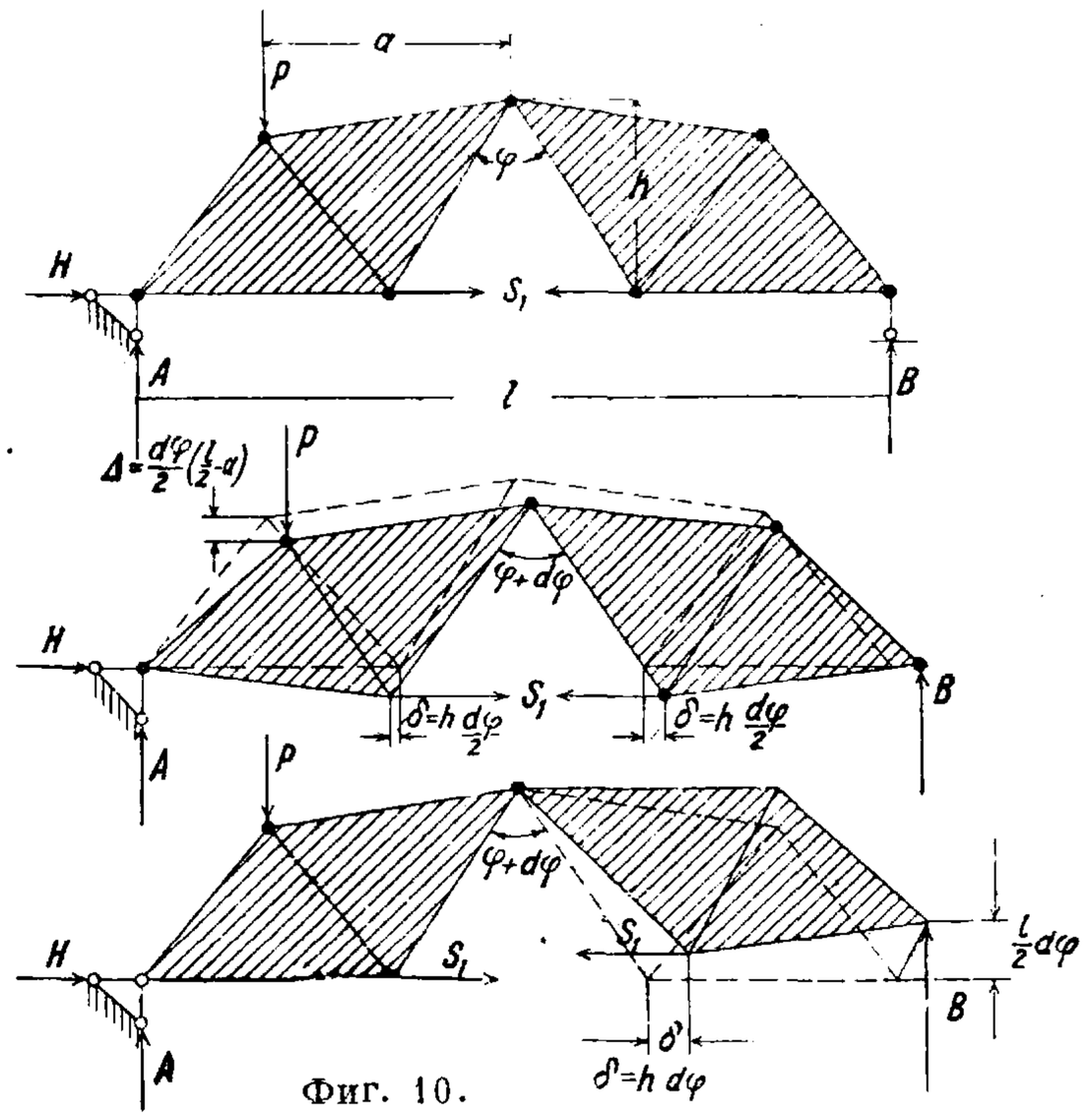
замкнутого мн-ка внешних сил построение диаграммы заключается в обходе каждого узла по или против часовой стрелки, начиная с узла, где сходятся два элемента, на направления к-рых может быть разложена равнодействующая сил, приложенных в этом узле. Затем переходят к новому, часто соседнему, узлу, в к-ром м. б. и три стержня, но усилие одного узла известно, и т. д. При обходе каждого узла обязательно требуется не более двух неизвестных усилий, иначе построение силового мн-ка невозможно. На фиг. 8 показан номерами возможный порядок обхода узлов. Техника выполнения диаграммы проста, но требует тщательной чертежной работы (см. *Графическое определение усилий*). В том случае, если нет узла с двумя стержнями в начале или узла с двумя неизвестными в процессе построения,

Фиг. 9.



приходится усилия нек-рых элементов определять аналитически, после чего дальнейшее построение диаграмм будет возможно. Так, для фиг. 4 построение возможно только после определения усилия какого-либо стержня, напр. S_4, и тогда порядок вырезания узлов легко намечается. Так же для перехода к узлу 4 (фиг. 9) необходимо определить сначала аналитически усилия S_4, после чего становится возможным дальнейшее построение диаграммы.

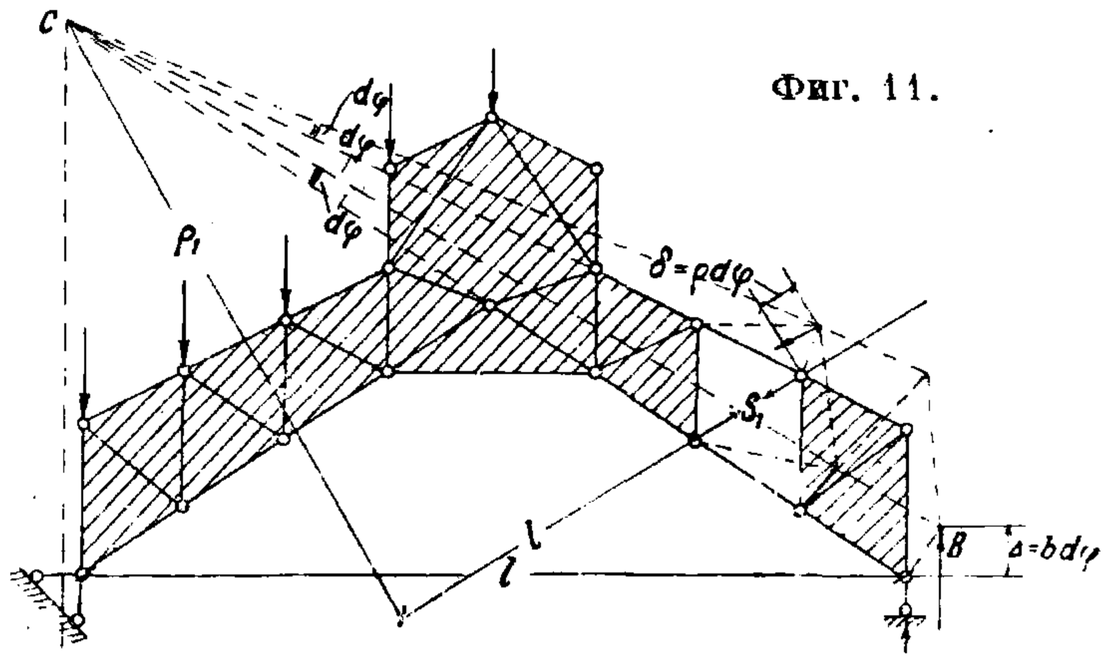
Кинематич. метод расчета плоскостных, статически определимых Ф. заключается в приложениях к исследованию условий равновесия кинематич. цепей начала возможных перемеще-



Фиг. 10.

ний в его непосредственном виде или в виде диаграммы скоростей. Расчет этим методом проводится на основе составления ур-ия возможной работы сил, приложенных к механизму, полученному из Ф. при удалении стержня разрезом его и с заменой его действия на узлы усилием. Выбор возможных бесконечно малых перемещений м. б. вполне произволен, если связевые условия заменить силами, чем можно пользоваться при упрощениях решений. Так,

Фиг. 11.



Ф., показанная на фиг. 10, превращена для определения усилия в механизм и дано два варианта возможных смещений. Ур-ия работ для них соответственно будут

$$P\frac{d\varphi}{2}\left(\frac{l}{2}-a\right) - S_1 h\frac{d\varphi}{2} - S_1 h\frac{d\varphi}{2} = 0$$

и

$$B\frac{l}{2}\,d\varphi - S_1 h\,d\varphi = 0.$$

В первом варианте исключены из работы реактивные силы A, H и B, а во втором P, A, H. Если первый вариант естественнее в смысле возможных перемещений с учетом опорных связей, то второй удобнее в процессе вычислений. Когда Ф. при выбрасывании элемента разбивается на два жестких диска, имеющих возможность взаимного смещения, удобнее принимать один из дисков неподвижным. Напр. для фиг. 11 усилие S_1 определится заданным возможным смещением пра-

вого диска вокруг мгновенного полюса c. Ур-ие работ этого смещения имеет простой вид:

$$Bb\,d\varphi - S_1\varrho\,d\varphi = 0.$$

Из самого смысла ур-ия работ вытекают как следствие следующие положения: если один из жестких дисков остается неподвижным, а другой смещается, то силы, приложенные к последнему, приводятся к равнодействующей, проходящей через мгновенный центр вращения диска, или сумма моментов этих сил относительно центра вращения равняется нулю, что конечно одно и то же. Последние заключения позволяют ур-ия работ заменить ур-иями статики, к-рые можно использовать как в аналитич., так и графическом виде.

В более сложных случаях Ф., особенно когда Ф. при выбрасывании стержня не разбивается на два самостоятельных жестких диска, построение возможных смещений связано с отысканием взаимных мгновенных полюсов, что в сильной степени усложняет задачу. В таких случаях обычно прибегают к построению диаграммы скоростей (см. *Кинематический метод*). Построение диаграммы основано на пропорциональном соотношении скоростей точек и их расстояний от мгновенного центра вращения. Использование диаграммы скоростей при исследовании равновесия кинематич. цепей основано на преобразовании ур-ия виртуальных работ в следующую форму:

$$\Sigma P_i\,ds_i\cos(P_i\,ds_i) = \Sigma P_i v_i\,dt\cos(P_i, v_i) = 0$$

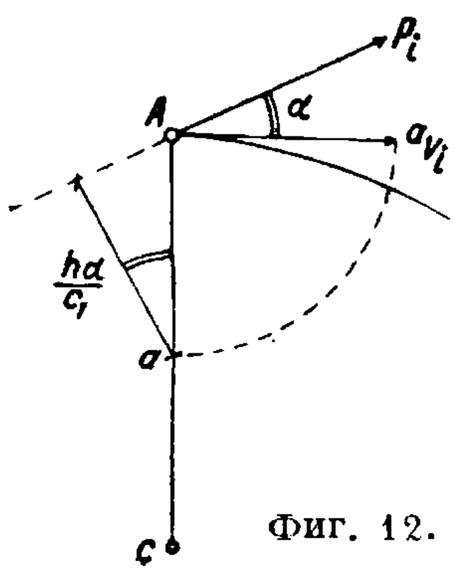
или

$$\Sigma P_i v_i\cos(P_i, v_i) = 0.$$

Если теперь для каждой точки полученную скорость (фиг. 12) Aa отложить по радиусу вращения Aa', т. е. повернуть скорость на 90°, то последнее равенство можно записать в виде

$$\Sigma P_i v_i\cos(P_i, v_i) = \Sigma P_i h_i = 0$$

и трактовать как сумму моментов сил относительно изображающих точек a' повернутой на 90° диаграммы скоростей. Последнее представление возможной работы удобно, т. к. диаграмма скоростей даже при сложных случаях строится относительно просто. Для полярной диаграммы скоростей, к-рая строится отдельно от чертежа Ф., сумма моментов сил, перенесенных на полярную диаграмму в соответствующие изображающие точки, относительно центра ее должна равняться нулю. Для неполярной же диаграммы силы, перенесенные в изображающие точки, должны также находиться в равновесии, т. к. перенос сил сопровождается дополнительным результирующим моментом, который в этом случае равен нулю.

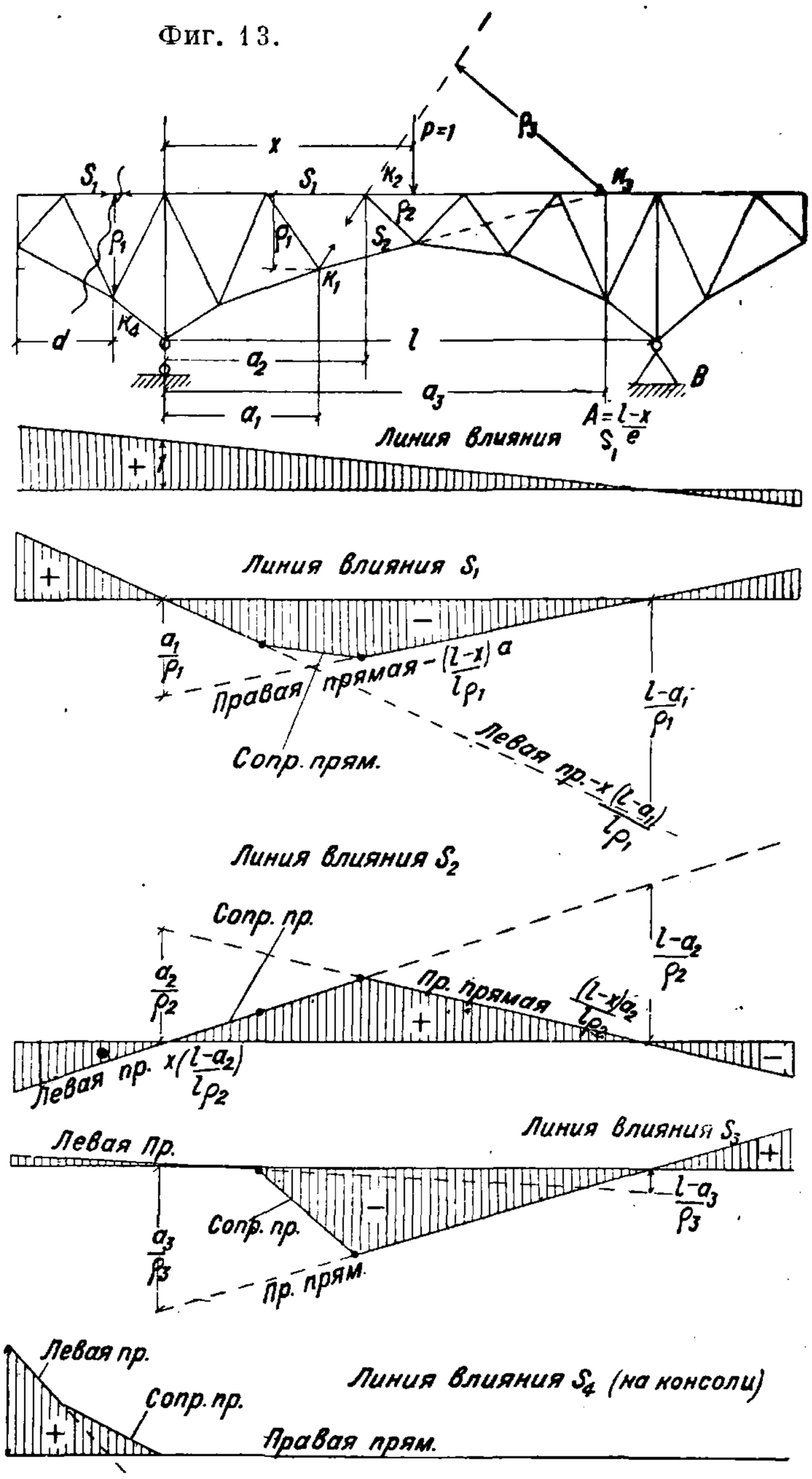


Фиг. 12.

Сравнивая между собой статич. и кинематич. методы при неподвижной нагрузке, можно отметить следующее: а) во всех простейших случаях статич. метод оказывается проще и быстрее ведет к цели, особенно через диаграмму Максвелла-Кремоны; б) в случаях сложных, когда нельзя провести разреза через три стержня, часто кинематич. способ оказывается удобнее и проще; в этих случаях применение его вполне уместно хотя бы для определения усилия нескольких стержней, позволяющих далее перейти к диаграмме Кремоны.

Определение усилий в Ф. от действия подвижной нагрузки производится при помощи линий влияния (инфлюентных линий). Построение линий влияния, как и аналитич. расчет Ф., может быть сделано также статич. или кинематич. методами. Построение линий влияния по статич. методу заключается в составлении

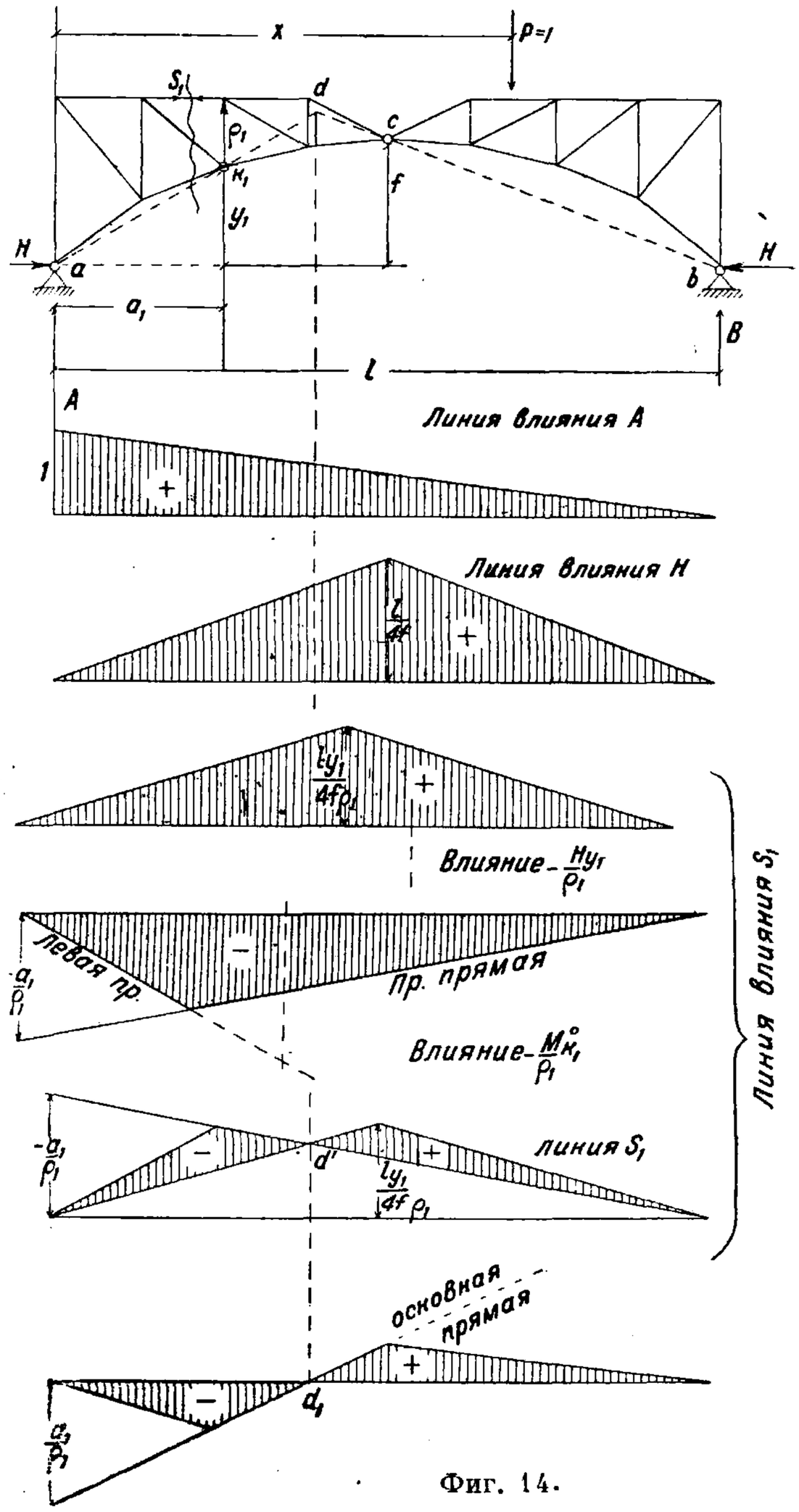
Фиг. 13.



аналитич. выражения усилия элемента от груза $p=1$, расположенного произвольно на текущей координате x, различными приемами этого метода. Наиболее часто встречаются два приема построения линий влияния: 1) прием сечения или рассечения и 2) вырезания узла. Первый из них применяется в тех случаях, когда можно провести сечение через три стержня, разделяющее Ф. на две части. Аналитич. выражение усилия составляется при грузе справа от разреза и при грузе слева, используя равновесие последовательно левой и правой части Ф. Для Ф., статически определимых, выражения эти дают прямые линии, к-рые соответственно называют правой и левой прямой. На фиг. 13 показано построение по законам статики линии влияния для нескольких характерных элементов консольной Ф. Ур-ия линий влияния усилий обычно выражаются в зависимости от величины опорных закреплений, почему часто последние называют основными линиями влияния. Ур-ия правой и левой прямой получаются из рассмотрения равновесия левой и правой части. Характерной особенностью построения правой и

левой прямой является точка их взаимного пересечения; она лежит всегда на вертикали под точкой моментов. Пригодность правой (или левой) прямой благодаря узловой передаче нагрузки на Ф. ограничена соответственно первым правым (или левым) узлом от разреза по ездовому полотну.

Для Ф. с иными видами опорных закреплений (наклонными опорами, арочными) принцип



Фиг. 14.

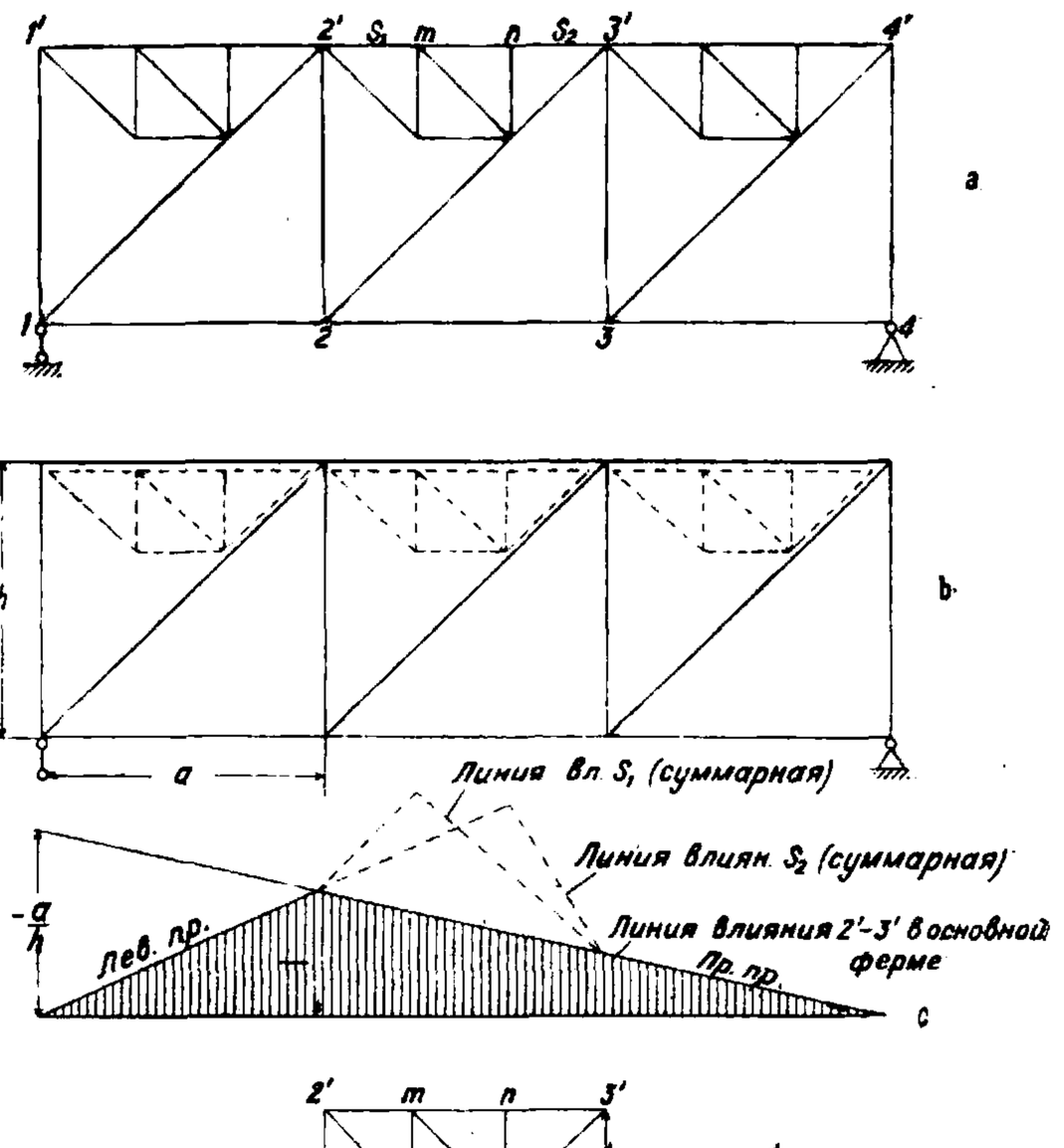
построения линии влияния сохраняется. Для арочных Ф. (фиг. 14) следует в качестве основной линии построить еще линию влияния распора H, к-рая будет представлять линию влияния двухопорной балки в точке c, разделенную на f. Линия влияния усилия S_1 определится из рассмотрения точки момента k_1. В этом случае удобно расчленить влияние основных линий, выделив распор H в отдельный член. Тогда A и B дают линию влияния простой балочной Ф. с правой и левой прямой по общему выражению $\frac{M^0}{\rho}$, где M^0 — линия влияния момента для точки Риттера в простой балке. Выражение для S_1 можно написать в виде:

$$S_1 = -\left[\frac{M^0_{k_1}}{\rho_1} - \frac{Hy_1}{\rho_1}\right].$$

Влияние отдельных членов и суммарная линия S_1 построены на фиг. 14. Из анализа выражения для S_1 легко доказать важное свойство суммарной линии влияния. Нулевая точка в ней будет лежать под точкой пересечения линий cb через два правых шарнира и ak_1 через левый шарнир и моментную точку k_1. Последнее обстоятельство позволяет быстро чертить суммарную линию влияния. Под левой опорой откладывается ордината $\frac{a_1}{\rho_1}$ и проводится прямая через известное положение нулевой точки. На эту прямую сносятся точка моментов и средний шарнир. Полученные точки соответственно соединяются с левой и правой опорой.

В Ф. сложных, а также в Ф. со шпренгелем линии влияния удобно строить, разлагая составную Ф. на отдельные ее составные части. Линия влияния элементов строится как сумма отдельных составных влияний. На фиг. 15 дано построение линий влияния S_1 и S_2, для чего сложная Ф. (фиг. 15, a) разделена на основную (фиг. 15, b) и вспомогательную (фиг. 15, d). В каждой из них построены линии влияния тех элементов, к-рые входят в состав элементов S_1 и S_2. Суммарные линии влияния представлены на фиг. 15, c. В более сложных Ф. принципиальная сторона изложенных приемов остается в силе, но сам процесс осложняется.

Построение линий влияния кинематич. методом есть наиболее красивое приложение ки-



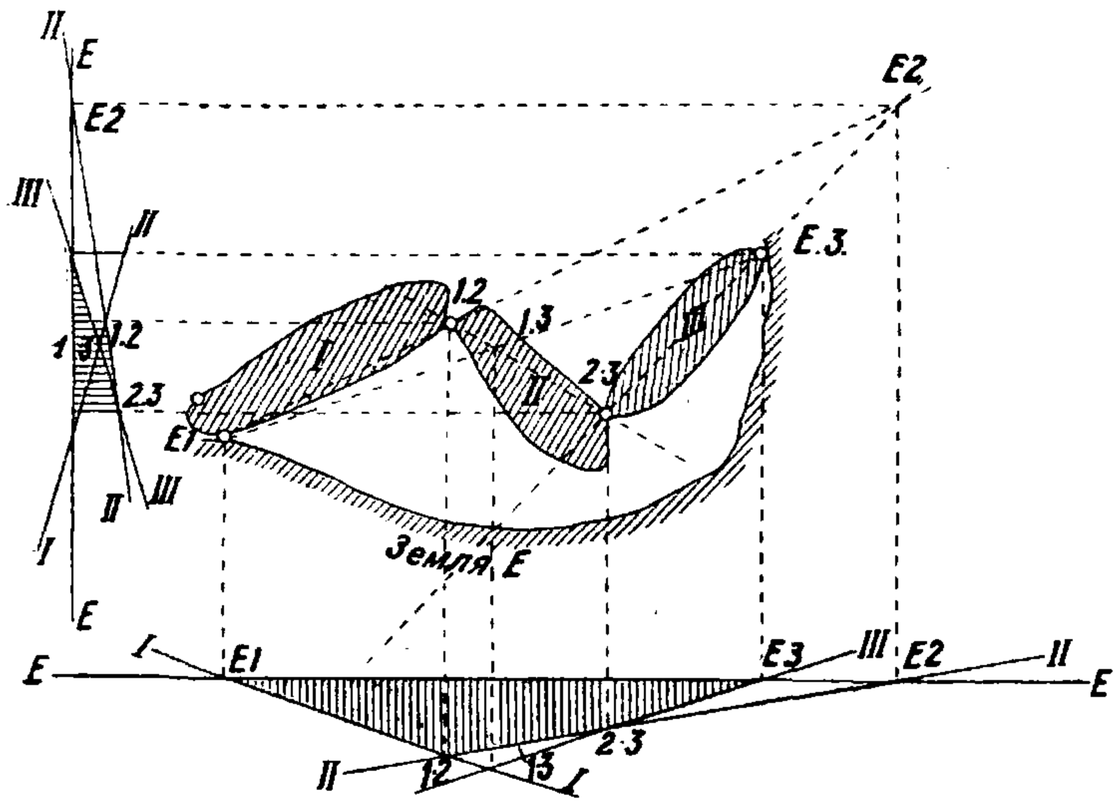
Фиг. 15.

кинематики к расчету Ф., позволяющее быстро представить фигуру искомой линии влияния, пользуясь ее моделью—эпюрой смещения кинематич. цепи. Построение возможно как при непосредственном приложении начала возможных перемещений, так и в виде диаграммы скоростей. При непосредственном приложении начала возможных перемещений следует брать возможные перемещения, исключающие работу связей опорных реакций. В этом случае работа

будет выражаться всегда двучленами: работой груза $p=1$ и работой определяемого усилия S разрезанного стержня в виде

$$S\delta_s + 1 \cdot y = 0.$$

Написанное равенство дает ключ к представлению эпюры смещений как модели линии влияния, стоит только определить из него усилие S, к-рое будет равно $-\frac{y}{\delta_s}$. Числитель y есть проекция перемещения грузовой линии на направление груза $p=1$, а знаменатель—величина постоянная. Следовательно эпюра смещения грузовой линии по направлению груза определяет форму линии влияния и является непосредственно ею в масштабе $\delta_s=1$. Эпюры проекций взаимных смещений отдельных элементов или дисков подвижного механизма дают прямые линии с нулевой ординатой под взаимными мгновенными центрами вращения, что непосредственно вытекает из рассмотрения движения отдельного диска, как поворота вокруг мгновенного центра. Свойства эпюры смещений следующие: 1) эпюра смещения отдельного диска дает прямую линию, 2) эпюра смещений не будет зависеть от расположения грузовой линии по диску, 3) на эпюре смещений линии, обозначающие смещения отдельных дисков, пересекаются между собой под взаимными мгновенными центрами вращения (фиг. 16). В простых Ф. построение линий влияния по законам кинематики не представляет особых преимуществ, но в Ф. со сложной решеткой, каковыми являются Ф.



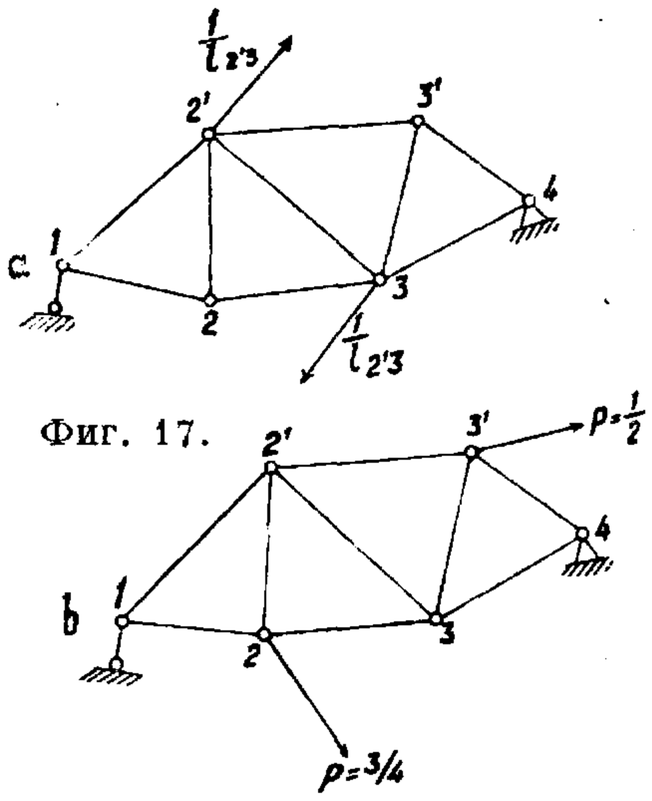
Фиг. 16.

многорешетчатые и многораскосные (фиг. 22) и др., построение линий влияния при помощи диаграммы скоростей представляет большие преимущества в смысле упрощения.

Определение перемещений узлов Ф., связанное с определением ее жесткости, а также с расчетом статически неопределимых Ф., может быть проведено как аналитически, так и графически. Аналитич. определение перемещения любого узла и по любому направлению производится по ф-ле Мора $\Delta_{km} = \Sigma \frac{\bar{S}_k S_m}{EF} l$, в к-рой $\bar{S}_k$—усилия элементов от силы $p=1$ фиктивного состояния по направлению исследуемого перемещения, S_m—усилия от действующей нагрузки, F—площадь сечения и l—длина каждого элемента Ф. Темп-рные перемещения узлов определяются ф-лой Мора следующего вида

$$\Delta_{kt} = \Sigma \bar{S}_k \alpha t \cdot l.$$

При определении угловых перемещений стержня, что связано с определением относительных перемещений его концов, виды ф-л сохраняются; только $\bar{S}_k$ будет усилие от сил $p_k = \frac{1}{l_k}$, приложенных к концам стержня длиной l_k и составляющих между собой пару (фиг. 17, a). Ф-ла Мора также дает возможность определять групповые суммарные перемещения, стоит только фиктивное состояние назначить сообразно требованиям поставленной задачи. Так, фиг. 17, b дает групповое суммарное перемещение, причем $^3/_4$ перемещения узла 2 и $^1/_2$ перемещения узла 3′ по соответствующим направлениям. Аналитич. определение перемещений в Ф. м. б. сделано графоаналитически при помощи упругих грузов (см. *Графическое определение перемещений*). Расчет статически неопределимых Ф. обычно производится по т. н. методу сил, который в данном случае является наиболее приложимым методом. Идея этого метода заключается в превращении фермы заданной в Ф. основную, обычно статически определяемую путем удаления или разреза лишних стержней с заменой их неизвестными силами $x_1, x_2, \ldots, x_n$ и написания дополнительных условий, к-рые приводили бы в тождество основную Ф. к Ф. заданной. Дополнительные условия составляются на основании анализа возможных относительных перемещений узлов, к к-рым были присоединены лишние стержни, по их направлению, если они были удалены, и анализа возможных перемещений концов разрезанных сечений стержня, если стержни были разрезаны. В первом случае относительные перемещения узлов возможны в пределах упругих деформаций устраненного стержня $\frac{X_m l_m}{EF}$; во втором—расхождение разрезанных сечений невозможно и должно равняться нулю. Соответственно канонич. ур-ия деформаций напишутся так:



Фиг. 17.

при удалении стержней

$$X_1\delta_{11} + X_2\delta_{12} + \ldots + X_n\delta_{1n} + \Delta_{1p} = \frac{X_1 l_1}{EF_1},$$

при разрезании стержней

$$X_1\delta'_{11} + X_2\delta'_{12} + \ldots + X_n\delta'_{1n} + \Delta_{1p} = 0.$$

Между написанными канонич. ур-иями нет никакой разницы, ибо $\delta'_{11} = \delta_{11} + \frac{1 \cdot l_1}{-EF_1}$. Входящие единичные перемещения δ_{km} определяются ф-лой Мора (см. выше). После определения неизвестных X усилие любого стержня определяется ф-лой

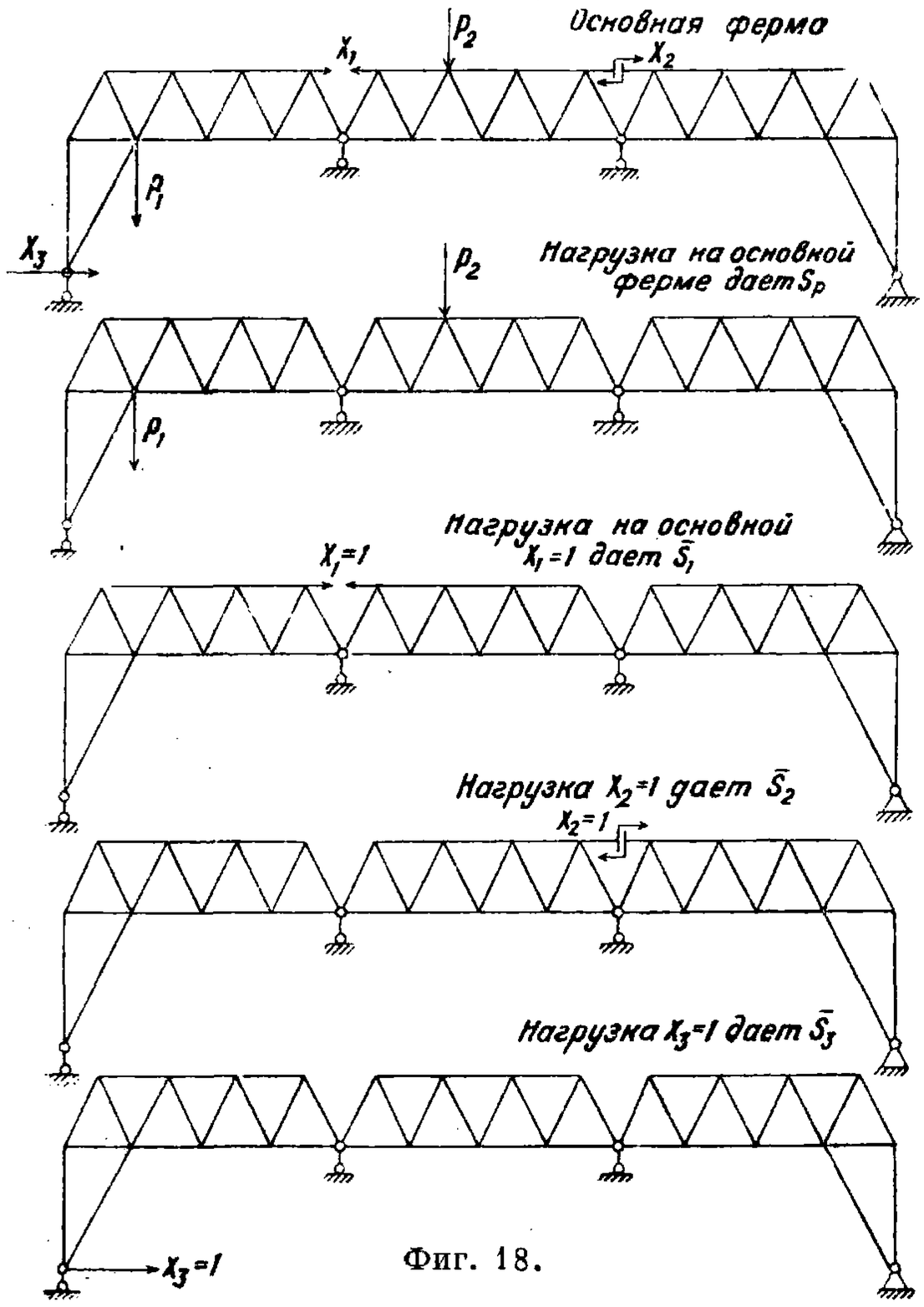
$$S_k = S_k^0 + X_1\bar{S}_1 + X_2\bar{S}_2 + \ldots X_n\bar{S}_n,$$

где $\bar{S}_1, \ldots, \bar{S}_n$ — усилия в стержне от $\bar{X}_1 = \bar{X}_2 = \ldots = \bar{X}_n = 1$.

Процесс расчета статически неопределимой Ф. показан на фиг. 18. Канонич. ур-ия для этого случая будут:

$$X_1\delta_{11} + X_2\delta_{12} + X_3\delta_{13} + \Delta_{1p} = -\frac{X_1 l_1}{EF_1};$$
$$X_1\delta_{21} + X_2\delta_{22} + X_3\delta_{23} + \Delta_{2p} = 0;$$
$$X_1\delta_{31} + X_2\delta_{32} + X_3\delta_{33} + \Delta_{3p} = 0.$$

Отмечаем, что в статически неопределимых системах определение неизвестных связано с знанием наперед площадей поперечных сечений. Линии влияния усилий в элементах статически неопределимых Ф. могут быть построены двумя



Фиг. 18.

приемами. Первый из них вытекает из приведенной выше ф-лы усилия в любом $\bar{S}_k$ и заключается в суммировании ординат линии влияния лишних неизвестных $y_1, y_2, \ldots, y_n$, умноженных на соответствующие коэф. $\bar{S}_1, \bar{S}_2, \ldots, \bar{S}_n$, с ординатами линии влияния в основной Ф. по ф-ле

$$S_k = y_k^0 + y_1\bar{S}_1 + y_2\bar{S}_2 + \ldots + y_n\bar{S}_n,$$

где y_k^0—ордината линии влияния усилия в основной Ф., $y_1, y_2, \ldots, y_n$—ординаты линии влияния лишних неизвестных соответственно $X_1, \ldots, X_n$. Второй прием аналогичен кинематич. методу и заключается в использовании основной Ф., к-рая по отношению к заданной имеет одну неопределимость, только того усилия, для к-рого строится линия влияния. При грузе $p=1$ канонич. ур-ие в этом случае будет:

$$S_m\delta_{mm} + \delta_{mp} = 0,$$

откуда

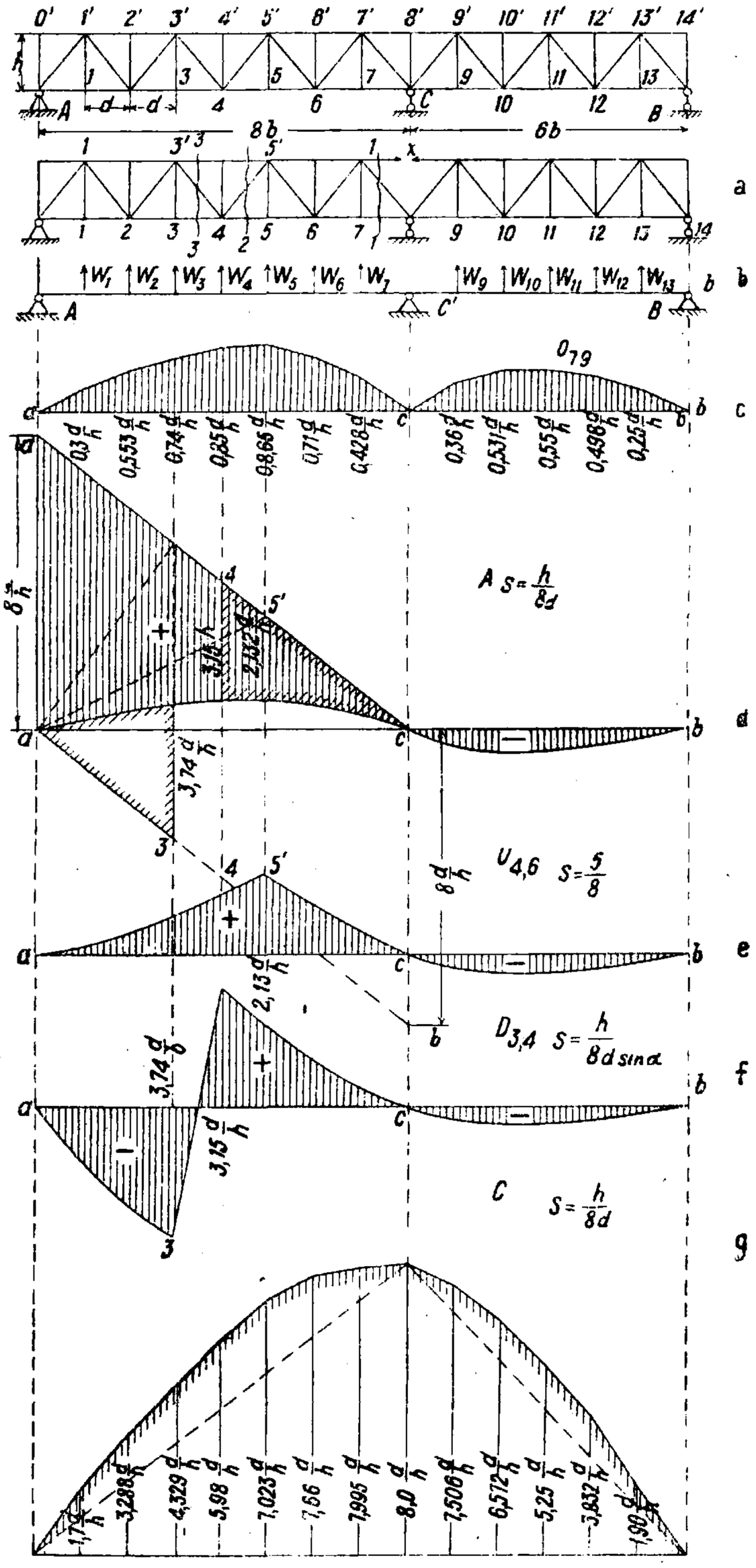
$$S_m = -\frac{\delta_{mp}}{\delta_{mm}},$$

или по принципу Максвелла

$$S_m = -\frac{\delta_{pm}}{\delta_{mm}}$$

Числитель последнего равенства δ_{pm} можно рассматривать как перемещение (прогиб) грузовой линии по направлению $p=1$ от силы $\bar{S}_m=1$, приложенной к основной системе, а δ_{mm} — собственное перемещение по направлению самого неизвестного. Как следствие можно сказать, что перемещение грузовой линии (прогиб от действия $\bar{X}_m=1$) есть модель искомой линии влияния и есть сама линия влияния в масштабе $\delta_{mm}=1$. Последний прием связан с построением линии прогибов узлов грузовой линии, что может быть проведено по указанным выше соображениям о перемещениях (фиг. 19).

В расчете пространственных Ф. принципиально нового нет. Все приемы расчетов плоскостных Ф. приложимы и к Ф. пространственным, только здесь они принимают несколько иное оформление в связи с пользованием пространственной статикой и кинематикой. Следует отметить, что кинематические приемы расчетов для пространственных Ф. недостаточно еще разработаны и пока уступают статич. приемам. Статич. приемы расчета пространственных Ф. следующие: 1) прием произвольного сечения Ф.



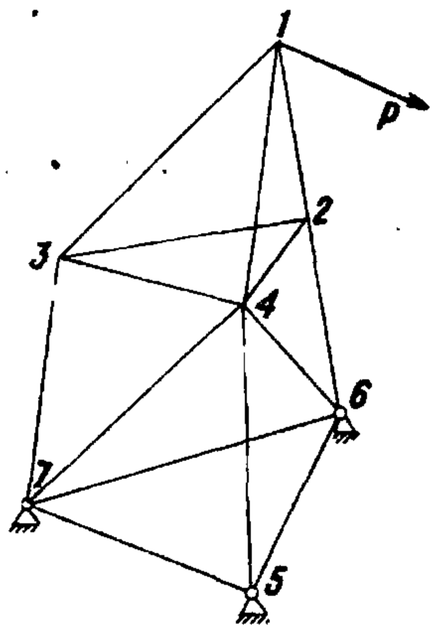
Фиг. 19.

на две части, аналогичный рассечению плоских Ф., 2) прием вырезания отдельных узлов, 3) способ Генеберга, к-рый является наиболее общим, идея к-рого изложена в курсах строительной механики. В виду большого разнообразия пространственных Ф. нет возможности указать, в каком случае применять тот или иной прием. Первые два обычно являются нераздельными, ибо по существу между ними разницы нет.

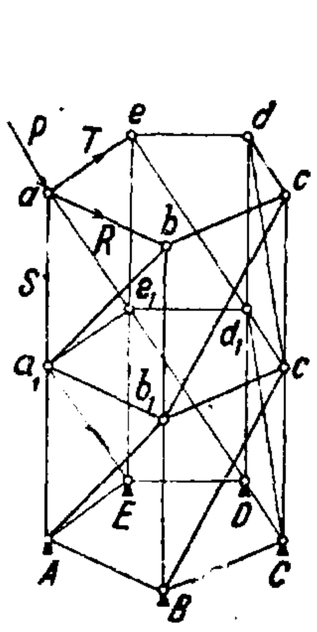
В общем случае вырезанием узла можно пользоваться, когда в узле не более 3 неизвестных усилий, определяемых из $\Sigma X=0$, $\Sigma Y=0$, $\Sigma Z=0$, а в сечении не более 6 неизвестных, определяемых из условий:

$$\Sigma X=0;\ \Sigma Y=0;\ \Sigma Z=0;\ \Sigma M_x=0;\ \Sigma M_y=0;\ \Sigma M_z=0.$$

При расчете полезно иметь в виду следующие положения, вытекающие из пространственной статики: 1) если в узле Ф. сходятся только



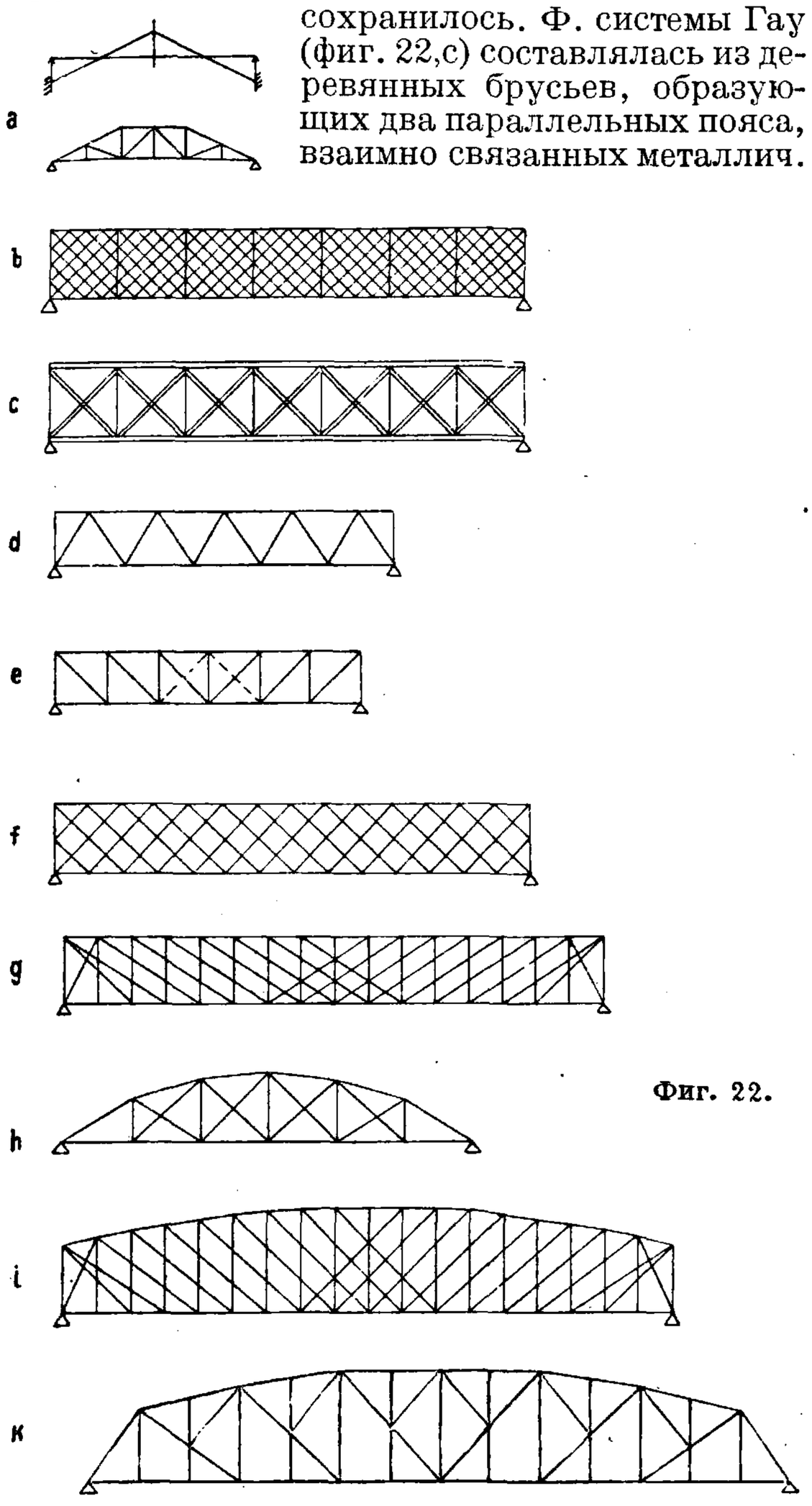
Фиг. 20.



Фиг. 21.

3 стержня и внешней нагрузки в узле нет, то усилия всех 3 стержней равны нулю; 2) если сходящиеся в узле стержни кроме одного лежат в одной плоскости, то усилие последнего, отдельно стоящего стержня м. б. определено независимо от количества остальных стержней; следовательно при отсутствии внешней нагрузки или расположении ее в плоскости остальных стержней усилие в отдельно стоящем стержне равно нулю. Вырезание узла позволяет в простейших Ф. провести расчет усилий непосредственным разложением, к-рый заключается в том, что вырезаются узлы обратно ходу образования Ф. и каждый раз определяются усилия в стержнях. На фиг. 20 показан порядок вырезания узлов. Если Ф. составлена из отдельных плоскостных Ф., то можно разложить пространственную Ф. на ее составные части, определить для них нагрузку, для чего ее следует разложить на плоскостные Ф. и рассчитывать их по указанным выше приемам. Так, на фиг. 21 силу P следует разложить на S, R и T. Сила S передается на опору A непосредственно по ребру a—A; сила T будет действовать на Ф. $acEA$, а сила R на Ф. $abBA$, вызывая усилия только этих Ф. Усилия элементов, одновременно входящих в состав обеих Ф., следует алгебраически сложить. Расчет пространственных статически неопределимых Ф. производится теми же приемами, что и Ф. плоскостных.

Характеристика Ф. Каждая Ф. в основном характеризуется следующими данными: 1) системой, 2) очертанием контура, 3) заполнением (решеткой). При проектировании Ф. выбор названных основных характеристик зависит прежде всего от сооружения, в состав к-рого входит Ф., и требований, к ней предъявляемых. Однако основным требованием является экономичность Ф., связанная с расходом материала, рабочей силы и эксплоатацией. На вес Ф. оказывают сильное влияние система и очертание контура и в меньшей мере—заполнение (решетка). Очертание контура в Ф. специального назначения определяется характером сооружения (стропильные Ф.), а иногда и эстетич. соображениями (городские мосты). Первые плоскостные системы, применявшиеся для стропильных и мостовых покрытий, получившие четкое оформление Ф., были Ф. итальянского инж. Палладио (16 в.), выполняемые из дерева с металлич. поковками (фиг. 22,a). По причинам трудности узловых сопряжений при переменных усилиях элементов и за отсутствием способов расчета Ф. эти не получили должного развития и были забыты. Поэтому начало развития Ф. в основном следует отнести к началу 19 в., к моменту развития путей сообщения, особенно железнодорожных. Первыми сквозными конструкциями 19 в. были Ф. сист. Тауна (1820) и Гау (1824, Америка). Ф. сист. Тауна (фиг. 22,b) изготовлялась из досок, имела параллельные пояса и накрест из двух слоев густую решетку. В современное понятие Ф. она не укладывается, т. к. занимает по системе переходное положение от сплошной балки к сквозной конструкции, но тем не менее название Ф. за ней сохранилось. Ф. системы Гау (фиг. 22,c) составлялась из деревянных брусьев, образующих два параллельных пояса, взаимно связанных металлич.



Фиг. 22.

тяжами, между которыми помещаются деревянные перекрещивающиеся раскосы. С появлением массового изготовления металла и его прокатки многорешетчатая Ф. сист. Тауна была перенесена и в область металлич. сооружений (1850—60 гг.), в которых доски решетки заменялись вначале полосовым, а затем угловым и тавровым железом. Этим наметился в основном переход в металле от сплошной клепаной конструкции, которая была применена в мостах, к сквозной. Переход этот вызывался необходимостью перекрытия больших пролетов, в к-рых

сплошная балка оказывалась экономически невыгодной. Сплошная стенка была заменена сквозной, но вследствие недостаточно развитой теории была оставлена густая решетка, к-рая не давала отчетливых представлений о работе Ф. В шестидесятых годах 19 в. появились более ясные по образованию и работе Ф., к-рые по существу и являются основными в настоящее время. Это Ф. сист. Невиля и Варена с т. н. треугольной решеткой (фиг. 22,d) и Ф. сист. Пратта с раскосной или N-образной решеткой (фиг. 22,e). В этих Ф. сказалось повторение четкой идеи образования сквозных конструкций, к-рая была указана Палладио в 16 в. В то же время были предложены и другие Ф. (системы Поста), по существу не отличающиеся от названных выше. По очертанию все первые Ф. были с параллельными поясами, а по системе—балочными, разрезными и неразрезными. С развитием масштаба покрытия росла высота Ф., в к-рых применение решетки Пратта и Варена было связано с необходимостью больших панелей, вызывающих утяжеление проезжей части мостов, а также с необходимостью проектировки длинных сжимаемых стержней. Теоретич. подсчеты веса показывают, что рациональная длина панели должна изменяться в пределах 4—10 *м*, увеличиваясь соответственно нарастанию пролета. Нужно было или изменять углы наклона раскосов, уклоняясь от рационального, или как-то дополнительно подразделять панель. Естественным был начальный переход к Ф., включающим в себя две-три системы решетки, наложенные одна на другую (фиг. 22,f и 22,g), получая Ф. многорешетчатую и многораскосную. Многорешетчатые Ф. применялись в Европе по образцам, выработанным Францией и Англией, с клепаными узлами; многораскосная же Ф. развивалась вначале в Америке и с болтовыми соединениями.

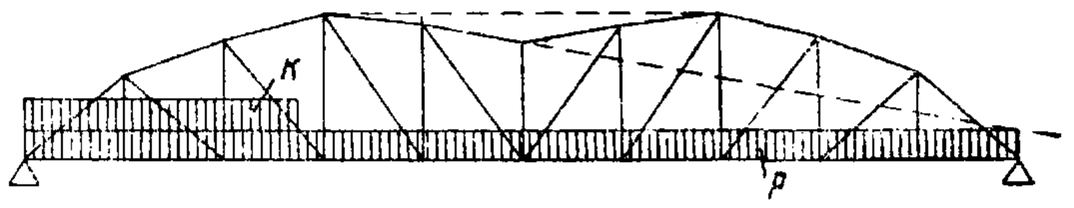
Первые Ф. имели форму бруса с двумя параллельными поясами. Искание рациональных форм очертаний Ф. относится ко 2-й половине 19 в. В области балочно-разрезных Ф. эти искания привели прежде всего к увеличению высоты по середине пролета в сравнении с опорами, что вытекает из анализа балочной системы, в к-рой усилия в поясах зависят от момента и высоты Ф. ($S=M:h$). Т. к. момент растет к середине пролета, то для сохранения постоянных усилий (S=Const) необходимо увеличивать высоту h. При равномерной нагрузке, точно следуя указанному правилу, была получена т. н. параболич. Ф. с постоянным усилием прямого пояса (фиг. 22,h). Так как при равномерной нагрузке

$$M=\frac{ql}{2}X-\frac{qX^2}{2},$$

то

$$h=\frac{M}{S_{\text{Const}}}=\frac{\frac{ql}{2}X-\frac{qX^2}{2}}{S_{\text{Const}}}$$

дает семейство парабол в зависимости от S_{Const}. Конструктивные неудобства чисто параболич. Ф. привели к Ф. полупараболической—очертание, часто применявшееся в Ф. большого пролета (фиг. 22,i). Стремление создать усилия, постоянные в обоих поясах, привели к Ф. сист. Паули, к-рая распространения не получила. Шведлером (1867) была создана Ф., в к-рой при любом положении подвижной нагрузки усилия в раскосах положительны (фиг. 23). Идея ее заключается в том, что растягивающие усилия от постоянной нагрузки p более возможных сжимающих усилий от временной нагрузки k. Очертание Ф. зависит от соотношения нагрузок k и p. Ради конструктивных удобств и эстетич. соображений вдавленный верхний пояс обычно выпрямлялся. Названные выше Ф., теоретически имеющие определенный смысл, особого развития не получили, ибо их форма не оказалась вкупе совершенной, т. к. она искалась только из нек-рых предпосылок, не учитывая во взаимосвязи всех обстоятельств, влияющих на изготовление в практике Ф. и их эксплоатацию.



Фиг. 23.

Гл. обр. во всех Ф. не был учтен производственный процесс; они были неудобны для конструирования и изготовления. Компромиссным решением, допустив в известной степени увязку теоретич. формы с формой, удобной для изготовления были Ф. полигонального очертания (фиг. 22,k), примененные сначала в Америке, а затем в Европе. Сопоставляя между собой Ф. с параллельными поясами и Ф. с криволинейным или полигональным очертанием, можно отметить, что при одинаковой высоте по середине пролета Ф. с параллельными поясами будет иметь усилия в поясах, сильно убывающие к опорам, и усилия в раскосах, возрастающие к опорам; Ф. с криволинейными поясами имеют усилия в поясах, более равномерно распределенные по длине пояса, и усилия решетки, значительно меньшие, чем в Ф. с параллельными поясами. Так напр., в Ф. параболических, нагруженных сплошной равномерной нагрузкой, проекции поясных усилий во всех панелях поясов равны между собой, а усилия раскосов от той же нагрузки равны нулю. Вообще опыт конструирования Ф. показал, что при одинаковых пролетах, высоте и числе панелей фермы с параллельными поясами тяжелее Ф. с криволинейными и ломаными поясами.

При выборе высоты Ф. учитываются возможность получения наименьшего веса Ф., необходимость обеспечения жесткости Ф. в вертикальном направлении и обеспечения устойчивости в поперечном направлении всего сооружения, в состав к-рого входит Ф. Исследования, произведенные теоретич. и статистич. путем, показывают, что вообще рациональное отношение высоты h к пролету l в Ф. изменяется в зависимости от длины пролета. Ниже приведены данные об отношении высоты к пролету в мостовых Ф. с ездой понизу.

В Ф. с параллельными поясами:

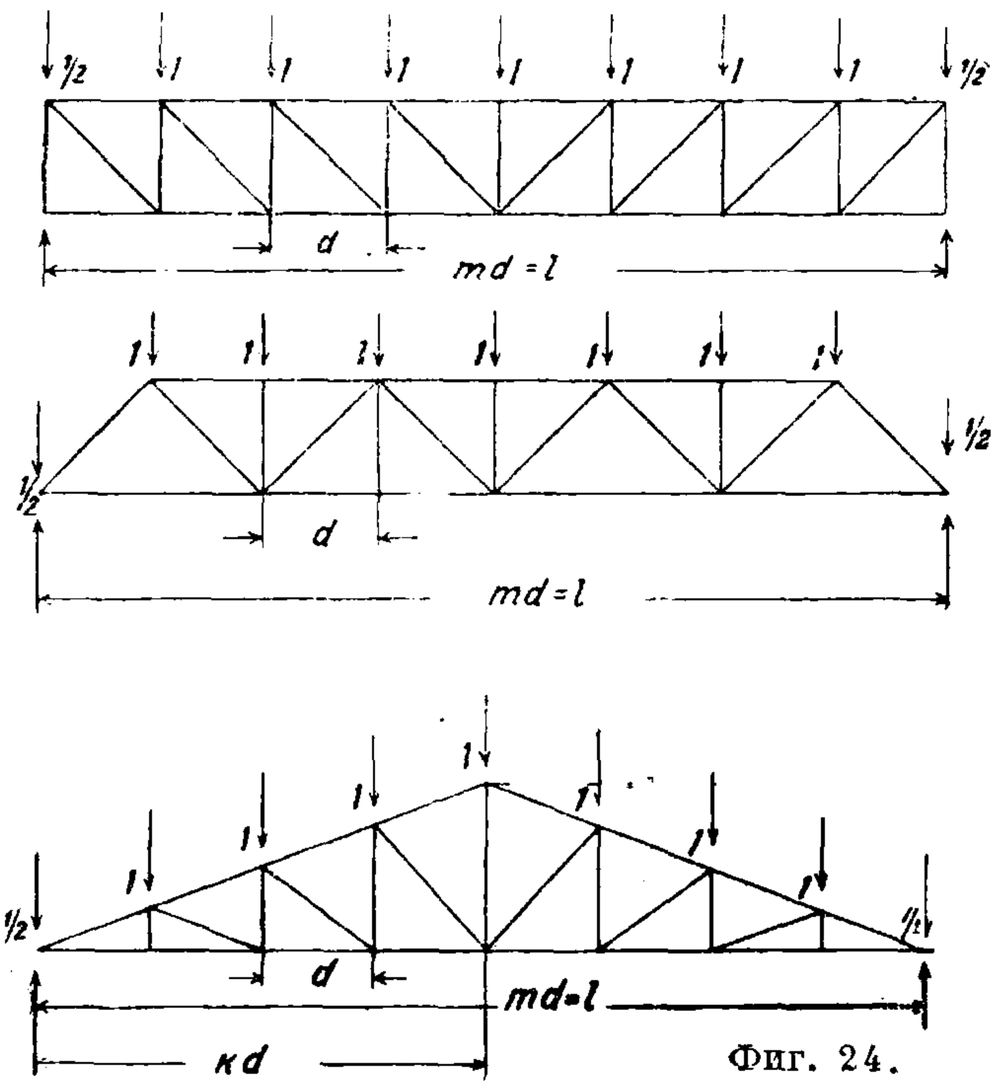
при пролетах l, *м* .	30	40	50	60
в СССР $\frac{h}{l}$	1/4	1/5	1/6,0	1/6,1
в Америке $\frac{h}{l}$	1/4	1/4,5	1/5,6	1/6,0

в Ф. с полигональными поясами:

при пролетах l, *м* .	50	60	90	130	150
в СССР $\frac{h}{l}$	1/6	1/6	1/6	1/6,3	1/6,6
в Америке $\frac{h}{l}$	1/5,2	1/5,4	1/6	1/6,2	1/6,4

В стропильных Ф. выбор высоты Ф. часто зависит от конструктивных требований, предъявляемых к скату кровли. Проф. Стрелецкий характеризует зависимость изменения отношения $h:l$ в стропильных Ф. графиком, показан-

ным на фиг. 24, в котором кривая *1* относится к ферме с параллельными поясами и раскосной решеткой; кривая *2* относится к ферме с параллельными поясами и треугольной решеткой;

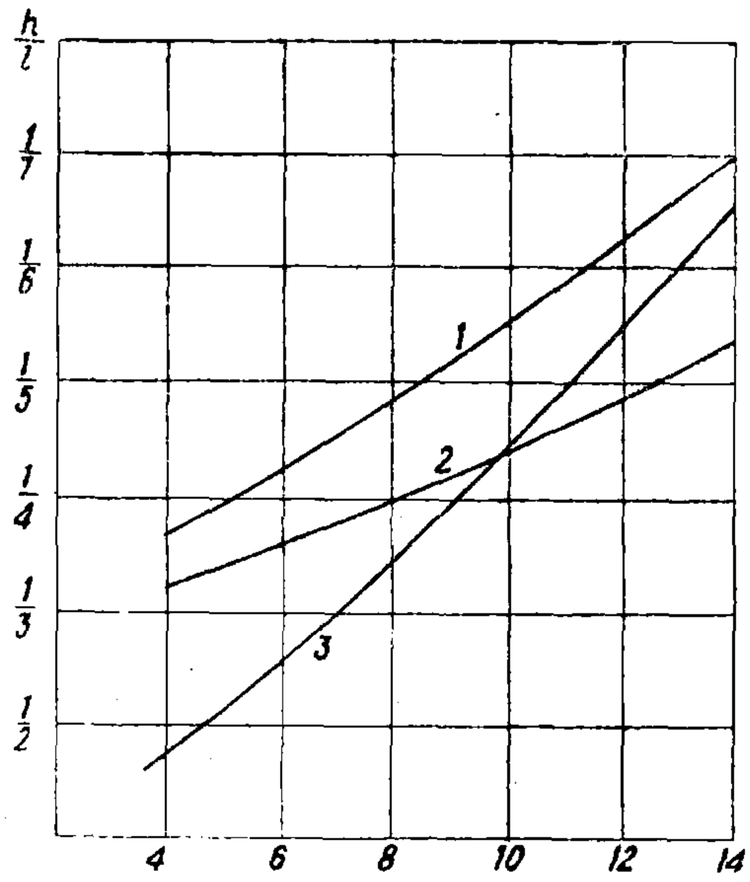


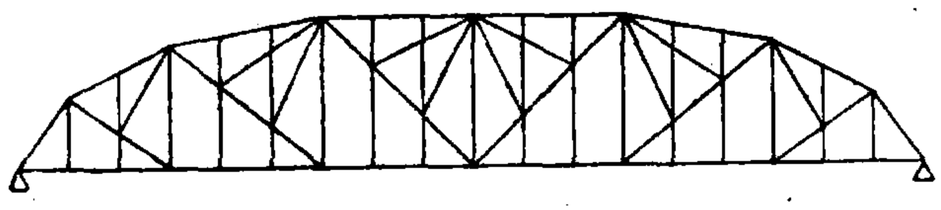
Фиг. 24.

кривая *3* относится к ферме треугольного очертания и с раскосной решеткой.

Переходя к характеристике различных систем решеток, применяемых в Ф., надо прежде всего отметить, что величина и знак усилия решетки очень сильно зависят от контура поясов Ф. Так, в Ф. с параллельными поясами раскосы, нисходящие к месту наибольшего момента, работают на растяжение, в Ф. стропильного типа раскосы, нисходящие к месту наибольшего момента, работают на сжатие, в параболических Ф., контур к-рых является средним между указанными, раскосы не работают от постоянной нагрузки. Все указанные свойства решетки относятся к постоянной нагрузке и нарушаются при действии подвижной, вызывающей своим движением по Ф. знакопеременное усилие в решетке, как это легко видеть по линиям влияния. Сама решетка обладает тем свойством, что знак усилия в ней меняется с переходом от раскоса к стойке в раскосных системах и от раскоса к раскосу в треугольных системах. Исследования показывают, что наименьший вес решетки имеет место при наклоне раскосов под углом 45—55° к горизонту. Сравнительные подсчеты веса Ф. при одинаковом очертании поясов, одинаковом пролете, высоте Ф., числе панелей и одинаковой нагрузке показали, что действительный вес Ф. с треугольной решеткой всегда меньше веса раскосной Ф., но незначительно; вес Ф. с треугольной решеткой и дополнительными стойками и подвесками близок к весу Ф. с простой треугольной решеткой.

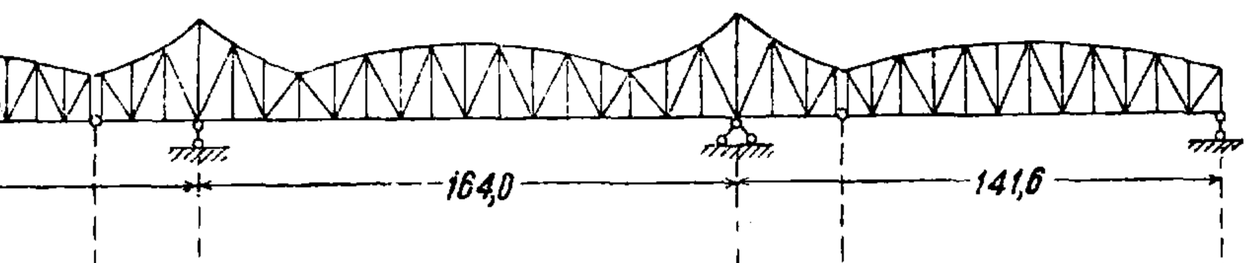
Постепенное завоевание Ф. области больших пролетов, в к-рых собственный вес конструкции балочной системы становился все более и более чувствительным, проходило через стадии исканий новых форм. Эти искания были направлены по линии совершенствования системы как таковой и по линии очертания поясов и заполнения решетки Ф. Как новые системы были выдвинуты консольные и арочные Ф. Консольные Ф., часто называемые Ф. сист. Гербера, по существу системы напоминают неразрезную, к-рая применялась уже раньше и к к-рой относились недоверчиво, имея в виду чувствительности этой Ф. как статически неопределимой системы к дополнительным напряжениям от осадки опор и $t°$. В консольных Ф., являющихся результатом преобразования



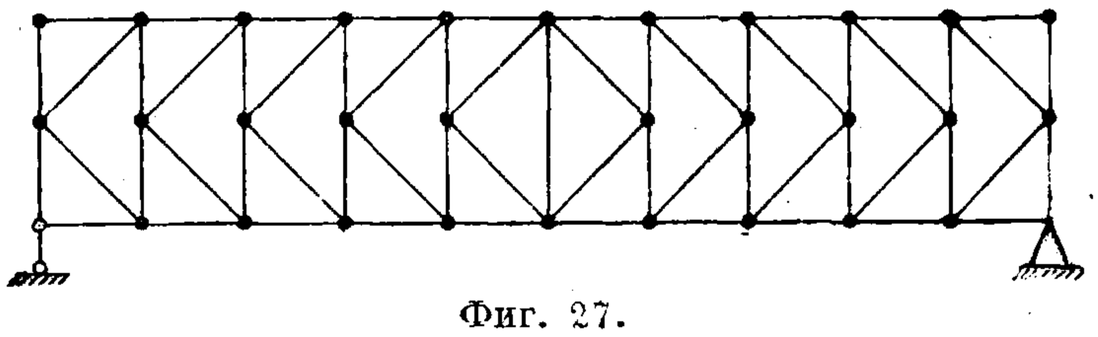


Фиг. 26.

неразрезных Ф. в статически определимые, уничтожен этот недостаток, а вместе с ним уничтожена и плавность упругой линии—ценнейшее качество неразрезных ферм в эксплоатационном отношении. Статич. смысл их заключается в том, что нагрузка, располагаемая на консолях и подвесных Ф., разгружает междуопорную часть, снижая вес Ф. Консольные Ф. легче балочных и могут перекрывать бо́льшие пролеты. Однако чувствительная разница в весе сказывается лишь при пролетах более 120 *м*. Консольные Ф. кроме того представляют известные удобства сборки их и компановки сооружения. Из балочных систем за последнее время все больше и больше в практике вновь появляется система неразрезная, что связано с теоретическими достижениями в области регулирования дополнительных напряжений. Имея большие



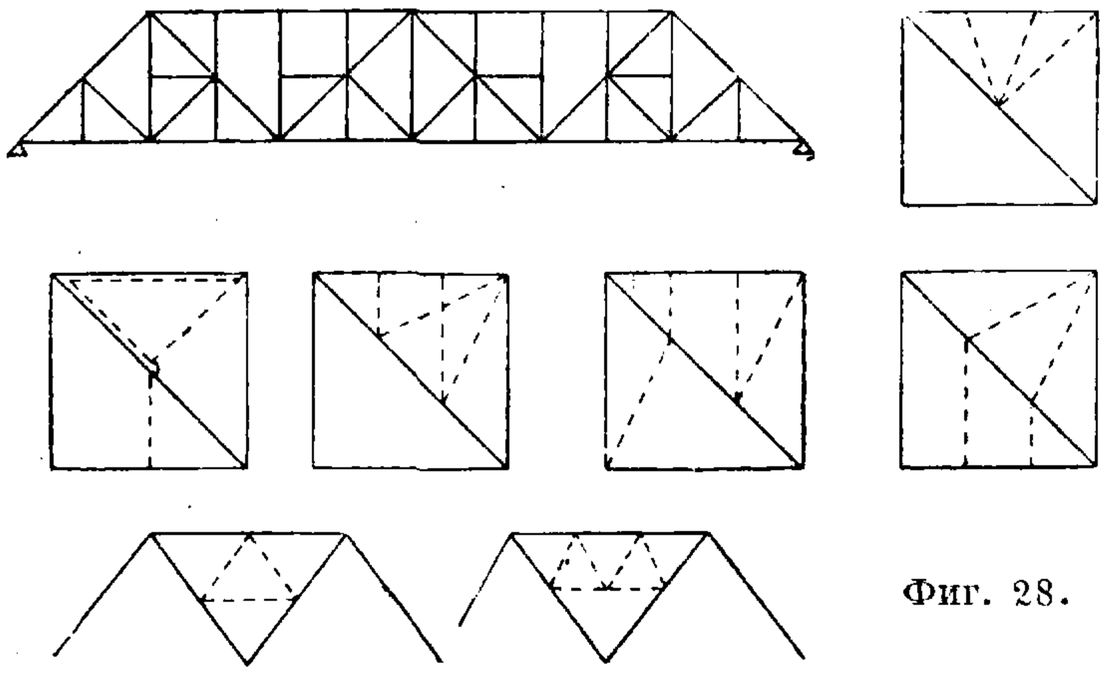
Фиг. 25.



Фиг. 27.

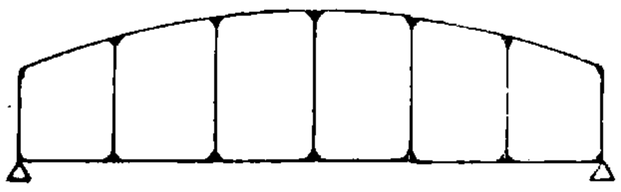
положительные качества: жесткость, плавность упругой линии, экономичность и другие, неразрезная ферма несомненно займет надлежащее ей место среди перекрытий больших пролетов.

Прием очертания пояса по эпюре моментов от равномерной нагрузки был использован также в применении к балочно-консольным и неразрезным фермам. На фиг. 25 даны сопоставления эпюры моментов и очертания пояса Ф. Подобное стремление иногда приводило к созданию не-



Фиг. 28.

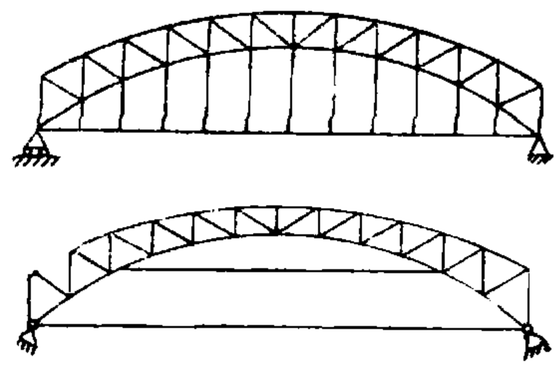
красивых Ф. В практике последних лет полигональность очертания консольных Ф. значительно упрощается, т. к. производственные процессы все более и более накладывают отпечаток на форму сооружения, заставляя в Ф. консольных и неразрезных переходить к Ф. с параллельными поясами.



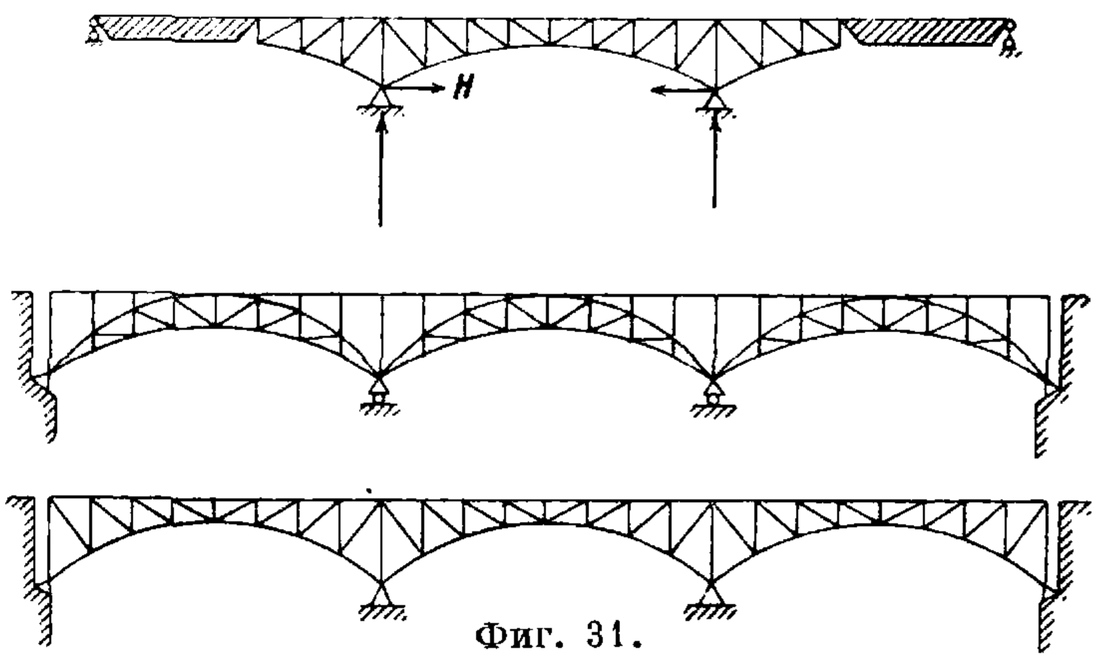
Фиг. 29.

Последние Ф. просты в конструктивном отношении и позволяют широко развить принципы стандартизации в процессе изготовления отдельных элементов, что ведет к быстроте изготовления фермы и к экономическому эффекту. При выявлении схемы консольных Ф. существенное значение имеет выбор длины консолей, влияющей как на вес бесшарнирного пролета, так и на вес подвесных ферм. Основываясь на исследовании ряда авторов, можно дать сл. характеристики отношения длины a консоли к длине l пролета: при выпуклом очертании консолей $a \cong 0{,}15\ l$, при параллельных поясах $a \cong 0{,}20l$, при вогнутом очертании $a \cong 0{,}22l$.

Обращаясь теперь к вопросу заполнения Ф., нужно отметить стремление, направленное к исканию простых форм с меньшими значениями дополнительных напряжений от жесткости узлов. Для раскосов выработался рациональный угол ок. 45—55°, причем треугольная решетка оказалась рациональнее **N**-образной. Деление панелей производилось введением дополнительных элементов, а не наложением решеток (фиг. 26 и 22,k). Тех же целей достигает полураскосная Ф. (фиг. 27), в к-рой свободная длина раскосов сокращается вдвое, но зато растет количество узлов, что делает ее более тяжелой, чем шпренгельные Ф. Особенного внимания заслуживает прием введения в основную Ф. малых фермочек-шпренгелей, дающих дополнительные узловые точки (фиг. 28). Элементы таких фермочек работают исключительно при нагрузке дополнительных узлов, ими созданных, и не работают в прочих случаях. Поэтому дополнительная затрата на них сравнительно невелика, почему они и нашли широкое применение в технике. На фиг. 28 даны некоторые варианты шпренгельных включений, что конечно не исчерпывает все разнообразие примененных и могущих быть применен-

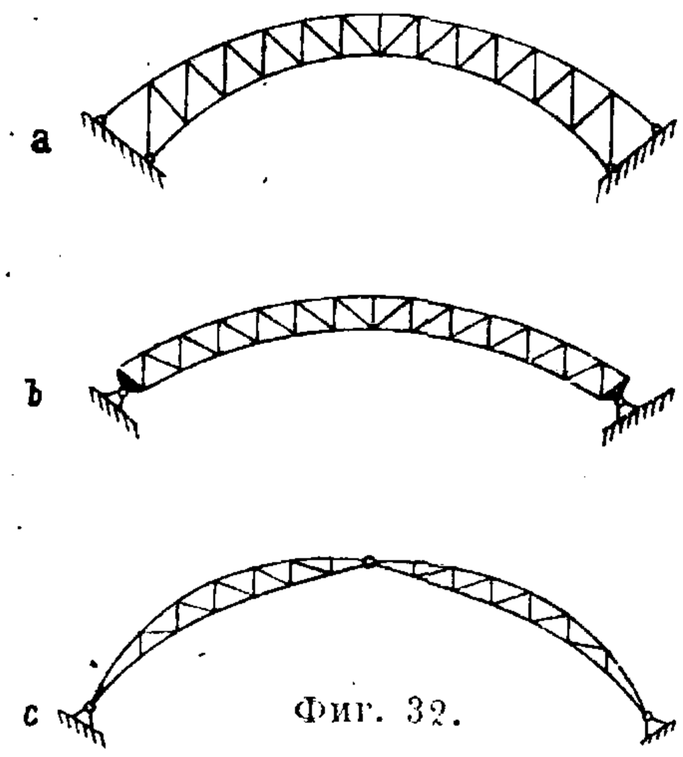


Фиг. 30.



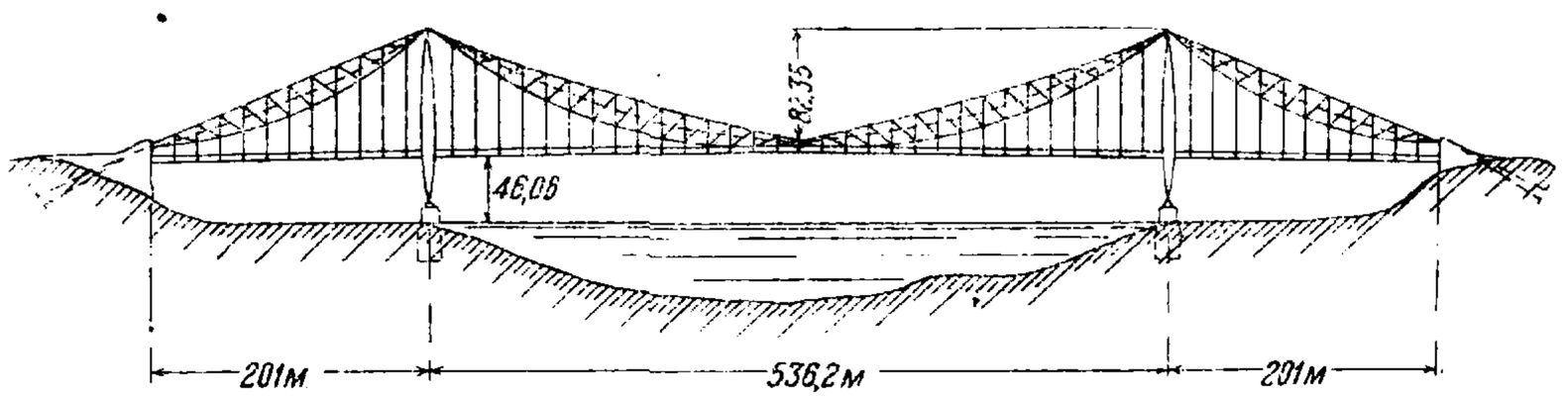
Фиг. 31.

ными в дальнейшем. Наличие шпренгелей в составе раскосов уменьшает свободную длину последних, снижая вес сжатых элементов. Решетка оказывает значительное влияние на развитие дополнительных напряжений в Ф. от жесткости узловых соединений. Подсчеты, производившиеся рядом специалистов, и опытные изучения Ф. показали, что наименьшие дополнительные напряжения имеют место в Ф. с раскосной простой треугольной, шпренгельной и полураскосной решетками; бо́льшие дополнительные напряжения имеют место в системах двухраскосной и двухрешетчатой и треугольной с подвесками. Что касается жесткости Ф. в смысле прогиба их, то здесь, наоборот, наибольшей жесткостью обладают Ф. с двухраскосной решеткой и двухрешетчатые и наименьшей жесткостью—Ф. со шпренгельной решеткой. К плоскостным балочным Ф. относят безраскосную систему (фиг. 29) и клепаную балку, называя их Ф., что не укладывается в понятие Ф.



Фиг. 32.

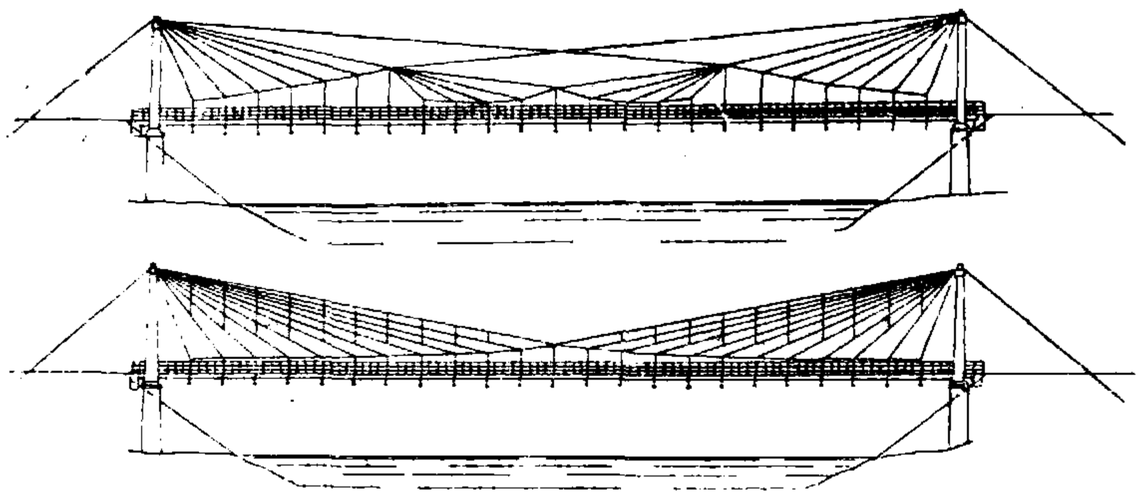
Фиг. 33.



Фиг. 34.

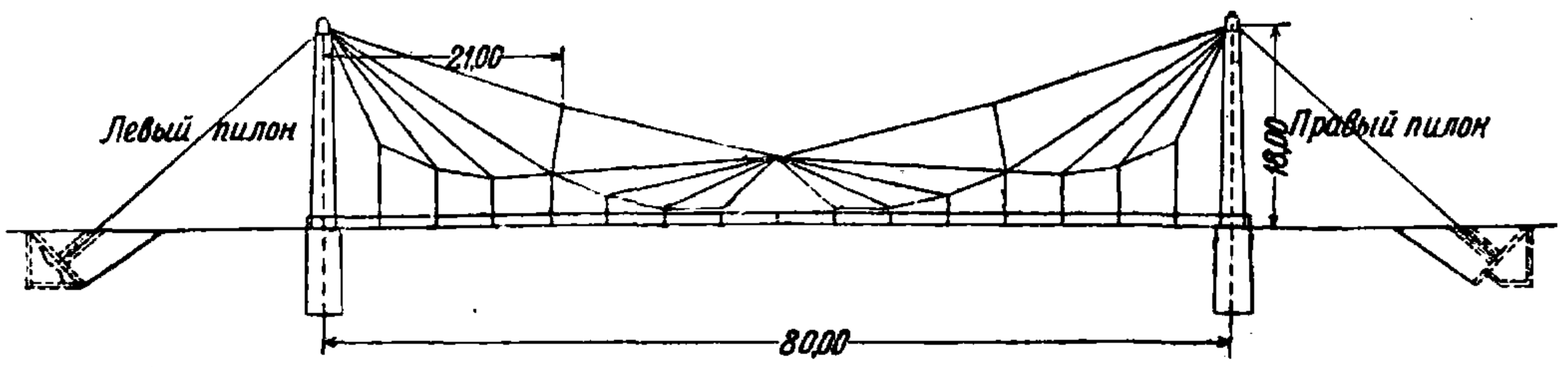
Арочные Ф. в мостостроении появились вскоре после балочных и явились переходом от

арочных чугунных мостов, к-рые к тому времени конструктивно оформились. Статич. отличие арочных Ф. от балочных заключается в



Фиг. 35.

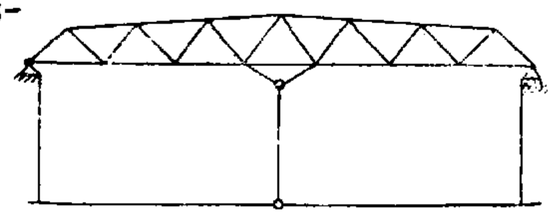
наличии горизонтальной составляющей опорных реакций (распора H), к-рая и дает разгрузку арки, создавая в пролете момент обратного знака. Распор в арочных Ф. неблагоприятен для опор, особенно высоких. И если арочные Ф. легче и более жестки, чем балочные, то опоры для них всегда массивнее. В неблагоприятных для опор случаях распор уничтожается введением затяжки (фиг. 30), что дает уже комбинированные системы арки с затяжкой, к-рые



Фиг. 36.

благодаря красивому их виду нашли широкое применение во всех странах света. Уменьшение влияния распора на опоры также было достигнуто применением консольных и неразрезных арок (фиг. 31). Характер закрепления арок на опорах определяет название арочных Ф.: бесшарнирные a, двухшарнирные b и трехшарнирные c (фиг. 32, на к-рой даны очертания Ф., являющиеся наиболее подходящими для каждого рода опорных закреплений). Для двухшарнирных арочных Ф. также хорошим считается серповидное очертание (фиг. 33). Заполнение арочных Ф. не отличалось от балочных, тем более что в них вопрос выбора заполнения благодаря относительно малым расстояниям между поясами не стоит так остро, как в балочных. Больше предпочтения отдается решетке раскосной **N**-образной, имеющей ряд конструктив-

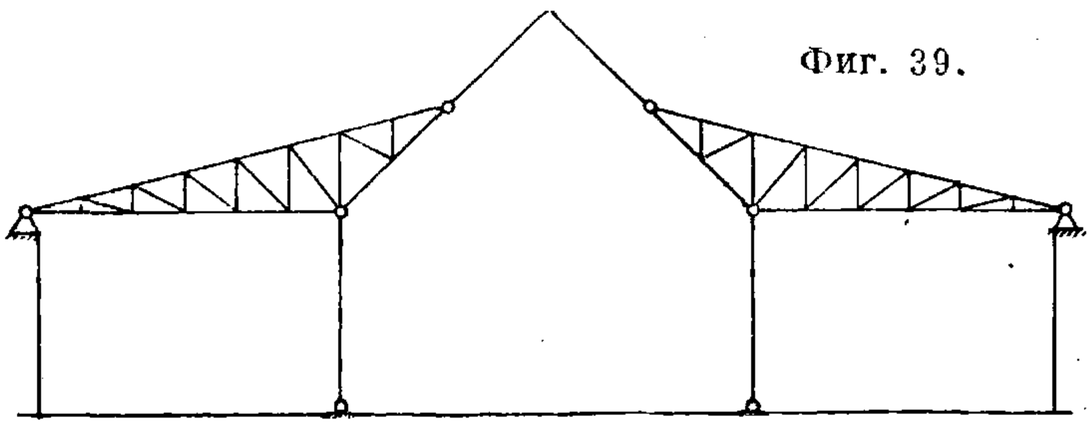
Фиг. 37.



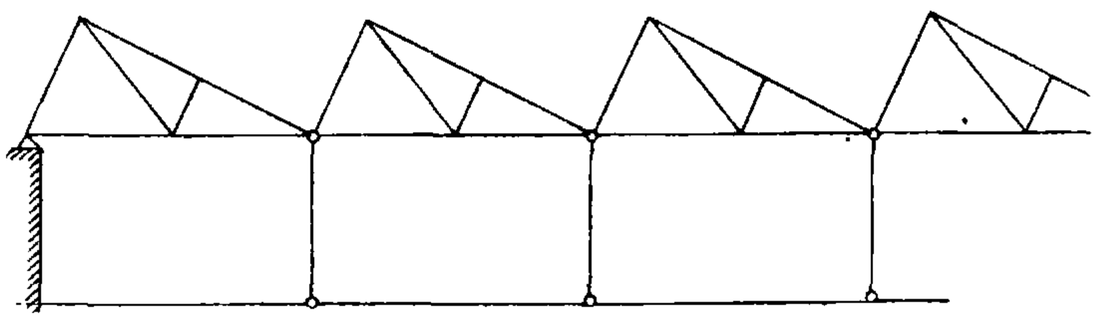
Фиг. 38.

ных преимуществ при незначительной разнице в весе по сравнению с треугольной. В развитии висячих систем были также применены жесткие Ф. (фиг. 34), к-рые по статич. смыслу одинаковы с аркой. Разница между ними только в направлении распора H. В области висячих систем постепенное их развитие привело к т. н. вантовым гибким Ф., к-рые подходят под определение Ф. только в том случае, если все элементы Ф. растянуты. Они развились из висячих кабельных мостов, в к-рых для получения жесткости вводились дополнительные канаты второстепенного значения—в а н т ы. Постепенное введение вант сгладило разницу между основными и второстепенными элементами висячего моста. Из вантовых Ф. широко применялись Ф. сист. Жискляра [фиг. 35 (Франция)], дающие при любом положении нагрузки элементы, работающие на растяжение. На фиг. 36 представлена Ф., спроектированная коллективом ЦИС НКПС для одной из шоссейных дорог на Кавказе, представляющая ценный вклад в практику вантовых Ф.

Фиг. 39.

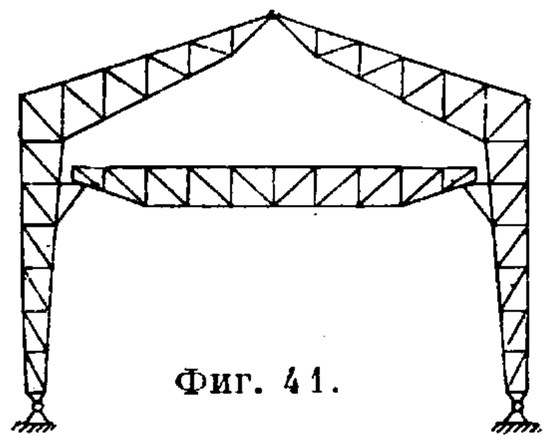


Ф. гражданских и промышленных сооружений, как отмечает практика, не представляют в своем развитии того широкого разнообразия, к-рое присуще фермам мостового типа. Это объясняется гл. обр. обстоятельствами, влияющими на характер работы Ф. промышленного и гражданского строительства. Ф. в названных сооружениях применяются гл. обр. для поддержания кровли, чем уже до некоторой степени обусловлено их очертание (фиг. 37). С другой стороны, относительно малый масштаб перекрытий и легкость нагрузки по сравнению с сооружениями мостовыми не ставили острой необходимости изыскания совершенных форм, и развитие их базировалось на развитии Ф. мостовых. В гражданских и промышленных зданиях Ф. была применена в системах: балочной (фиг. 37), балочно-неразрезной (фиг. 38) и ба-



Фиг. 40.

лочно-консольной (фиг. 39). Нек-рым балочным Ф. присвоены названия германской, бельгийской, английской, американской и др., по существу не отличающихся друг от друга и имеющих лишь ничтожные изменения в заполнении. Заслуживают внимания специальные Ф. промышленных зданий, требующих освещения через кровлю: фермы шедовые, или пилообразные (фиг. 40). Фермы арочной системы употребляются как в промышленных сооружениях, так и особенно в перекрытиях вокзалов, платформ, выставочных и других общественных зданий (фиг. 41), где они достигают значительных размеров. Особенного внимания заслуживает в настоящее время выполнение как балочных, так и арочных Ф. из дерева.



Фиг. 41.

Лит.: Т и м о ш е н к о С., Статика сооружений, ч. 1, 3 изд., Л., 1933; П р о к о ф ь е в И., Теория сооружений, т. 1—2, М.—Л., 1933; С и м и н с к и й К., Строительная механика, Киев, 1919; М ю л л е р-Б р е-

слау Г., Графическая статика, пер. с нем., СПБ, 1898; Подольский И., Пространственные фермы, М.—Л., 1932; Патон и Горбунов, Стальные мосты, т. 1, Киев, 1930; Шухов В., Стропила, Изыскание рациональных типов прямолинейных стропильных ферм и теория арочных ферм, М., 1897; Стрелецкий Н., Законы изменения веса металлич. мостов, «Труды научно-техн. ком. НКПС», М., 1926, вып. 30; его же, Основы законов веса металла в промышленных конструкциях, «Бюллетень Гипростальмосты», М., 1932, 5. **Кисилев.**

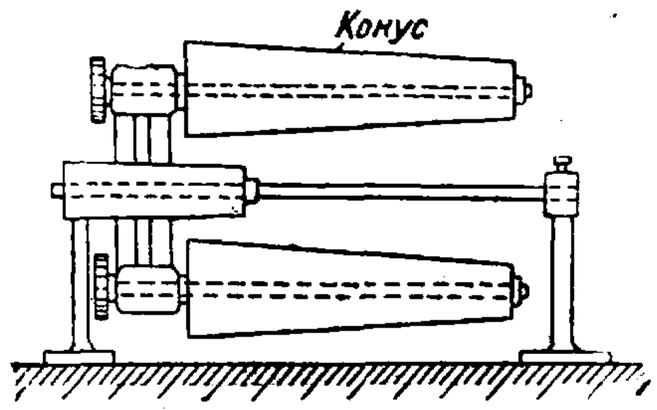
ФЕТРОВЫЕ ИЗДЕЛИЯ, войлочные изделия, характеризующиеся специфичностью смески шерстей, употребляемых на их изготовление. Слово фетр—французское (feutre) и в буквальном переводе также означает войлок. Специфичность смески для фетра заключается в том, что для него идут шерсти тонкие, мягкие и нежные—овечьи с тонкорунных пород, козий пух, верблюжий пух (тайлак), кроличий и заячий пух. Всякое добавление в смеску полугрубой шерсти или поярков от грубошерстных пород овец является суррогатированием фетра.

В настоящее время у нас в СССР вырабатывают следующие виды Ф. и.: фетровые валенки, фетровые дамские боты, фетровые шляпы дамские и мужские. Кроме того к Ф. и. могут быть причислены все виды технич. войлоков, к-рые в обиходе называют фильцем (от нем. слова filz—войлок). Производством фетровых валенок и бот занимается преимущественно промысловая кооперация, а технич. войлока и в главной массе шляпы вырабатывает государственная пром-сть. Районы выработки Ф. и.—Москва и Московская область, район Ленинграда и Татарская АССР. Примерные смески в процентах: 1) мериносовых шерстей 35%, козьего пуха 25%, камвольных мериносовых очесов 40%; 2) козьего пуха 50%, мериносовой шерсти 35%, камвольных очесов 10%, верблюжьего пуха (тайлак) 5%.

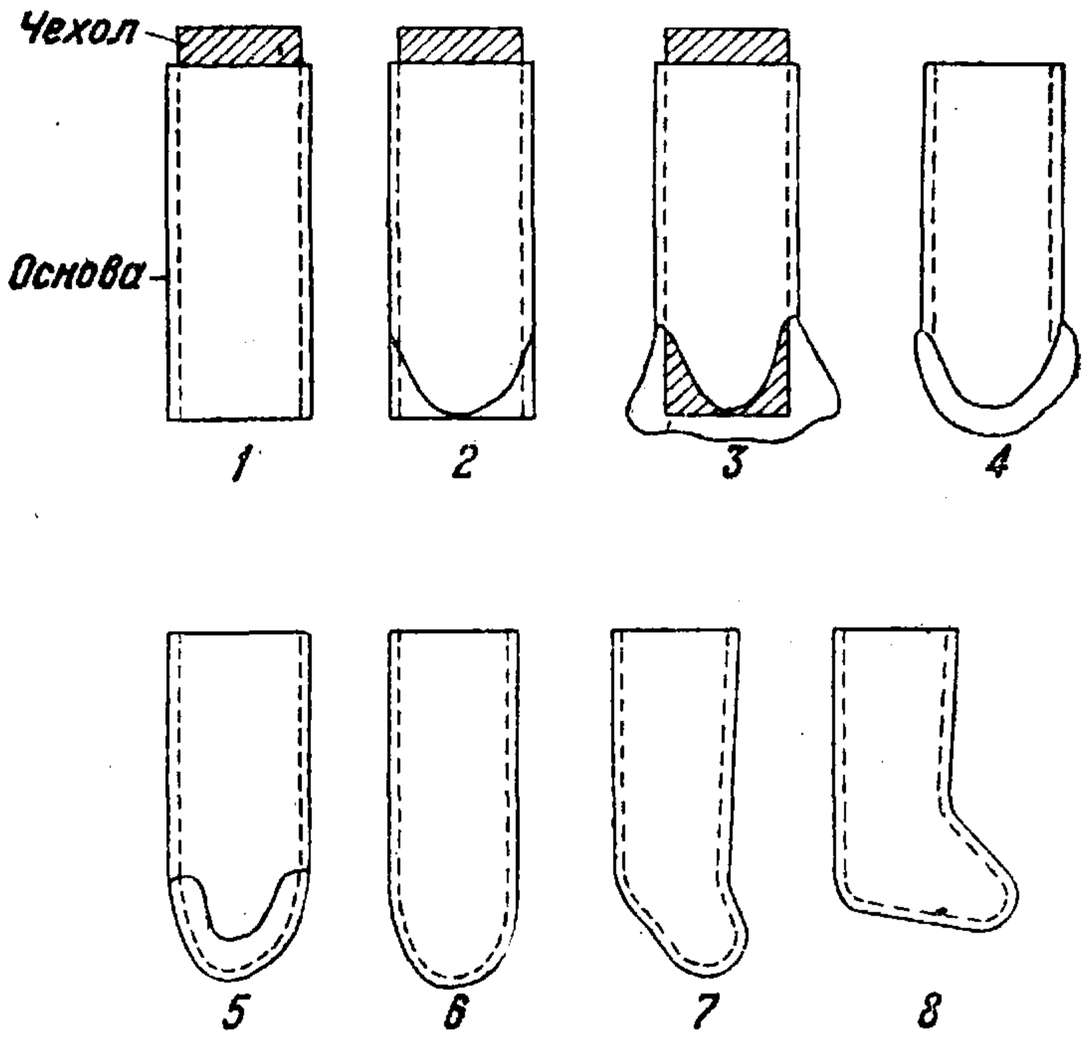
Подготовка шерсти к смеске. Мериносовая шерсть перед смеской подвергается промывке (см. *Шерсть*). Камвольные очесы, получаемые уже из мытой шерсти, верблюжий и козий пух идут в смеску без промывки. Заячий и кроличий пух получается со шкурок зайцев и кроликов. Для этой цели служат или старые шкурки, бывшие в употреблении, или шкурки—брак. С последних предварительно состригают концы грубого волоса—песигу. Т. к. пух зайцев и кроликов в естественном состоянии почти не обладает способностью свойлачивания благодаря тому, что чешуйки наружного слоя волоса слишком плотно прилегают к его стволу, шкурки предварительно надлежит подвергнуть обработке химич. веществами и т. о. несколько отделить чешуйки от ствола. Свойством отщеплять чешуйки обладают едкие щелочи—каустическая сода, едкий кали и азотнокислая ртуть. Этими веществами и намазывают шкурки по волосу, а затем их подвергают сушке в специально устроенных камерах. После сушки пух состригают руками (ножницами) или же на стригальных машинах, разрезая мездру на мелкие кусочки, вследствие чего сохраняются концы волосков, сидящие в мездре. Со шкурки зайца-беляка получается таким путем 80—100 *г* пуха.

Расщипывание и чесание смески. Приготовленная для фетра смеска идет сначала на спиральную крылатую трепальную машину. После крылатой машины смеска подвергается разработке два раза на чесальных машинах с кардной лентой для первого прочеса № 24 (барабан) и № 26 (пеньер) и для второго прочеса № 26 (барабан) и № 28 (пеньер) (см. *Кардочесальная машина* и *Войлочное производство*).

Образование первоначальной формы (закладка) и катка (свойлачивание). Подготовленная расчесанная шерсть поступает в цех для образования первоначальной формы изделий, называемой закладкой. Закладка бывает как ручная, так и механическая. При механической закладке шерсть непосредственно с чесальной машины навивается на конус конусного аппарата (фиг. 1), который соединен с машиной, а затем уже по снятии с конуса поступает в цех для катки в виде полых колпаков, открытых с одного или двух концов, напоминающих по форме изготовляемое изделие. Конусный аппарат в шляпном деле применяется давно и получил там полное право гражданства. При изготовлении же обувных изделий он является нововведением, которое проникло раньше в фетровое производство, а затем уже распространилось и на простую валяную обувь. При ручной закладке шерсть поступает в цех в виде расчесанной пушистой смески.



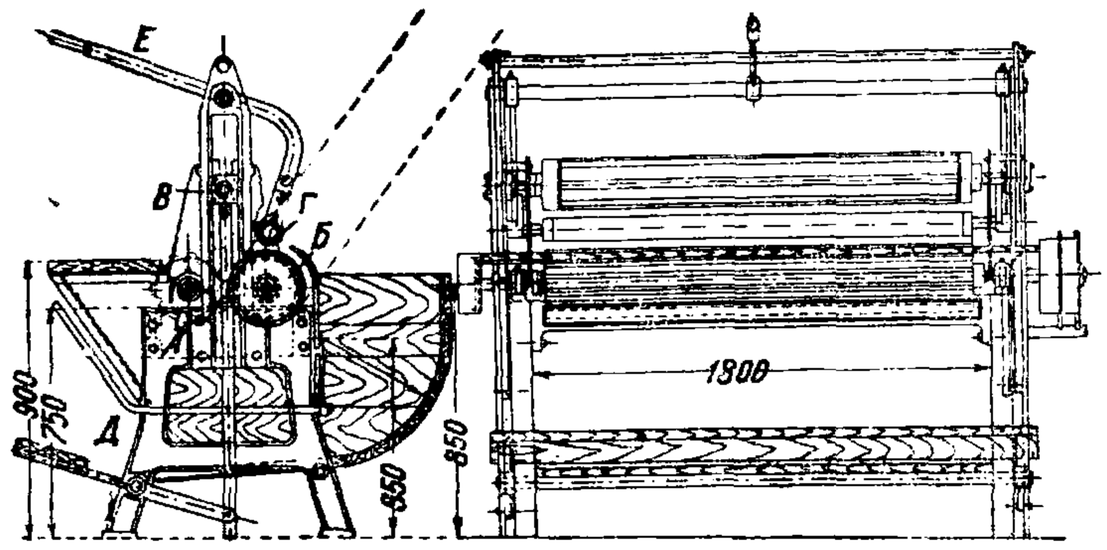
Фиг. 1.



Фиг. 2.

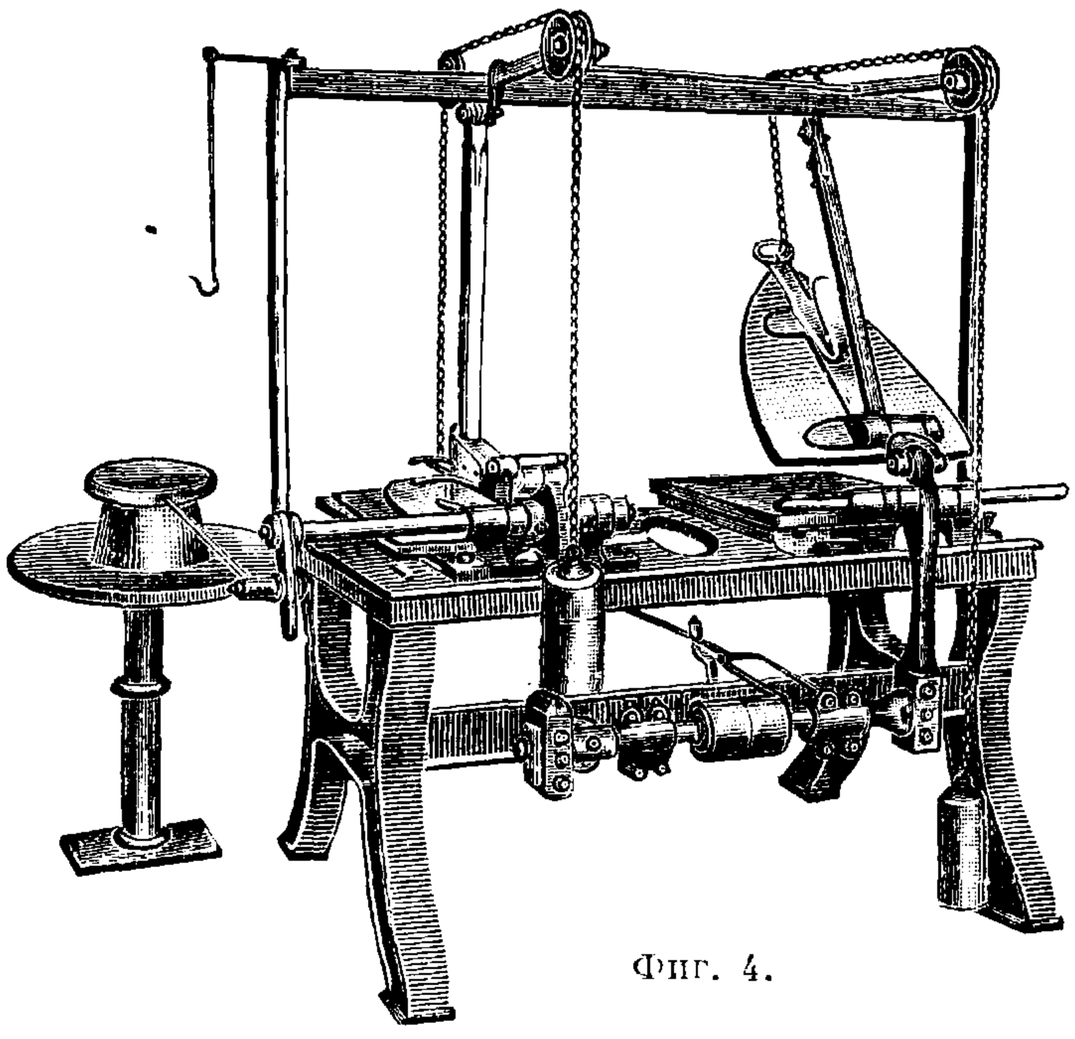
Процесс ручной закладки и затем следующая за ним катка для фетровой обуви совершенно одинаковы с таковыми для обыкновенной валяной обуви (см. *Войлочное производство*). Обработка же заложенной механическим способом основы несколько иная. С конуса снимается в обувном деле не колпак, открытый только с одного конца, как это имеет место в шляпном производстве, а колпак, открытый с двух концов и надетый на холстовый чехол. Это делается для того, чтобы в дальнейшем во время катки стенки колпака не сращивались. Поэтому ему необходимо еще придать форму ноги, т. е. образовать носок и пятку, после чего он будет напоминать сапог. На фиг. 2 показано образование головки основы валенка механич. закладки способом оттяжки после затростки носка: *1*—основа на чехле, снятая с конусного аппарата, *2*—на основе сделан надрез, *3*—по надрезу сделан разрыв основы, *4*—чехол вынут—основа

подготовлена к затростке носка, *5*—носок затрощен, *6*—затрощенный носок выкатан, *7*, *8*—две стадии оттягиваемого носка. Катка основы в настоящее время в фетровом производстве делается механически на катальных машинах.



Фиг. 3.

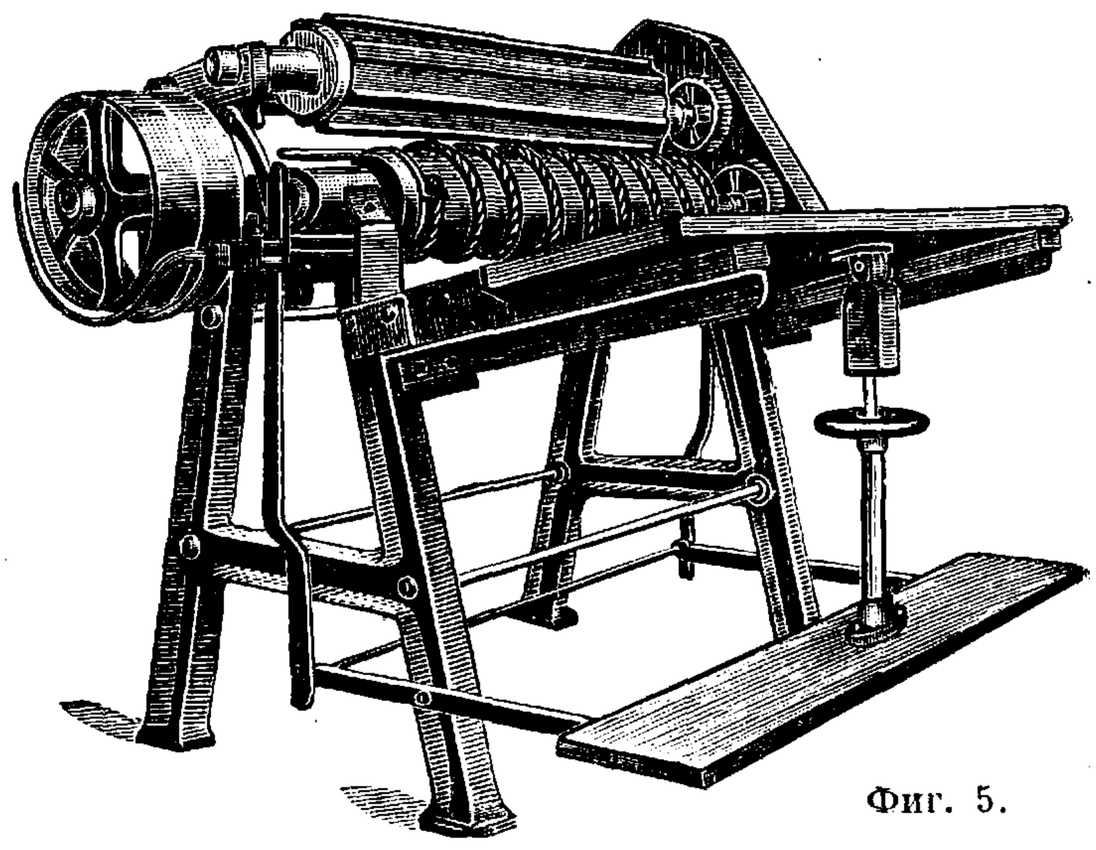
На обувных фабриках для этой цели применяется специальная катальная машина Полякова (фиг. 3). В ней кубарь с завернутыми в него основами подвергается действию рифленых валов, между которыми он находится в процессе работы. Машина состоит из трех рифленых валов, установленных на чугунной раме; два нижних *А* и *Б* работают от привода и вращаются в одном направлении, верхний *В*—подъемный, вращается благодаря трению; вал *В* передвигается по вертикальным направляющим при помощи рычага и педали *Д*. Вспомогательный валик *Г* поднимается ручкой *Е*; все валики на шарикоподшипниках. Кубарь (рулон) кладут на передний столик машины, верхний вал поднимают педалью *Д*, вспомогательный отводят ручкой *Е* на нек-рое расстояние, затем кубарь скатывают на два нижних вала, опускают верхний и вспомогательный валы и пускают машину. В шляпном производстве употребляется еще плиточная свойлачивающая машина (фиг. 4), на которой обрабатываются колпаки предварительно. Затем их подвергают окончательному свойлачиванию на специальных шляпных машинах Кваде (фиг. 5).



Фиг. 4.

Валка и последующие операции. После свойлачивания колпаки еще имеют рыхлую структуру и по своей величине почти вдвое больше готовых изделий. Они должны быть окончательно уплотнены, для чего служит операция, именуемая валкой, или стиром. Ручная валка и разъяснение сущности самого процесса—см. *Войлочное производство*, *Валяная обувь*. В фетровом производстве валка ведется исключительно механически на кольцевых стиральных машинах Кваде и молотовых машинах Гросселена (см. *Войлочное производство*). Перед валкой колпаки Ф. и.—валенок, бот, шляп—подвергаются купорошению в слабом теплом растворе серной к-ты—не более 4° Bé. Это делается для увеличения способности свойлачивания. В дальнейшем процесс обработки фетровой обуви одинаков с обработкой обыкновенной валяной обуви. За валкой следует насадка на колодки, обтирка на механич. рубчатке, центрифугирование для удаления влаги, сушка, очистка шкуркой на станке или на пемзовальных кругах, очистка механич. щеткой от пыли, обрезка, клеймение и сортировка.

Карбонизация шляпных колпаков. В шляпном производстве колпаки шляп окончательно выстирываются на молотовых машинах Гросселена, после чего их подвергают карбонизации для удаления имеющихся соринок растительного происхождения.



Фиг. 5.

Этой операции в обувном фетровом производстве не бывает. Колпаки пропитывают в течение 10—15 мин. раствором серной к-ты 4° Bé, отжимают и помещают в сушильную камеру с *t*° 110°. Карбонизация продолжается 30 мин., после чего колпаки промывают и нейтрализуют (см. *Карбонизация*).

Крашение. Ф. и. кроме натурального вида бывают еще и крашеные. В особенности это относится к шляпам. Крашение шляп м. б. проведено или в шерсти, или в виде колпаков, или в готовых изделиях. Чаще всего красят колпаки. В качестве красителей употребляют анилиновые краски для шерсти. Крашение изделий происходит в кислой среде при кипячении. После крашения шляпные колпаки в целях очистки от загрязнения промывают. Промывка происходит в молотовой машине при большом притоке воды. В конце промывку ведут в слабощелочном растворе 2° Bé.

Выпрямление шляпных колпаков. По окончании промывки шляпные колпаки отжимаются в центрифуге и идут на колпачно-разбивную машину, которая, разбивая верхушку колпака, придает ей форму полушара. После этого шляпные колпаки передают на конусный аппарат для отгибания полей и наконец их натягивают на болванки. Расправленный на болванке колпак имеет уже окончательный вид шляпы, к-рая из него получится. Чтобы закрепить полученную форму, колпаки, не снимая с болванки, направляют в су-

шильную печь. Сушка закрепляет в шляпе шерстяные волокна в том положении, какое им было дано предыдущими операциями. Отделка состоит в очистке шляп от пыли и в шлифовании поверхности наждачной лентой на шлифовальном станке. Затем происходит окончательная формовка на гидравлическом прессе и наконец обрезка краев, обшивка полей, подшивка подкладки, нашивка ленты и этикетки.

Лит.: Канарский Н., Шерсть и ее обработка, т. 1, ч. 1, М., 1923; Вязавов Г. и Бебешин В., Сапого-валяльное производство, М., 1929; Алексеев Ф., Кроличья шкурка, П., 1916. **В. Бебешин.**

ФИДЕРЫ, провода, служащие для подвода электрич. энергии от станции или подстанции к питательным пунктам [1, 2] (см. *Сети электрические*). Ф. позволяют уменьшить разности напряжений между отдельными точками электрич. сети. Основное преимущество Ф.: в отличие от распределительных проводов в них можно без опасности возникновения больших колебаний напряжения допустить большие падения напряжения (в среднем 7—12% и более в отдельных случаях), что дает значительную экономию металла для *проводов* (см.), позволяя увеличить радиус района снабжения. Фидеры бывают кольцевые (в небольших установках) или радиальные (ряд линий, расходящихся по радиусам от главного источника питания, центральной станции или главной подстанции) [3, 5, 14]. В виду весьма важного значения Ф. для бесперебойного снабжения энергией потребителей Ф. иногда дублируют, прокладывая рядом с каждым из них второй запасный. С развитием потребления кольцевую систему можно усилить прокладкой радиальных Ф. В крупных установках применяется сочетание кольцевой системы с радиальной [5, 14]. За границей для более крупных городов распространены и системы Ф. в виде замкнутой «сетки» более сложной конфигурации; в СССР к таковым пока относились с осторожностью, опасаясь усложнения эксплоатации в виду затруднений с обнаружением мест повреждений. Лишь в самое последнее время наша технич. общественность начинает больше интересоваться вопросом о применении Ф. в виде замкнутой сети в связи с благоприятными данными эксплоатационного опыта замкнутых сетей нового типа (в виде сплошной кабельной сетки) в США и Германии. Пока в нашей практике чаще всего применяется компромиссная система—разомкнутые Ф. с перемычками: сеть разбивается на отдельные районы, питаемые каждый отдельным Ф.; для обеспечения же (на случай аварии какого-нибудь Ф.) возможности питания соответствующего района другим Ф. между ними предусмотрены перемычки, т. е. включаемые только в случае нужды соединительные линии, обычно остающиеся с одной стороны выключенными. Такая система представляет собой в сущности замкнутую сеть, для к-рой однако нормальная эксплоатация ведется в разомкнутом состоянии [4, 5, 11, 12, 14].

В отношении расчета Ф. отличаются от проводов распределительной сети лишь тем, что для Ф. возможен выбор расчетного допустимого падения напряжения в более широких пределах, причем м. б. выбрано экономичное падение напряжения, т. е. такое, к-рому соответствует минимум ежегодных эксплоатационных расходов [5, 6, 7, 12, 13]. Желательно стремиться к максимально возможному уменьшению разнообразия сечений Ф., питающих какую-либо сеть. Выполняются Ф. в виду их ответственного назначения за границей всегда (за исключением мелких населенных мест) в виде подземных кабельных линий; в нашей практике кроме крупных городов более распространена для Ф. воздушная проводка [4, 5, 8, 9, 10, 14]. Относительно включаемых в Ф. приспособлений для измерения и регулирования напряжения в питательных пунктах см. *Сети электрические*, питательные пункты и *Вольтодобавочные машины* [8, 14].

Ф. в сетях для электрической тяги (см. *Электрические железные дороги*). Питание контактной сети от источников энергии (подстанций) производится через Ф., присоединяемые к питательным пунктам. Ф. бывают или питательными проводами (тогда в точках присоединения к контактному проводу получается питательный пункт) или усиливающими проводами (в них сосредоточивают медь, которую по механическим соображениям нецелесообразно иметь непосредственно в контактной линии). Применяются две основные схемы питания контактного провода: односторонняя (т. н. консольное питание: одна подстанция у начала участка) и двухсторонняя (по одной подстанции у начала и у конца участка); преимущества последней: бо́льшая надежность питания, меньшая нагрузка на каждый из источников питания, более равномерное распределение напряжения вдоль линии. Иногда, в случаях аварий с Ф., используют с помощью соответствующих переключений для временного питания отсасывающие провода (свойственны городским ж. д., иногда дорогам однофазного тока, встречаются изредка на дорогах постоянного тока с собственным полотном); назначение их—уравнивать потенциал в рельсе в целях уменьшения электрич. разъедания металлич. частей; чем больше число отсасывающих проводов, тем меньше падение напряжения в рельсах и меньше опасность от блуждающих токов [3, 15] (см. *Токи блуждающие*).

Лит.: 1) Витт В., Электрические провода, их производство, расчет и прокладка, Москва—Ленинград, 1927; 2) Глазунов А., Теория и расчет электр. распределительных сетей, М., 1931; 3) СЭТ, Справочная книга для электротехников, т. 3, отд. 18 и 19, Ленинград, 1928; 4) Фаульль Ф., Справочник по электротехнике, пер. с англ., т. 3, Л., 1929; 5) Хащинский В., Канализация электрической энергии (сети), ч. 1, Электрич. расчет, 3 изд., Ленинград, 1931; 6) Хрущов В., Рациональные основы проектирования электрических сетей, Харьков—Одесса, 1932; 7) Herzog—Feldmann, Die Berechnung elektr. Leitungsnetze in Theorie u. Praxis, 4 Aufl., Berlin, 1927; 8) Kyser H., Die elektr. Kraftübertragung, B. 2, Die Niederspannungs- u. Hochspannungsleitungsanlagen, 3 Aufl., Berlin, 1932; 9) Lavanchy L., Étude et construction des lignes électriques aériennes, Paris, 1932; 10) Mauduit A., Installations électriques à haute et basse tension, Paris, 1926; 11) Piazzoli E., Tecnica degli impianti elettrici per luce e forza, v. 2, p. 1, Condutture, trasmissione e distribuzione, apparecchi e apparecchiature, protezione, 7 ed., Milano, 1929; 12) Révessi G., La trasmissione e la distribuzione dell'energia elettrica, Brescia, 1926; 13) Rziha E. u. Seidener J., Starkstromtechnik, Taschenbuch f. Elektrotechniker, B. 2, 7 Aufl., Berlin, 1931; 14) Seelye H., Electrical Distribution Engineering, New York, 1930; 15) Seefehlner E., Elektrische Zugförderung, Berlin, 1924. **В. Хащинский.**

Ф. в технике высокой частоты. Фидерные линии в радиотехнике служат для подвода высокочастотной энергии для питания антенн (коротковолновых и ультракоротковолновых); реже Ф. применяются в приемном деле в целях подвода энергии, воспринятой приемной (направленной) антенной, к соответствующему приемному устройству. Ф. в коротковолновой и ультракоротковолновой технике появились как следствие того, что направленные антенные устройства в этом диапазоне частот

являются сложными сооружениями (см. *Лучевая антенна*, *Радиосеть*), к-рые невозможно непосредственно связать с передатчиком (приемником), располагаемым поэтому в нескольких десятках, даже сотнях *м* от антенн. Основное требование, предъявляемое к Ф.,—минимальные в них потери. Схемы включения нагрузки (антенны) в Ф. и методы связи Ф. с передатчиком [1] должны учитывать подбор параметров связей т. о., чтобы сделать идентичной характеристику Ф. с входным сопротивлением. Фидерные потери и кпд фидерных линий рассчитываются по следующим ф-лам: 1) отношение потерь (на расстоянии x от антенны) к полезной мощности $s = 2\beta x$, причем через β обозначен коэф. затухания, легко определяемый ур-ием: $\delta = \beta\lambda$ (δ получается измерением); 2) кпд $\eta = \frac{1}{1+s}$; 3) величина потерь в % мощности передатчика

$$\frac{\Delta p}{p} = \frac{100\ S}{1+s}.$$

Конструктивно Ф. устраивают двух типов: 1) воздушные двухпроводные Ф., 2) экранированные концентрич. Ф. Воздушные Ф. представляют собою обычно двухпроводную линию из медного или бронзового провода $\varnothing$ 3—6 *мм*; провода ведутся на столбах на высоковольтных многоюбочных, многореберных (или другого типа) изоляторах; расстояние между проводами 20—40 *см*. Концентрические экранированные фидеры проводятся в медных или обмедненных внутри трубах и крепятся в них изолирующими вставками; внутренняя поверхность труб должна представлять сплошную медную или обмедненную поверхность; стыки отдельных труб должны иметь хороший контакт внутренних поверхностей. Преимущества концентрич. Ф. по сравнению с воздушными заключаются в том, что в них м. б. достигнуто меньшее (на ~ 30%) затухание, и в том, что они экранированы от внешнего пространства, что особенно важно в местах подвода линий к передатчикам; кроме того на них не сказывается влияние инея и гололеда. Главные недостатки их—сравнительно высокая стоимость и несимметричность.

Лит.: [1]) Анцелиович Е., Фидерные устройства для высоких и ультравысоких частот, «Радиосборник ОДР», Москва, 1930, ч. 2—3; Татаринов В., Коротковолновые направленные антенны, Москва, 1933; Roosenstein, Fortleitung hochfrequenter elektrischer Schwingungsenergie, «Zeitschrift für Hochfrequenztechn.», Berlin, 1930, B. 36, H. 3, 4.

ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ТРЕНИЯ В МАШИНАХ. 1) Гидродинамическая теория смазки. Теория трения хорошо смазанных тел (гл. обр. шипа в подшипниках) была создана русскими учеными. Первенство в этом деле принадлежит Н. П. Петрову, военному инженеру, к-рый в 1883 г. напечатал капитальное исследование о трении и смазке и положил начало гидродинамич. теории трения. Его идеи были значительно развиты и получили новую с математической стороны разработку трудами Н. Е. Жуковского и С. А. Чаплыгина. В иностранной литературе после Петрова выступил Осборн Рейнольдс (1887 г.); далее Зоммерфельд (1904 г.), давший приближенное решение гидродинамических уравнений движения вязких жидкостей; в ответ на эту работу и была напечатана работа Н. Е. Жуковского и Чаплыгина (1904 г.), дающая полное (в пределах возможности интегрирования уравнений) решение соответственных уравнений.

Построение теории идет следующим путем. Так как между шипом и подшипником находится смазывающая среда и трение жидкого слоя о жидкий слой меньше, чем трение между сухими телами, то практически нужно, чтобы одна часть смазывающего слоя прилегала к неподвижному элементу пары шип—подшипник, а другая к подвижному. Следовательно нек-рая часть слоя будет вместе с подшипником неподвижна, другая же часть должна вращаться вместе с шипом, имея скорость относительно шипа, равную нулю. Практически это достигается подбором смазочного материала сообразно материалам шипа и подшипника (или вкладыша). Т. о. при рассмотрении движения слоя теория заранее предполагает, что скорость элементов слоя и подшипника равна нулю, а у шипа равна окружной скорости шипа. Затем теория предполагает, что давление по длине шипа располагается однообразно, т. е. если мы проведем какое-нибудь сечение, перпендикулярное к оси пары, и в нем найдем распределение давления на подшипник соответственно различным направлениям радиусов его (полярная диаграмма давлений), то и в другом каком-либо параллельном сечении распределение давлений будет то же самое. Этим предположением теория отбрасывает влияние третьей координаты (вдоль оси пары) и сводит задачу к рассмотрению так наз. плоского движения. Не нужно думать, как это часто встречается у авторов, пишущих по трению между шипом и подшипником, что теория предполагает бесконечно длинный шип. Наблюдения показывают, что короткий, но очень мало деформирующийся шип более удовлетворяет требованиям теории, нежели длинный и легко изгибающийся. Давление в каком-либо о с е в о м сечении падает разумеется к концам его, т. е. к концам подшипника, но оно может падать круто или отлого. В первом случае предложения теории более удовлетворяются, нежели во втором. Это именно и наблюдается в сравнительно коротких, но недеформирующихся шипах, тогда как в длинных, но перегруженных распределение давления по длине далеко уклоняется от требований теории. Т. к. интегрирование соответствующих ур-ий в трех измерениях представляет трудность и м. б. произведено лишь при известных произвольных предположениях, то практичнее остановиться на рассмотрении плоского движения и введением поправочных опытных коэф-тов приблизить выводы теории к действительности. На том же основании и в рассмотрении плоского движения теория должна ограничиться лишь наиболее простыми соотношениями и в определении постоянных, входящих в эти соотношения, должна оставлять некоторый (разумеется небольшой) произвол, чтобы последующими опытными данными ограничить этот произвол сообразно с опытом. Таким образом правильно поставленная теория является руководительницею опытов, указывая, в каком направлении их вести и какие величины должны быть определены. К сожалению, как это видно будет из последующего, многие опыты являются малоценными, так как в них не были тщательно измерены именно те величины, без знания к-рых заключения с точки зрения теории являются сомнительными. Ниже указаны требования теории относительно постановки опытов.

Итак, сведя все к движению в двух измерениях и воспользовавшись общими ур-иями дви-

жения вязкой жидкости, мы получим ур-ие в частных производных второго порядка. Общие ур-ия движения вязкой жидкости, как и общие ур-ия теории упругости, были впервые даны Навье, к-рый весьма просто их вывел на основании рассмотрения молекулярных взаимодействий. Т. к. последующие авторы предпочли рассматривать упругое тело как сплошную среду и вместо молекулярных взаимодействий ввести рассмотрение натяжений в упругом теле, то и в выводе ур-ий для движения вязкой жидкости обычно идут теперь тем же путем, как это в кратком изложении и указано ниже. Т. о. мы приходим к ур-иям типа

$$\varrho \frac{du}{dt} = \frac{\partial p_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial p_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial p_{xz}}{\partial z},$$

если пренебрежем силой тяжести (см. ниже). Но кроме силы тяжести мы пренебрегаем затем и силой инерции смазывающего слоя. Это пренебрежение вызывало частые возражения, однако оно вполне сообразно с опытом. Дело в том, что, как мы увидим далее, смазывающий слой в современных конструкциях имеет весьма незначительную среднюю толщину, и понятно, что его инерция ничтожна сравнительно с теми натяжениями, какие в нем развиваются от внешнего давления. Таким путем, принимая во внимание еще условия несжимаемости жидкости, мы приходим к основному ур-ию

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} = 0.$$

Но, как было уже указано, сюда необходимо присоединить еще граничные условия. Т. к. границами служат шип и подшипник, являющиеся в сечении окружностями, то необходимо представить эти окружности простейшими соотношениями, а для этого неизбежным будет изменить систему координат. Окружности шипа и подшипника не будут концентричными, т. к. всегда между их радиусами существует, хотя и очень малая, разница, внешнее же давление стремится прижать шип к окружности подшипника. Поэтому мы всегда имеем дело с двумя эксцентричными окружностями, хотя эксцентриситет и м. б. очень малым. Но тогда удобным является применить координаты Неймана, о к-рых подробно сказано ниже (фиг. 1). Именно благодаря введению этих координат Н. Е. Жуковский и С. А. Чаплыгин и подошли быстро к решению задачи, что не удавалось ни Рейнольдсу ни Зоммерфельду, и только двадцать лет спустя в иностранной литературе появилось решение, более полное, чем у Рейнольдса.

В настоящей статье решение Н. Е. Жуковского и С. А. Чаплыгина мною несколько расширено. Применение координат Неймана дает возможность сразу же видеть ложную постановку опытов напр. с большим сравнительно эксцентриситетом. В дальнейшем представляется необходимым для решения задачи ввести ф-ию тока и при помощи ее выразить граничные условия. Эта ф-ия может иметь б. или м. сложный вид. Жуковский и Чаплыгин выбрали простейший вид, удовлетворяющий граничным условиям. Автором сообразно опытам этот вид несколько расширен, благодаря чему появилось согласие между опытной и теоретич. картинами распределения давления на подшипник. Но выражение коэф-та трения осталось простым. Правда, в ф-ле распределения давления на подшипник имеется одна величина ($\operatorname{ctg}\theta_1$), к-рую нужно брать по опытам. Там, где она дается опытом, теоретич. картина распределения давления хорошо согласуется с опытной. Это и указывает на рациональность введения этой величины, и когда из опытов видна будет зависимость ее от различных условий, можно будет заранее точно выяснить фактич. картину распределения давления по подшипнику. Но и теперь, как указывают примеры, взяв нек-рую среднюю величину для $\operatorname{ctg}\theta_1$, можно выяснить заранее, насколько рационально или нерационально будет работать данная установка. Главенствующее значение в этом отношении играет другая величина, зависящая от разности между радиусами шипа и подшипника и обозначенная в тексте через x_1. Здесь можно указать на два примера, приведенные в тексте. Один — указанное Бредфордом и названное им типическим распределение давления по подшипнику (фиг. 9); в этом случае x_1, как видно из приведенных в тексте опытных величин, можно взять равным 1,4, далее по наблюденному отклонению линии центров $\operatorname{ctg}\theta_1 = 1{,}3$, и затем вычисляется по формуле текста распределение давления, хорошо согласующееся с опытным (фиг. 9а). В другом опыте с той же парой вследствие уменьшения эксцентриситета x_1 получило величину, равную 1,6, $\operatorname{ctg}\theta_1 = 0{,}854$, и диаграмма давлений (фиг. 10) указывает на большую равномерность распределения именно вследствие увеличения x_1. Противоположный пример представляет опыт, описанный у Стентона, где, как видно из текста, $x_1 = 1{,}0015$ вследствие большой разности между диаметрами шипа и подшипника. Тогда, принимая $\operatorname{ctg}\theta_1 = 1$, получаем кривую распределения давления, весьма отличающуюся от других (фиг. 11), и здесь на очень ограниченном пространстве имеем резкий скачок давления от отрицательного максимума к положительному, остальная же часть поверхности подшипника почти не участвует в восприятии давления. Т. о. нерациональность малой сравнительно величины x_1 наглядно указывается теорией. Отсюда следует, что при предварительных расчетах нужно величину x_1 брать близкой к 2, и, предложив какое-нибудь среднее значение θ_1, подсчитываем допускаемую нагрузку p на единицу длины и исправляем ее опытным коэф-том на распределение давлений по длине подшипника. Таким путем можно обеспечить конструкцию от горения масла.

Гидродинамич. ур-ия движения вязкой жидкости аналогичны соответственным ур-иям для упругого тела. В обоих случаях д. б. рассмотрены относительные перемещения частиц среды, к-рые вызывают соответственные силы натяжения или сопротивления. Принимают в целях возможного упрощения задачи, что эти натяжения являются линейными ф-иями перемещений. Возьмем какие-нибудь две соседние точки среды с координатами x, y, z и $x+dx$, $y+dy$, $z+dz$; вектор, их соединяющий, будет иметь длину

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2.$$

Диференцируя, найдем его изменение через промежуток времени dt, к-рое будет определяться ур-ием $ds\,\delta\,ds = dx\,\delta\,dx + dy\,\delta\,dy + dz\,\delta\,dz$, но, называя скорости точки (x, y, z) по осям X, Y, Z через u, v, w, будем иметь ее координаты через время dt: $x+u\,dt$ и т. д., а точки $x+dx$ и т. д. $x+dx+(u+du)\,dt$ и т. д., следовательно

$$\delta\,dx = du\,dt = \left(\frac{\partial u}{\partial x}dx + \frac{\partial u}{\partial y}dy + \frac{\partial u}{\partial z}dz\right)dt$$

и аналогично для остальных координат. Т. о.

$$ds\,\delta\,ds = \left[\frac{\partial u}{\partial x}dx^2 + \frac{\partial v}{\partial y}dy^2 + \frac{\partial w}{\partial z}dz^2 + \right.$$
$$+ dx\,dy\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right) + dx\,dz\left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}\right) +$$
$$\left. + dy\,dz\left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}\right)\right]dt$$

и

$$\frac{\delta ds}{ds\,dt} = \frac{\partial u}{\partial x}\alpha^2 + \frac{\partial v}{\partial y}\beta^2 + \frac{\partial w}{\partial z}\gamma^2 + \alpha\beta\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right) +$$
$$+ \alpha\gamma\left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}\right) + \beta\gamma\left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}\right),$$

где α, β, γ—косинусы углов вектора с осями. Левая часть равенства представляет отношение изменения длины вектора к начальной длине и ко времени dt и называется растяжением в единицу времени. Геометрическим местом точек, для которых $\frac{ds\,\delta\,ds}{dt} = \text{Const}$, будет поверхность второго порядка, и оси ее называются главными осями растяжений. Ур-ие поверхности, отнесенное к главным осям X', Y', Z', будет

$$\text{Const} = \frac{\partial u'}{\partial x'}dx'^2 + \frac{\partial v'}{\partial y'}dy'^2 + \frac{\partial w'}{\partial z'}dz'^2$$

и соответственно растяжение a какого-нибудь вектора, делающего с осями углы с косинусами α', β', γ', выразится ф-лой

$$a = \frac{\partial u'}{\partial x'}\alpha'^2 + \frac{\partial v'}{\partial u'}\beta'^2 + \frac{\partial w'}{\partial z'}\gamma'^2 = a'\alpha'^2 + b'\beta'^2 + c'\gamma'^2,$$

где a', b', c' — растяжения по главным осям. Растяжения b и c для двух между собою и к a перпендикулярных направлений представляются аналогичными ф-лами:

$$b = a'\alpha''^2 + b'\beta''^2 + c'\gamma''^2,$$
$$c = a'\alpha'''^2 + b'\beta'''^2 + c'\gamma'''^2,$$

откуда

$$a + b + c = a' + b' + c',$$

и т. к.

$$a = \frac{\partial u}{\partial x},\ b = \frac{\partial v}{\partial y},\ c = \frac{\partial w}{\partial z},$$

где x, y, z, u, v, w относятся к осям a, b, c, то

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = \frac{\partial u'}{\partial x'} + \frac{dv'}{dy'} + \frac{\partial w'}{\partial z'},$$

но

$$\frac{\partial u}{\partial x} = a = \left(\frac{\delta\,dx}{dx\,dt}\right),\quad \frac{\partial u}{\partial y} = \left(\frac{\delta\,\partial u}{dy\,dt}\right),\quad \frac{\partial u}{\partial z} = \left(\frac{\delta dz}{dz\,dt}\right)$$

и следовательно

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = \frac{\delta(dx\,dy\,dz)}{dx\,dy\,dz}\cdot\frac{1}{dt} = \frac{\delta dv}{dv}\cdot\frac{1}{dt},$$

что равно увеличению объема. С другой стороны, мы можем выразить суммы производных, входящих в ур-ие растяжения, через растяжения по главным осям, напр. $\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}$. Имеем $u = u'\alpha' + v'\beta' + w'\gamma'$ по теореме о проекциях, и далее

$$\frac{\partial}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x'}\alpha'' + \frac{\partial}{\partial y'}\beta'' + \frac{\partial}{\partial z'}\gamma'',$$

так же

$$v = u'\alpha'' + v'\beta'' + w'\gamma'';$$
$$\frac{\partial}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x'}\alpha' + \frac{\partial}{\partial y'}\beta' + \frac{\partial}{\partial z'}\gamma'.$$

Производя действия и принимая во внимание, что для главных осей (по свойству осей поверхностей второго порядка)

$$\frac{\partial v'}{\partial x'} + \frac{\partial u'}{\partial y'} = 0 = \frac{\partial u'}{\partial z'} + \frac{\partial w'}{\partial x'} = \frac{\partial v'}{\partial z'} + \frac{\partial w'}{\partial y'},$$

найдем

$$\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} = 2\,a'\alpha'\alpha'' + 2\,b'\beta'\beta'' + 2\,c'\gamma'\gamma'';$$

подобным же образом находятся и две другие суммы. Рассмотрим теперь в среде бесконечно малый параллелепипед со сторонами $dx\,dy\,dz$. На каждую грань действуют давления (или натяжения) со стороны соседних с ним элементов среды, вызванные относительными перемещениями частиц среды. Обозначим через p_{xx} давление на грань, перпендикулярную к оси X, действующее в направлении оси X, а через p_{xy}, p_{xz}—давления (или напряжения), действующие на ту же грань в направлении двух других осей, т. ч. результирующее давление вообще не будет нормально к грани. Но для главных осей растяжений давление на грань, перпендикулярную к оси, будет направлено по оси (для изотропного тела), и принимается, что это давление будет линейной ф-ией растяжений. Т. о. аналогично тому, как найдены были растяжения по трем взаимно перпендикулярным направлениям через растяжения по главным осям, мы можем здесь написать, называя давления по главным осям через p_1, p_2, p_3,

$$p_{xx} = p_1\alpha'^2 + p_2\beta'^2 + p_3\gamma'^2;\quad p_{yy} = p_1\alpha''^2 + p_2\beta''^2 + p_3\gamma''^2;\quad p_{zz} = p_1\alpha'''^2 + p_2\beta'''^2 + p_3\gamma'''^2$$

и так же получим

$$p_{xx} + p_{yy} + p_{zz} = p_1 + p_2 + p_3 = 3\,p,$$

где p—среднее давление в данной точке. Т. к. слагающая p_{xy} происходит от боковых смещений $\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}$, то

$$p_{xy} = p_1\alpha'\alpha'' + p_2\,\beta'\beta'' + p_3\gamma'\gamma'';$$

подобным же образом выразятся p_{xz} и p_{yz}, и мы видим, что $p_{xy} = p_{yx}$ и $p_{yz} = p_{zy}$. Теперь напишем, что давление p_1 отличается от среднего на линейную ф-ию растяжений, т. е.

$$p_1 = p - \lambda(a' + b' + c') - 2\,\mu a',$$

и подобным же образом

$$p_2 = p - \lambda(a' + b' + c') - 2\,\mu b',$$
$$p_3 = p - \lambda(a' + b' + c') - 2\,\mu c'$$

при условии $3\lambda + 2\,\mu = 0$. Подставляя эти значения в выражения для p_{xx} и т. д. и принимая во внимание значения растяжений в ф-ии a', b', c', получим

$$p_{xx} = p + \tfrac{2}{3}\mu\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}\right) - 2\,\mu\frac{\partial u}{\partial x}$$

и т. д.,

$$p_{xy} = -\mu\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right)$$

и т. д. и для несжимаемой жидкости имеем условие

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0.$$

С другой стороны, рассматривая условие динамич. равновесия бесконечно малого параллелепипеда и пренебрегая силой тяжести, найдем

$$\varrho\frac{du}{dt} = \frac{\partial p_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zx}}{\partial z} = \frac{\partial p_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial p_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial p_{xz}}{\partial z}$$

и т. д.

Примем жидкость несжимаемой и пренебрежем силами инерции, к-рые, как показывает опыт, ничтожны в смазывающем слое. Тогда по подстановке выражений p_{xx} и т. д. через смещения получим ур-ия:

$$\frac{1}{\mu}\frac{\partial p}{\partial x} = \Delta u,$$
$$\frac{1}{\mu}\frac{\partial p}{\partial y} = \Delta v,$$
$$\frac{1}{\mu}\frac{\partial p}{\partial z} = \Delta w,$$

где $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ (знак оператора Лапласа) и условие $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$.

Рассмотрим движение плоское и следовательно ограничимся двумя осями X и Y. Для случая шипа и подшипника это означало бы, что мы пренебрегаем изменением условий движения смазывающего слоя к краям подшипника. Тогда можно преобразовать ур-ия, введя угловую скорость ω вихря, имеющего место в движении жидкости. По основным соотношениям *гидродинамики* (см.) имеем

$$2\omega = \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x}$$

и следовательно

$$\frac{\partial 2\omega}{\partial x} = \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} - \frac{\partial^2 v}{\partial x^2},$$

$$\frac{\partial 2\omega}{\partial y} = \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y}.$$

Отсюда

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = \frac{\partial 2\omega}{\partial y} + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y} = \frac{\partial 2\omega}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}\right)$$

и на основании условия $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$ получим

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = \Delta u = \frac{\partial 2\omega}{\partial y}.$$

Таким же путем найдем $\Delta v = -\frac{\partial 2\omega}{\partial x}$, и следовательно ур-ия движения жидкости напишутся

$$\frac{1}{\mu}\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial 2\omega}{\partial y} \text{ и } \frac{1}{\mu}\frac{\partial p}{\partial y} = -\frac{\partial 2\omega}{\partial x}.$$

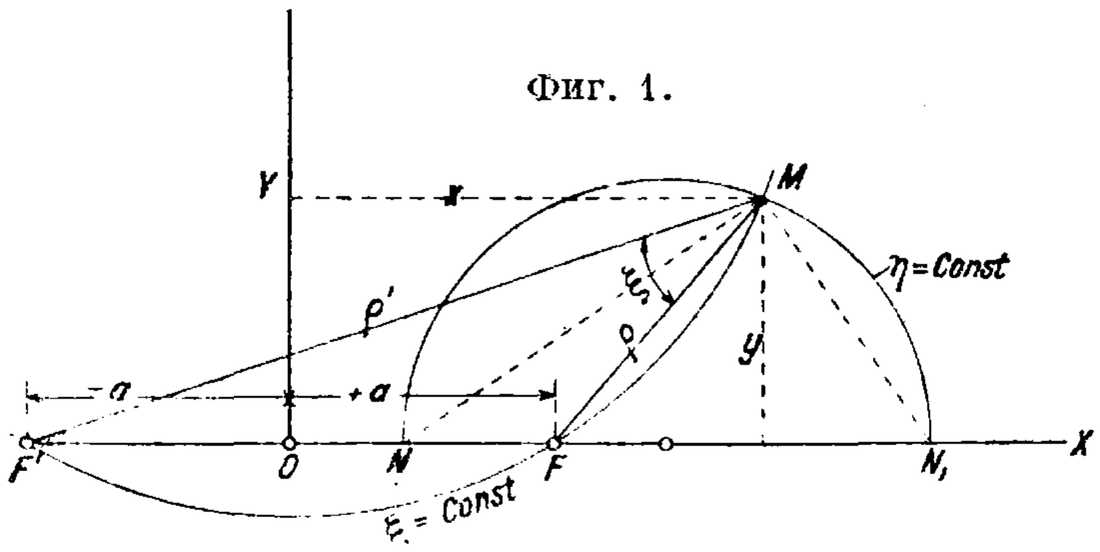
Они дают ур-ие

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} = \Delta p = 0$$

и также $\Delta 2\omega = 0$.

Прежде чем разбирать эти ур-ия, необходимо для удобства решения задачи о движении слоя между шипом и подшипником изменить систему координат. Введем систему биполярных координат Неймана (Neuman). Здесь берутся два полюса F и F' на оси X на расстояниях $+a$ и $-a$ от начала координат (фиг. 1); положение любой

Фиг. 1.



точки M определяется углом ξ между лучами $F'M$ и $F'M$ и отношением векторов $\frac{F'M}{FM}$, причем вместо самого отношения берется величина $\eta = \ln\frac{F'M}{FM} = \ln\frac{\varrho'}{\varrho}$. При данных ξ и η положение точки M определится, если: 1) найдем геометрич. место точек M, отношение расстояний к-рых до точек F' и F равно данной величине, т. е. $= e^{\eta}$; как известно из элементарной геометрии, этим геометрич. местом будет окружность, имеющая диаметром отрезок NN_1 (фиг. 1), где

$$\frac{NF'}{NF} = \frac{N_1F'}{N_1F} = \frac{\varrho'}{\varrho} = e^{\eta},$$

и 2) опишем окружность, вмещающую данный угол ξ, на отрезке $F'F$. Т. о. кривые $\eta = \text{Const}$ для различных значений Const—окружности, имеющие центры на оси OX и диаметрами различные отрезки NN_1, а кривые $\xi = \text{Const}$—окружности с центрами на OY, проходящие через точки FF'. Удобство этих координат для данной задачи заключается в том, что как окружность подшипника, так и окружность шипа, расположенная вообще эксцентрично с первой, характеризуются двумя значениями $\eta = \eta_1$ и $\eta = \eta_0$. По данному значению η радиус окружности найдется сл. обр.:

$$\frac{N_1F}{N_1F + 2a} = \frac{\varrho}{\varrho'} = \frac{NF'}{NF} = \frac{2a - NF}{NF},$$

отсюда

$$N_1F = \frac{2a}{\frac{\varrho'}{\varrho} - 1} \text{ и } NF = \frac{2a}{\frac{\varrho'}{\varrho} + 1},$$

$$N_1F + FN = 2r = \frac{4a\frac{\varrho'}{\varrho}}{\left(\frac{\varrho'}{\varrho}\right)^2 - 1} = \frac{4a}{\frac{\varrho'}{\varrho} - \frac{1}{\frac{\varrho'}{\varrho}}}$$

и

$$r = \frac{a}{\frac{1}{2}\left(\frac{\varrho'}{\varrho} - \frac{1}{\frac{\varrho'}{\varrho}}\right)} = \frac{a}{\operatorname{sh}\eta}.$$

Разность радиусов шипа и подшипника:

$$r_1 - r_0 = a\left(\frac{1}{\operatorname{sh}\eta_1} - \frac{1}{\operatorname{sh}\eta_0}\right) = \frac{r_0}{\operatorname{sh}\eta_1}(\operatorname{sh}\eta_0 - \operatorname{sh}\eta_1) = \delta,$$

и, назвав $\frac{\delta}{r_0}$ через k, получим $\operatorname{sh}\eta_0 = (1+k)\operatorname{sh}\eta_1$; расстояние центра какого-нибудь круга от начала координат:

$$a + r - NF = a + \frac{2a}{e^{\eta} - e^{-\eta}} - \frac{2a}{e^{\eta} + 1} =$$

$$= a\frac{\left[(e^{\eta} - e^{-\eta})(e^{\eta} + 1) + 2(e^{\eta} + 1) - 2(e^{\eta} - e^{-\eta})\right]}{(e^{\eta} - e^{-\eta})(e^{\eta} + 1)} =$$

$$= a\frac{(e^{\eta} + e^{-\eta})(e^{\eta} + 1)}{(e^{\eta} - e^{-\eta})(e^{\eta} + 1)} = a\operatorname{cth}\eta,$$

следовательно эксцентриситет между шипом и подшипником

$$a(\operatorname{cth}\eta_1 - \operatorname{cth}\eta_0) = \frac{a\operatorname{sh}(\eta_0 - \eta_1)}{\operatorname{sh}\eta_1 \operatorname{sh}\eta_0} = \frac{r_0 \operatorname{sh}\sigma}{\operatorname{sh}\eta_1} = e_0,$$

где $\sigma = \eta_0 - \eta_1$, и отношение

$$\frac{e_0}{\delta} = \frac{\operatorname{sh}\sigma}{\operatorname{sh}\eta_0 - \operatorname{sh}\eta_1} = \frac{\operatorname{sh}\sigma}{k\operatorname{sh}\eta_1}.$$

Точно так же найдутся координаты x и y в ф-ии ξ и η; из тр-ка $F'MF$ имеем

$$4a^2 = \varrho'^2 + \varrho^2 - 2\varrho'\varrho\cos\xi \text{ и } \varrho'^2 = \varrho^2 + 4a^2 + 4a(x - a), \text{ т. е. } 4ax = \varrho'^2 - \varrho^2.$$

Отсюда

$$\frac{x}{a} = \frac{\varrho'^2 - \varrho^2}{\varrho'^2 + \varrho^2 - 2\varrho'\varrho\cos\xi} = \frac{\frac{1}{2}\left(\frac{\varrho'}{\varrho} - \frac{1}{\frac{\varrho'}{\varrho}}\right)}{\frac{1}{2}\left(\frac{\varrho'}{\varrho} + \frac{1}{\frac{\varrho'}{\varrho}}\right) - \cos\xi} = \frac{\operatorname{sh}\eta}{\operatorname{ch}\eta - \cos\xi},$$

т. е. $x = \frac{a\operatorname{sh}\eta}{\operatorname{ch}\eta - \cos\xi}$, далее $2ay = \varrho'\varrho\sin\xi$, и по разделении на $2a$ получим $y = \frac{a\sin\xi}{\operatorname{ch}\eta - \cos\xi}$. Составим производную от p по ξ:

$$\frac{\partial p}{\partial \xi} = \frac{\partial p}{\partial x}\frac{\partial x}{\partial \xi} + \frac{\partial p}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial \xi} =$$

$$= a\left[-\frac{\partial p}{\partial x}\frac{\operatorname{sh}\eta\sin\xi}{(\operatorname{ch}\eta - \cos\xi)^2} + \frac{\partial p}{\partial y}\frac{(\operatorname{ch}\eta\cos\xi - 1)}{(\operatorname{ch}\eta - \cos\xi)^2}\right].$$

Но, с другой стороны,

$$\frac{\partial 2\omega}{\partial \eta} = \frac{\partial 2\omega}{\partial x}\frac{\partial x}{\partial \eta} + \frac{\partial 2\omega}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial \eta} =$$

$$= \frac{\partial 2\omega}{\partial x}\frac{1 - \operatorname{ch}\eta\cos\xi}{(\operatorname{ch}\eta - \cos\xi)^2} - \frac{\partial 2\omega}{\partial y}\frac{\operatorname{sh}\eta\sin\xi}{(\operatorname{ch}\eta - \cos\xi)^2},$$

и так как

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 \omega}{\partial y}, \quad \frac{\partial p}{\partial y} = -\mu \frac{\partial^2 \omega}{\partial x},$$

то

$$\frac{\partial p}{\partial \xi} = \mu \frac{\partial^2 \omega}{\partial \eta}$$

и так же

$$\frac{\partial p}{\partial \eta} = -\mu \frac{\partial^2 \omega}{\partial \xi};$$

следовательно получим основные ур-ия в ξ и η:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial \eta^2} = \nabla p = 0 \text{ и } \frac{\partial^2 2\omega}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 2\omega}{\partial \eta^2} = \nabla 2\omega = 0.$$

Т. к. тригонометрические sin и cos меняют свой знак после двукратного диференцирования, гиперболические же остаются без изменения, то ур-ию для p мы можем удовлетворить, взяв суммы произведений

$$\Sigma A_n \sin(n\xi + a_n) \operatorname{sh} n\eta,$$

$$\Sigma A_n \sin(n\xi + a_n) \operatorname{ch}(\tau - n\eta)$$

и т. п., где a_n и τ—нек-рые постоянные.

Предположим, что мы отыскиваем распределение давления на подшипник. Полагаем $\eta = \eta_1$; если теперь положить $a_n = 0$, то первые два типа сумм дадут давление на подшипник, равное 0 при $\xi = 0$ и $\xi = \pi$. А т. к. оба значения ξ соответствуют линии центров, именно $\xi = 0$ для точки N_1 и $\xi = \pi$ для точки N, то давления на подшипник в обеих точках на линии центров, т. е. в самом широком месте смазочного слоя (точка N_1) и в самом узком месте (точка N), равняются нулю, по обе же стороны линии центров давление м. б. симметричным: по одну сторону положительным, по другую отрицательным. Такое распределение, как наиболее простое, и было принято Н. Е. Жуковским и С. А. Чаплыгиным, и в виду отсутствия тогда опытных данных по распределению давления на подшипник оно казалось наиболее естественным. В настоящее время имеется ряд таких опытов, и хотя они и не удовлетворяют вполне требованиям теории и не отвечают на все ее вопросы, но в общем дают указание, что давление на подшипник расположено не симметрично. Поэтому в наиболее простом виде давление представится формулой:

$$p = B_1 \sin\xi + B_2 \cos\xi + B_3 \sin 2\xi + B_4 \cos 2\xi + B_5,$$

где B_1, B_2, B_3, B_4—гиперболич. ф-ии, к-рые на подшипнике, где $\eta = \eta_1$, обращаются в постоянные, а B_5—постоянное. При опытах м. б. определен эксцентриситет e_0, тогда можно определить положение полюсов координат Неймана. Пусть расстояние одного полюса координат F (ближнего) от центра круга r_1 будет c, а другого, дальнего, F' будет b, тогда имеем для точек окружности радиуса r_1 соотношение:

$$\frac{b + r}{c + r_1} = \frac{\varrho'}{\varrho} = \frac{b - r_1}{r - c},$$

т. е.

$$bc = r_1^2.$$

Для окружности радиуса r_0 (шипа) получим так же

$$(c - e_0)(b - e_0) = r_0^2 = bc - e_0(b + c) + e_0^2,$$

т. е.

$$b + c = \frac{r_1^2 - r_0^2 + e_0^2}{e_0}.$$

Отсюда для определения b и c имеем ур-ие

$$z^2 - \frac{r_1^2 - r_0^2 + e_0^2}{e_0} z + r_1^2 = 0,$$

т. е.

$$z = \frac{r_1^2 - r_0^2 + e_0^2}{2e_0} \pm \sqrt{\left(\frac{r_1^2 - r_0^2 + e_0^2}{2e_0}\right)^2 - r_1^2};$$

один корень дает b и другой c. Затем

$$\frac{b - r_1}{r_1 - c} = \frac{\varrho'}{\varrho} = e^{\eta_1},$$

чем и определится параметр η_1 для подшипника, так же для шипа

$$e^{\eta_0} = \frac{b - r_0 - e_0}{r_0 - c + e_0}.$$

Т. к. $\frac{b - c}{2} = a$, то $r_1 \operatorname{sh}\eta_1 = \frac{b - c}{2}$, и следовательно $(\operatorname{ch}^2\eta_1 - \operatorname{sh}^2\eta_1 = 1)\, r_1 \operatorname{ch}\eta_1 = \frac{b + c}{2}$. Так же можно определить угол ξ в ф-ии угла θ, к-рый делает радиус r_1, идущий к данной точке окружности r_1, с линией центров. Для координаты x этой точки имеем, с одной стороны,

$$x = r_1 \cos\theta + \frac{b + c}{2}$$

и,—с другой,

$$x = \frac{\operatorname{sh}\eta_1}{\operatorname{ch}\eta_1 - \cos\xi} \cdot a,$$

отсюда

$$\cos\xi = \frac{(b + c)\cos\theta + 2r_1}{2r_1 \cos\theta + b + c},$$

и следовательно

$$\sin\xi = \frac{(b - c)\sin\theta}{2r_1 \cos\theta + b + c}.$$

При этом $\theta = 0$, где $\xi = 0$, т. е. в самом широком месте слоя, и $\xi = \pi$ и $\theta = \pi$ в самом узком месте. Т. к. наибольшее значение $\sin\xi$ есть 1, то, продиференцировав выражение $\sin\xi$ по θ, найдем значение θ для $\xi = \frac{\pi}{2}$. Из условия $\frac{d\sin\xi}{d\theta} = 0$ получим $\cos\theta = \frac{-2r_1}{b + c}$, т. е. $\theta > \frac{\pi}{2}$ для $\xi = \frac{\pi}{2}$. Величина эксцентриситета может меняться от 0 до δ или по отношению к радиусу r_0 от 0 до k. В первом случае $b = \infty$ и $c = 0$, во втором случае, как видно из выражения для z, $b = c = r_1$. Соответственно этому будет меняться и разность $\eta_0 - \eta_1$ параметров шипа и подшипника. Имеем

$$\eta_0 = \ln\frac{b - r_0 - e_0}{r_0 - c + e_0} \text{ и } \eta_1 = \ln\frac{b - r_1}{r_1 - c},$$

следовательно

$$\eta_0 - \eta_1 = \ln\frac{(b - r_0 - e_0)(r_1 - c)}{(b - r_1)(r_0 - c + e_0)};$$

положив здесь $c = e_0 = 0$ и $b = \infty$ (так что $b - r_0 = b - r_1$), получим $(\eta_0 - \eta_1)e_0 = 0 = \ln\frac{r_1}{r_0} = \ln(1 + k)$; во втором случае получим $\eta_0 - \eta_1 = \ln 1 = 0$. Т. о. разность параметров η для шипа и подшипника меняется в пределах от 0 до $\ln(1 + k)$.

В современных установках величина k очень невелика, во второй части настоящей статьи будут подробно указаны допускаемые величины k. Вообще можно принять $k \leqslant 0{,}005$, и только в исключительных случаях k бывает больше этой величины. Тогда величина $\eta_0 - \eta_1 = \sigma$ всегда будет малой и всегда с достаточной степенью точности можно положить $\operatorname{sh}\sigma = \sigma$ и $\operatorname{ch}\sigma = 1$. Пользуясь тою же малостью k, мы можем и эксцентриситету дать приближенное выражение. Имеем ур-ие

$$b + c = \frac{r_1^2 - r_0^2 + e_0^2}{e_0},$$

отсюда

$$e_0^2 - e_0(b + c) + r_1^2 - r_0^2 = 0,$$

но

$$r_1^2 - r_0^2 = r_0^2(1 + k)^2 - r_0^2 = 2r_0^2 k,$$

если мы пренебрежем второю степенью k.

Таким образом имеем:

$$e_0 = \frac{b+c}{2} - \sqrt{\frac{(b+c)^2}{4} - 2r_0^2 k} =$$

$$= \frac{b+c}{2} - \frac{b+c}{2}\left[1 - \frac{8r_0^2 k}{(b+c)^2}\right]^{1/2} =$$

$$= \frac{2r_0^2 k}{b+c} = \frac{2r_1^2 k}{(b+c)(1+2k)},$$

и так как $\frac{b+c}{2r_1} = \operatorname{ch}\eta_1$, то

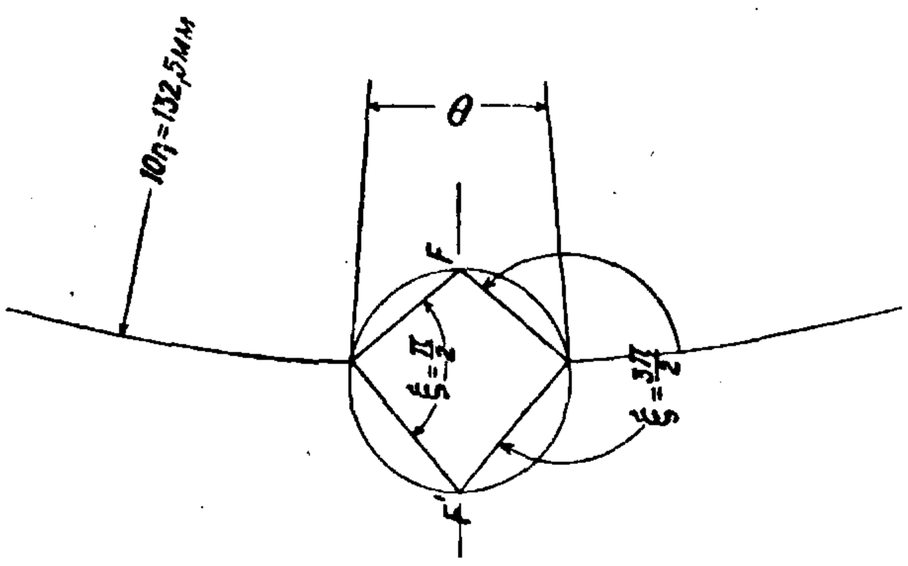
$$e_0 = \frac{r_1 k}{(1+2k)\operatorname{ch}\eta_1},$$

Величину $\operatorname{ch}\eta_1$ обозначим через x_1, так что

$$e_0 = \frac{r_1 k}{x_1(1+2k)};$$

при этом $x_1 > 1$ всегда, и можно пренебречь величиной $2k$ по сравнению с 1, т. ч. $e_0 = \frac{r_1 k}{x_1}$.

Вследствие малости k и эксцентриситет в современных установках вообще незначителен, но в нек-рых искусственных опытах разность $r_1 - r_0$ преднамеренно делается большой и эксцентриситет становится сравнительно большим. Последствия этого теория сейчас же может указать. При сравнительно большом e_0 x_1 становится близким к 1 ($x_1 \cong 1$ при e_0, мало отличающемся от k), но т. к. $\frac{b+c}{2}$ есть расстояние начала координат от центра подшипника, то это начало будет в таком случае близким к окружности подшипника. Соответственно $a = r_1 \operatorname{sh}\eta_1 = r_1\sqrt{x_1^2 - 1}$ будет величиной малой, и оба полюса координат Неймана лягут вблизи окружности подшипника один вне ее, другой внутри. Тогда, если мы проследим изменение угла ξ, начиная от точки, где $\xi = 0$ (maximum толщины слоя смазки), то увидим, что ξ будет весьма медленно изменяться на сравнительно очень большой части окружности подшипника и только при самом подходе к наиболее узкому месту слоя (где $\xi = \pi$) ξ будет быстро возрастать на очень небольшой части окружности. Т. о. главное изменение величины ξ будет происходить на малой дуге по обе стороны линии центров,

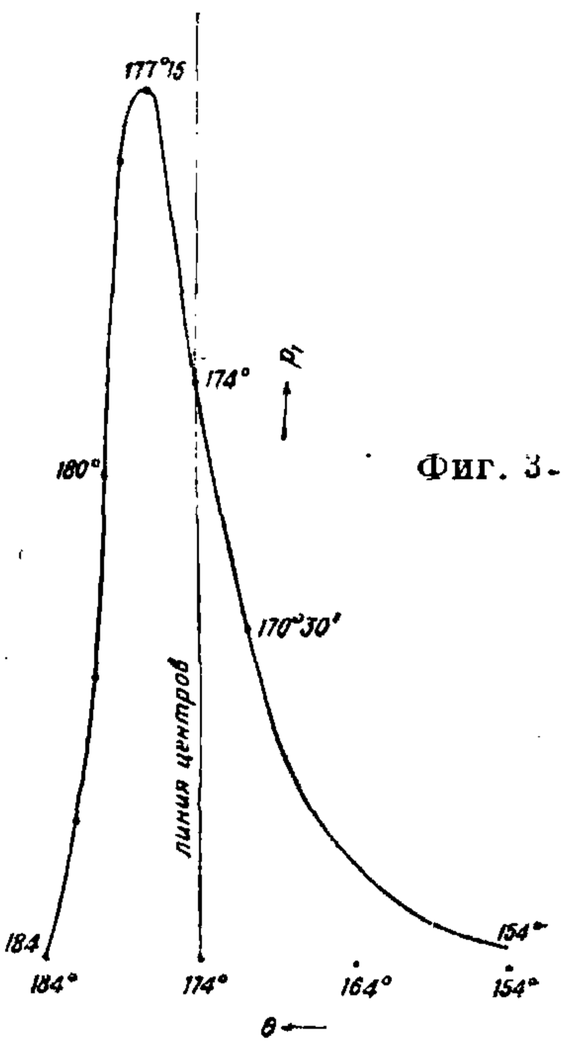


Фиг. 2.

на всей же остальной части окружности подшипника изменение ξ будет незначительным. Но мы видели, что давление на подшипник м. б. представлено ф-лой

$$p_1 = B_1\sin\xi + B_2\cos\xi + B_3\sin 2\xi + B_4\cos 2\xi + B_5,$$

где $B_1, B_2, \ldots$—постоянные, и следовательно давление будет мало меняться там, где мало меняется ξ, и наоборот,—очень быстро там, где сильно меняется ξ. Т. о. в рассматриваемом случае сравнительно большого эксцентриситета незначительная часть окружности подшипника будет участвовать в восприятии главного изменения давления, остальная же часть будет как бы нерабочей. Опасность такого распределения давления очевидна: смазочный слой в тонком месте м. б. вытеснен и начинается опасное сухое или полусухое трение, могущее повести к повышению температуры и горению масла. Подобное изменение угла ξ представлено (фиг. 2) в десятикратном увеличении и взято из опытов Стентона (Stanton), где в восприятии давления участвовал лишь слой небольшого протяжения (30 и 15°) и эксцентриситет был сравнительно велик (фиг. 3).



Фиг. 3.

С точки зрения гидродинамич. теории смазки можно заранее сказать, что подобные опыты не имеют практич. значения. Более подробно с теоретич. стороны об этом будет сказано далее. Теперь же для детального выяснения величин $B_1, B_2, \ldots$ необходимо обратиться к т. н. ф-ии тока. Если скорости какой-нибудь точки жидкости по осям X и Y будут u и v, то ф-ия тока W определяется условиями $u = \frac{\partial W}{\partial y}$, $v = -\frac{\partial W}{\partial x}$.

На линии тока $W = \text{Const}$, и разность значений W для двух линий тока определяет количество жидкости, протекающее в единицу времени между двумя линиями тока. Действительно возьмем в жидкости какой-нибудь элемент ds (в положительную сторону координат) и обозначим через α и β косинусы углов, к-рые нормаль к этому элементу делает с осями координат. Тогда количество жидкости, протекающее в единицу времени через элемент ds, выразится через $d\psi = (\alpha u + \beta v)\,ds$; но $\alpha\,ds = dy$ и $-\beta\,ds = dx$ и следовательно

$$\frac{\partial\psi}{\partial y} = u = \frac{\partial W}{\partial y} \quad \text{и} \quad \frac{\partial\psi}{\partial x} = -v = \frac{\partial W}{\partial x}.$$

Соотношение для $d\psi$ показывает, что там, где ψ (или W) = Const, через эту линию никакой жидкости не протекает, т. е. это—линия тока, и с другой стороны,

$$\psi_2 - \psi_1 = \int_1^2 (\alpha u + \beta v)\,ds = W_2 - W_1$$

представляет количество жидкости, протекающее в единицу времени между двумя линиями тока. Т. к.

$$2\omega = \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x},$$

то

$$2\omega = \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} = \Delta W.$$

Переходим к координатам ξ, η. Имеем:

$$\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 W}{\partial\xi^2}\left(\frac{\partial\xi}{\partial x}\right)^2 + \frac{\partial^2 W}{\partial\eta^2}\left(\frac{\partial\eta}{\partial x}\right)^2 + 2\frac{\partial^2 W}{\partial\xi\partial\eta}\frac{\partial\xi}{\partial x} + \frac{\partial W}{\partial\xi}\frac{\partial^2\xi}{\partial x^2} + \frac{\partial W}{\partial\eta}\frac{\partial^2\eta}{\partial x^2};$$

$$\frac{\partial^2 W}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 W}{\partial\xi^2}\left(\frac{\partial\xi}{\partial y}\right)^2 + \frac{\partial^2 W}{\partial\eta^2}\left(\frac{\partial\eta}{\partial y}\right)^2 + 2\frac{\partial^2 W}{\partial\xi\partial\eta}\frac{\partial\xi}{\partial y}\frac{\partial\eta}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial\xi}\frac{\partial^2\xi}{\partial y^2} + \frac{\partial W}{\partial\eta}\frac{\partial^2\eta}{\partial y^2}.$$

Но

$$d\xi = \frac{\partial\xi}{\partial x}\,dx + \frac{\partial\xi}{\partial y}\,dy; \quad d\eta = \frac{\partial\eta}{\partial x}\,dx + \frac{\partial\eta}{\partial y}\,dy$$

и с другой стороны,

$$dx=\frac{\partial x}{\partial\xi}\,d\xi+\frac{\partial x}{\partial\eta}\,d\eta;\quad dy=\frac{\partial y}{\partial\xi}\,d\xi+\frac{\partial y}{\partial\eta}\,d\eta.$$

Отсюда имеем:

$$\frac{\partial\xi}{\partial x}\frac{\partial x}{\partial\xi}+\frac{\partial\xi}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial\xi}=1,\quad \frac{\partial\xi}{\partial x}\frac{\partial x}{\partial\eta}+\frac{\partial\xi}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial\eta}=0$$

и следовательно

$$\frac{\partial\xi}{\partial x}=\frac{\dfrac{\partial y}{\partial\eta}}{\dfrac{\partial x}{\partial\xi}\dfrac{\partial y}{\partial\eta}-\dfrac{\partial x}{\partial\eta}\dfrac{\partial y}{\partial\xi}}=\frac{\partial y}{\partial\eta}\cdot\frac{1}{D}.$$

Принимая во внимание выражения x и y через ξ и η, имеем:

$$D=\frac{a^2}{(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)^2},\quad \frac{\partial y}{\partial\eta}=a\,\frac{-\operatorname{sh}\eta\sin\xi}{(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)^2};$$

таким образом

$$\frac{\partial\xi}{\partial x}=\frac{-\operatorname{sh}\eta\sin\xi}{a};$$

точно так же

$$\frac{\partial\xi}{\partial y}=-\frac{\partial x}{\partial\eta}\cdot\frac{1}{D}=\frac{\operatorname{ch}\eta\cos\xi-1}{a};$$

$$\frac{\partial\eta}{\partial x}=-\frac{\partial y}{\partial\xi}\cdot\frac{1}{D}=\frac{1-\operatorname{ch}\eta\cos\xi}{a}\ \text{и}\ \frac{\partial\eta}{\partial y}=-\frac{\operatorname{sh}\eta\sin\xi}{a}.$$

Отсюда убеждаемся, что

$$\left(\frac{\partial\xi}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial\xi}{\partial y}\right)^2=\left(\frac{\partial\eta}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial\eta}{\partial y}\right)^2=(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)^2;$$

$$\frac{\partial\xi}{\partial x}\frac{\partial\eta}{\partial x}+\frac{\partial\xi}{\partial y}\frac{\partial\eta}{\partial y}=0\ \text{и}\ \frac{\partial^2\xi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\xi}{\partial y^2}=\frac{\partial^2\eta}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\eta}{\partial y^2}=0.$$

Следовательно

$$\frac{\partial^2W}{\partial x^2}+\frac{\partial^2W}{\partial y^2}=2\omega=\frac{(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)^2}{a^2}\left(\frac{\partial^2W}{\partial\xi^2}+\frac{\partial^2W}{\partial\eta^2}\right)$$

или

$$\frac{\partial^2W}{\partial\xi^2}+\frac{\partial^2W}{\partial\eta^2}=\frac{2\omega a^2}{(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)^2},$$

т. е. ф-ия W должна удовлетворять условию $\nabla[(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)^2\nabla W]=0$, т. к. $\nabla 2\omega=0$. Но согласно этому последнему соотношению 2ω является суммой произведений гиперболич. ф-ий на тригонометрические, и следовательно W вообще д. б. суммой таких выражений f, к-рые после составления суммы вторых производных от каждой и помножения на $(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)^2$ дают каждая какую-нибудь сумму произведений гиперболич. ф-ий на тригонометрические. Т. к. 2ω заключает по принятому выше 4 тригонометрич. ф-ии $\cos\xi$, $\sin\xi$, $\cos 2\xi$, $\sin 2\xi$, то ∇f будет состоять из членов вида $\frac{\operatorname{ch}\eta\cos\xi}{(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)^2}$ и т.п. Возьмем поэтому выражение $\frac{1}{\operatorname{ch}\eta-\cos\xi}$; после операции ∇ оно обратится в $\frac{\operatorname{ch}\eta+\cos\xi}{(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)^2}$, а по правилам диференциации имеем:

$$\nabla f_1f_2=f_1\nabla f_2+f_2\nabla f_1+2\left(\frac{\partial f_1}{\partial\xi}\frac{\partial f_2}{\partial\xi}+\frac{\partial f_1}{\partial\eta}\frac{\partial f_2}{\partial\eta}\right)$$

и, взяв $f_1=\frac{1}{\operatorname{ch}\eta-\cos\xi}$, получим при каком-нибудь f_2

$$\nabla f_1f_2=\frac{1}{(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)^2}\Big[(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)\nabla f_2+$$
$$+f_2(\operatorname{ch}\eta+\cos\xi)-2\left(\sin\xi\frac{\partial f_2}{\partial\xi}+\operatorname{sh}\eta\frac{\partial f_2}{\partial\eta}\right)\Big].$$

Отсюда, напр. при $f_2=\sin\xi$, получаем

$$\nabla\frac{\sin\xi}{\operatorname{ch}\eta-\cos\xi}=0.$$

Пользуясь этим и принимая $f_1=\frac{\sin\xi}{\operatorname{ch}\eta-\cos\xi}$, а $f_2=\eta-\eta_1$, получим:

$$\nabla\left[\frac{(\eta-\eta_1)\sin\xi}{\operatorname{ch}\eta-\cos\xi}\right]=-\frac{2\sin\xi\operatorname{sh}\eta}{(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)^2};$$

точно так же убеждаемся, что

$$\nabla\left(\frac{\operatorname{sh}\eta}{\operatorname{ch}\eta-\cos\xi}\right)=\frac{1}{(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)^2}\Big[(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)\operatorname{sh}\eta+$$
$$+\operatorname{sh}\eta(\operatorname{ch}\eta+\cos\xi)-2\operatorname{sh}\eta\operatorname{ch}\eta\Big]=0;$$

и далее

$$\nabla\left[\frac{(\eta-\eta_1)\operatorname{sh}\eta}{\operatorname{ch}\eta-\cos\xi}\right]=\frac{2[\operatorname{ch}\eta(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)-\operatorname{sh}^2\eta]}{(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)^2}=$$
$$=\frac{2-2\operatorname{ch}\eta\cos\xi}{(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)^2};$$
$$\nabla\left(\frac{\sin\xi\operatorname{sh}2\eta}{\operatorname{ch}\eta-\cos\xi}\right)=\frac{4\operatorname{sh}2\eta\sin\xi}{\operatorname{ch}\eta-\cos\xi}-$$
$$-\frac{4\operatorname{ch}2\eta\operatorname{sh}\eta\sin\xi}{(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)^2}=\frac{4\operatorname{sh}\eta\sin\xi-2\sin2\xi\operatorname{sh}2\eta}{(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)^2}$$

или

$$\nabla\left(\frac{\sin\xi\operatorname{ch}2\eta}{\operatorname{ch}\eta-\cos\xi}\right)=\frac{4\sin\xi\operatorname{ch}\eta-2\operatorname{ch}2\eta\sin2\xi}{(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)^2}.$$

Так же далее

$$\nabla\left(\frac{\cos\xi}{\operatorname{ch}\eta-\cos\xi}\right)=\frac{1}{(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)^2}\Big[-(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)\cos\xi+$$
$$+\cos\xi(\operatorname{ch}\eta+\cos\xi)+2\sin^2\xi\Big]=\frac{2}{(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)^2}.$$

Следовательно

$$\nabla\left(\frac{\cos\xi\operatorname{sh}2\eta}{\operatorname{ch}\eta-\cos\xi}\right)=\frac{2\operatorname{sh}2\eta}{(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)^2}+\frac{4\operatorname{sh}2\eta\cos\xi}{\operatorname{ch}\eta-\cos\xi}-$$
$$-\frac{4\cos\xi\operatorname{sh}\eta\operatorname{ch}2\eta}{(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)^2}=\frac{4\cos\xi\operatorname{sh}\eta-2\operatorname{sh}2\eta\cos2\xi}{(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)^2}.$$

Т. о., выходя из выражения $\frac{1}{\operatorname{ch}\eta-\cos\xi}$, мы получили целый ряд выражений, могущих по сказанному войти в выражение ф-ии тока. Но W подлежит определенным условиям на границах слоя. Можно принять по самому определению $W=0$ на окружности подшипника, т. е. при $\eta=\eta_1$. Первые два выражения удовлетворяют этому, остальные нет. Поэтому мы возьмем в 3-м и 5-м выражениях вместо $\operatorname{sh}2\eta$ множителем $\operatorname{sh}(\tau-2\eta)-\operatorname{sh}\sigma$, где $\tau=\eta_0+\eta_1$, а $\sigma=\eta_0-\eta_1$; этот множитель равен 0 при $\eta=\eta_1$. Тогда получим

$$\nabla\left\{\frac{\sin\xi[\operatorname{sh}(\tau-2\eta)-\sin\sigma]}{\operatorname{ch}\eta-\cos\xi}\right\}=$$
$$=\frac{4\operatorname{sh}(\tau-\eta)\sin\xi-2\operatorname{sh}(\tau-2\eta)\sin2\xi}{(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)^2}$$

и

$$\nabla\left\{\frac{\cos\xi[\operatorname{sh}(\tau-2\eta)-\operatorname{sh}\sigma]}{\operatorname{ch}\eta-\cos\xi}\right\}=$$
$$=\frac{4\operatorname{sh}(\tau-\eta)\cos\xi-2\operatorname{sh}(\tau-2\eta)\cos2\xi-2\operatorname{sh}\sigma}{(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)^2}.$$

Затем можно взять

$$\nabla\left[\frac{\sin(\eta-\eta_1)}{\operatorname{ch}\eta-\cos\xi}\right]=\frac{-2\operatorname{sh}\eta}{(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)^2},$$

как в этом легко убедиться по ф-ле для ∇f_1f_2. В слое на границе с шипом W д. б. постоянным, далее скорость слоя у подшипника равна 0, а у шипа равна U, т. е. окружной скорости шипа. Скорость слоя в направлении окружности подшипника можно выразить через W сл. обр. Имеем $\frac{\partial W}{\partial y}=u$, $\frac{\partial W}{\partial x}=-v$, возьмем на окружности подшипника какую-нибудь точку и через нее проведем две оси координат, из к-рых одна x' будет радиусом, а другая y' касательной. Т. к. $\xi=\text{Const}$—ур-ие какой-нибудь окружности, вмещающей угол ξ на данном отрезке $2a$, то проведем через выбранную точку эту окружность, она пересечет окружность подшипника ($\eta=\text{Const}$), как уже было сказано, под прямым углом, и ось x' будет к ней касательной, а y' ее радиусом. Предположим, что мы выразили ф-ию тока в этих координатах, тогда

$$\frac{\partial W}{\partial y'}=u',\quad \frac{\partial W}{\partial x'}=-v'.$$

Следовательно на окружности подшипника $\frac{\partial W}{\partial x'}=0$, но $\frac{\partial W}{\partial x'}=\frac{\partial W}{\partial \xi}\frac{\partial \xi}{\partial x'}+\frac{\partial W}{\partial \eta}\frac{\partial \eta}{\partial x'}$, и так как ось X' имеет с окружностью $\xi=\text{Const}$ две общие бесконечно близкие точки, то $\frac{\partial \xi}{\partial x'}=0$ и $\frac{\partial W}{\partial x'}=\frac{\partial W}{\partial \eta}\frac{\partial \eta}{\partial x'}$, но, с другой стороны, $\frac{\partial \eta}{\partial x'}=\frac{\partial \eta}{\partial x}\frac{\partial x}{\partial x'}+\frac{\partial \eta}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial x'}$ и не трудно видеть, что $\frac{\partial x}{\partial x'}=-\cos\theta$, а $\frac{\partial y}{\partial x'}=-\sin\theta$, где θ—угол оси X' с осью X (линией центров). Выражаем $\cos\xi$ через θ:

$$\cos\theta=\frac{\frac{b+c}{2}\cos\xi-r}{\frac{b+c}{2}-r\cos\xi},$$

раньше же было найдено: $\frac{b+c}{2}=r\operatorname{ch}\eta$, поэтому $\cos\theta=\frac{\operatorname{ch}\eta\cos\xi-1}{\operatorname{ch}\eta-\cos\xi}$. Подобным же образом найдем $\sin\theta=-\frac{\operatorname{sh}\eta\sin\xi}{\operatorname{ch}\eta-\cos\xi}$ из выражения для $y=r\sin\theta$ через ξ и η. Теперь получим, приняв во внимание выражения для $\frac{\partial\eta}{\partial x}$ и $\frac{\partial\eta}{\partial y}$,

$$\frac{\partial\eta}{\partial x'}=\frac{(1-\operatorname{ch}\eta\cos\xi)^2+\operatorname{sh}^2\eta\sin^2\xi}{a(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)}=\frac{\operatorname{ch}\eta-\cos\xi}{a}=H.$$

Таким образом условие для слоя при подшипнике напишется

$$\left(H\frac{\partial W}{\partial\eta}\right)_{\eta=\eta_1}=0.$$

Совершенно таким же путем найдем для слоя при поверхности шипа

$$\left(H\frac{\partial W}{\partial\eta}\right)_{\eta=\eta_0}=-U,$$

где U—окружная скорость шипа. Следовательно W должно удовлетворять четырем граничным условиям:

$$W_{\eta=\eta_1}=0;\ -W_{\eta=\eta_0}=\text{Const}=Q,$$

где Q—количество протекающей жидкости в единицу времени в сторону вращения шипа,

$$\left(H\frac{\partial W}{\partial\eta}\right)_{\eta=\eta_1}=0 \text{ и } \left(H\frac{\partial W}{\partial\eta}\right)_{\eta=\eta_0}=-U.$$

Возьмем для W следующее выражение:

$$W=\sin\xi\frac{\{A_1(\eta-\eta_1)+A_2[\operatorname{sh}(\tau-2\eta)-\operatorname{sh}\sigma]\}}{\operatorname{ch}\eta-\cos\xi}+$$
$$+A_3(\eta-\eta_1)+\frac{A_4\operatorname{sh}(\eta-\eta_1)+A_5(\eta-\eta_1)\operatorname{sh}\eta}{\operatorname{ch}\eta-\cos\xi}+$$
$$+\frac{A_6\cos\xi[\operatorname{sh}(\tau-2\eta)-\operatorname{sh}\tau]}{\operatorname{ch}\eta-\cos\xi}.$$

Выражение это обратится в значение для W, принятое Н. Е. Жуковским и С. А. Чаплыгиным, если положить $A_1=A_2=0$. Его можно написать также:

$$W=\frac{N_1\sin\xi+N_2}{\operatorname{ch}\eta-\cos\xi}+N_3,$$

где N_1—множитель при $\sin\xi$, а

$$N_2=A_4\operatorname{sh}(\eta-\eta_1)+A_5(\eta-\eta_1)\operatorname{sh}\eta+$$
$$+A_6[\operatorname{sh}(\tau-2\eta)-\operatorname{sh}\sigma]\operatorname{ch}\eta$$

и

$$N_3=A_3(\eta-\eta_1)-A_6[\operatorname{sh}(\tau-2\eta)-\operatorname{sh}\sigma].$$

Первое граничное условие выполняется само по себе, второе требует, чтобы $N_1=0$, $N_2=0$ и $N_3=A_3\sigma+2A_6\operatorname{sh}\sigma=-Q$, т. е.

$$A_1\sigma-2A_2\operatorname{sh}\sigma=0, \quad (1)$$
$$A_4\operatorname{sh}\sigma+A_3\sigma\operatorname{sh}\eta_0+2A_6\operatorname{sh}\sigma\operatorname{ch}\eta_0=0, \quad (2)$$
$$A_3\sigma+2A_6\operatorname{sh}\sigma=-Q; \quad (3)$$

далее третье дает

$$\left(H\frac{\partial W}{\partial\eta}\right)_{\eta_1}=0,$$

т. е.

$$A_1-2A_2\operatorname{ch}\sigma=0, \quad (4)$$
$$A_4+A_5\operatorname{sh}\eta_1-2A_6\operatorname{ch}\sigma\operatorname{ch}\eta_1=0, \quad (5)$$
$$A_3+2A_6\operatorname{ch}\sigma=0; \quad (6)$$

четвертое

$$\left(H\frac{\partial W}{\partial\eta}\right)_{\eta_0}=-U,$$
$$A_1-2A_2\operatorname{ch}\sigma=0, \quad (7)$$

это ур-ие тождественно с (4); далее видим, что

$$\left(\frac{\partial N_3}{\partial\eta}\right)_{\eta_1}=\left(\frac{\partial N_3}{\partial\eta}\right)_{\eta_0}$$

и нового ничего не дает, следовательно остается соотношение

$$\left[(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)\frac{\partial}{\partial\eta}\frac{N_2}{\operatorname{ch}\eta-\cos\xi}\right]_{\eta_0}=-Ua=$$
$$=\left[\frac{\frac{\partial N_2}{\partial\eta}(\operatorname{ch}\eta-\cos\xi)-N_2\operatorname{sh}\eta}{\operatorname{ch}\eta-\cos\xi}\right]_{\eta_0}=\left(\frac{\partial N_2}{\partial\eta}\right)_{\eta_0},$$

т. е.

$$-Ua=A_4\operatorname{ch}\sigma+A_5(\operatorname{sh}\eta_0+\sigma\operatorname{ch}\eta_0)-$$
$$-2A_6(\operatorname{ch}\eta_0\operatorname{ch}\sigma+\operatorname{sh}\sigma\operatorname{sh}\eta_0)= \quad (8)$$
$$=A_4\operatorname{ch}\sigma+A_5(\operatorname{sh}\eta_0+\sigma\operatorname{ch}\eta_0)-2A_6\operatorname{ch}(\eta_0+\sigma).$$

Ур-ия (1) и (4) совместимы лишь при малых значениях σ, когда можно считать $\sigma\cong\operatorname{sh}\sigma$ и $\operatorname{ch}\sigma\cong1$. Мы видели, что в современных установках величина σ всегда мала, поэтому с этим приближением мы и пойдем дальше. Ур-ия (1) и (4) дают $A_1=2A_2$. Далее вообще про граничные условия нужно сказать, что существенно необходимыми являются первые два, т. к. W д. б. постоянным на линиях тока. Вторые два условия—уже гипотезы, предполагающие, что смазочный слой на границах и у подшипника и у шипа имеет относительные скорости, равные нулю. Фактически эти условия могут и не выполняться. По ф-ии W мы найдем 2ω, пользуясь данными соотношениями:

$$2\omega a^2=\sin\xi[-2A_1\operatorname{sh}\eta+4A_2\operatorname{sh}(\tau-\eta)]+$$
$$+\cos\xi[-2A_5\operatorname{ch}\eta+4A_6\operatorname{sh}(\tau-\eta)]+$$
$$+\sin2\xi[-2A_2\operatorname{sh}(\tau-2\eta)]+$$
$$+\cos2\xi[-2A_6\operatorname{sh}(\tau-2\eta)]+$$
$$+2A_5-2A_6\operatorname{sh}\sigma-2A_4\operatorname{sh}\eta_1;$$

соответственно получим:

$$\frac{pa^2}{\mu}=\sin\xi[-2A_5\operatorname{sh}\eta-4A_6\operatorname{ch}(\tau-\eta)]+$$
$$+\cos\xi[2A_1\operatorname{ch}\eta+4A_2\operatorname{ch}(\tau-\eta)]+$$
$$+\sin2\xi[2A_6\operatorname{ch}(\tau-2\eta)]+$$
$$+\cos2\xi[-2A_2\operatorname{ch}(\tau-2\eta)]+\text{Const}.$$

Положив здесь $\eta=\eta_1$, найдем распределение давления по подшипнику согласно принятым граничным условиям. Определим коэф-ты A_4, A_5, A_6 из соотношений (2), (5), (8). Из (5) определяем A_4 через A_5 и A_6 и затем вставляем во (2) величину A_4, получим ур-ие

$$2A_6\operatorname{sh}\sigma(\operatorname{ch}\sigma\operatorname{ch}\eta_1-\operatorname{ch}\eta_0)=$$
$$=A_5(\operatorname{sh}\sigma\operatorname{sh}\eta_1-\sigma\operatorname{sh}\eta_0).$$

Но

$$\operatorname{ch}\eta_0=\operatorname{ch}(\eta_1+\sigma)=\operatorname{ch}\eta_1\operatorname{ch}\sigma+\operatorname{sh}\eta_1\operatorname{sh}\sigma;$$

далее

$$\operatorname{sh}\eta_0=(1+k)\operatorname{sh}\eta_1$$

и поэтому

$$2A_6=A_5\frac{\sigma(1+k)-\operatorname{sh}\sigma}{\operatorname{sh}^2\sigma}.$$

Теперь получим

$$A_4 = 2A_6 \operatorname{ch}\sigma \operatorname{ch}\eta_1 - A_5 \operatorname{sh}\eta_1 = A_5 \frac{\operatorname{ch}\sigma \operatorname{ch}\eta_1 [\sigma(1+k) - \operatorname{sh}\sigma] - \operatorname{sh}^2\sigma \operatorname{sh}\eta_1}{\operatorname{sh}^2\sigma},$$

т. е.

$$A_4 = \frac{-\operatorname{sh}\sigma \operatorname{ch}\eta_0 + \sigma(1+k)\operatorname{ch}\sigma \operatorname{ch}\eta_1}{\operatorname{sh}^2\sigma} A_5.$$

Подставляя теперь найденные величины в ур-ие (8), получим:

$$A_5 \left\{ \frac{-\operatorname{sh}\sigma \operatorname{ch}\sigma \operatorname{ch}\eta_0 + \sigma(1+k)[\operatorname{ch}^2\sigma \operatorname{ch}\eta_1 - \operatorname{ch}(\eta_0+\sigma)]}{\operatorname{sh}^2\sigma} + \right.$$
$$\left. + \frac{\operatorname{sh}\delta \operatorname{ch}(\eta_0+\sigma) + \operatorname{sh}^2\sigma \operatorname{sh}\eta_0 + \sigma \operatorname{sh}^2\sigma \operatorname{ch}\eta_0}{\operatorname{h}^2\sigma} \right\} = -Ua.$$

Но

$$\sigma(1+k)[\operatorname{ch}^2\sigma \operatorname{ch}\eta_1 - \operatorname{ch}\eta_0 \operatorname{ch}\sigma - \operatorname{sh}\eta_0 \operatorname{sh}\sigma] =$$
$$= \sigma(1+k)[-\operatorname{ch}\sigma \operatorname{sh}\sigma \operatorname{sh}\eta_1 - (1+k)\operatorname{sh}\eta_1 \operatorname{sh}\sigma] =$$
$$= -\sigma(1+k)\operatorname{sh}\sigma \operatorname{sh}\eta_1 (\operatorname{ch}\sigma + 1 + k);$$

далее

$$-\operatorname{sh}\sigma \operatorname{ch}\sigma \operatorname{ch}\eta_0 + \operatorname{sh}\sigma \operatorname{ch}(\eta_0+\sigma) + \operatorname{sh}^2\sigma \operatorname{sh}\eta_0 =$$
$$= 2\operatorname{sh}^2\sigma \operatorname{sh}\eta_0 = 2(1+k)\operatorname{sh}^2\sigma \operatorname{sh}\eta_1.$$

Таким образом

$$A_5 \left\{ \sigma(1+k)^2 \operatorname{sh}\eta_1 + \sigma[(1+k)\operatorname{sh}\eta_1 \operatorname{ch}\sigma - \right.$$
$$\left. - \operatorname{ch}\eta_0 \operatorname{sh}\sigma] - 2(1+k)\operatorname{sh}\sigma \operatorname{sh}\eta_1 \right\} = Ua \operatorname{sh}\sigma$$

и так как

$$(1+k)\operatorname{sh}\eta_1 \operatorname{ch}\sigma - \operatorname{ch}\eta_0 \operatorname{sh}\sigma = \operatorname{sh}\eta_1 \text{ и } \frac{a}{\operatorname{sh}\eta_1} = r_1,$$

то окончательно

$$A_5 = \frac{Ur_1 \operatorname{sh}\sigma}{\sigma + \sigma(1+k)^2 - 2(1+k)\operatorname{sh}\sigma},$$

затем

$$2A_6 = \frac{Ur_1[\sigma(1+k) - \operatorname{sh}\sigma]}{\operatorname{sh}\sigma[\sigma + \sigma(1+k^2) - 2(1+k)\operatorname{sh}\sigma]}.$$

При малой σ получим:

$$A_5 = \frac{Ur_1}{k^2} \text{ и } 2A_6 = \frac{Ur_1}{k\sigma} = \frac{Ur_1}{k \operatorname{sh}\sigma} = \frac{Ur_1 r_0}{ke_0 \operatorname{sh}\eta_1}.$$

Теперь мы можем выразить распределение давления по подшипнику:

$$\frac{p_1 a^2}{\mu} = -\frac{2Ur_1}{k}\left(\frac{\operatorname{sh}\eta_1}{k} + \frac{r_0 \operatorname{ch}\eta_0}{e_0 \operatorname{sh}\eta_1}\right)\sin\xi +$$
$$+ 2A_1(\operatorname{ch}\eta_1 + \operatorname{ch}\eta_0)\cos\xi +$$
$$+ \frac{Ur_0 r_1}{ke_0 \operatorname{sh}\eta_1}\sin 2\xi - A_1 \operatorname{ch}\sigma \cos 2\xi + B.$$

Вследствие малости разности $\eta_0 - \eta_1 = \sigma$ можно приближенно принять $\operatorname{ch}\eta_0 \cong \operatorname{ch}\eta_1$ и далее $e_0 = \frac{r_1 k}{x_1(1+2k)}$, $a^2 = r_1^2 \operatorname{sh}^2\eta_1 = r_1^2(x_1^2 - 1)$, затем пренебречь k сравнительно с 1 и тогда получим:

$$\frac{p_1}{\mu} = -\frac{2U}{r_1 k^2 (x_1^2-1)}\left(\sqrt{x_1^2-1} + \frac{x_1^2}{\sqrt{x_1^2-1}}\right)\sin\xi +$$
$$+ \frac{4A_1 x_1}{r_1^2(x_1^2-1)}\cos\xi + \frac{x_1 U}{r_1 k^2 (x_1^2-1)\sqrt{x_1^2-1}}\sin 2\xi -$$
$$- \frac{A_1}{r_1^2(x_1^2-1)}\cos 2\xi + \frac{B}{r_1^2(x_1^2-1)}.$$

Эта ф-ла, если положить A_1 и $B = 0$, обратится в ф-лу Н. Е. Жуковского и С. А. Чаплыгина. Если выразим ξ через угол θ, то получим

$$\left(\sin\xi = \frac{(b-c)\sin\theta}{2r_1\cos\theta + b + c} \text{ и т. д.}\right),$$

$$\frac{p_1}{\mu} = -\frac{2U}{k^2 r_1 (x_1^2-1)}(2x_1^2 - 1)\frac{\sin\theta}{\cos\theta + x_1} +$$
$$+ \frac{4A_1 x_1}{r_1^2(x_1^2-1)}\left(\frac{x_1\cos\theta + 1}{\cos\theta + x_1}\right) + \frac{2x_1 U \sin\theta (x_1\cos\theta + 1)}{k^2 r_1 (x_1^2-1)(\cos\theta + x_1)^2} -$$
$$- \frac{A_1}{r_1^2(x_1^2-1)}\left(1 - \frac{2(x_1^2-1)\sin^2\theta}{(\cos\theta + x_1)^2}\right) + \frac{B}{r_1^2(x_1^2-1)}.$$

Выведенное для p_1 соотношение предполагает, как и вся теория, непрерывность смазочного слоя. На этом основании, если бы мы при исследовании опытных кривых распределения давления нашли в нек-рых случаях резкое противоречие с выводами из теоретич. ф-л, между тем как в других случаях этого противоречия не было, мы могли бы заключить, что в первых случаях при опытах не было непрерывности смазочного слоя. Представим себе, что имеется диаграмма распределения давления в ф-ии θ, и отметим давления для $\theta = \frac{\pi}{2}$ и $\theta = \frac{3}{2}\pi$, пусть они будут p_{11} и p_{31}, тогда получим по ф-ле:

$$\frac{p_{11}}{\mu} = -\frac{2U}{k^2 r_1 (x_1^2-1)}(2x_1^2 - 1)\cdot\frac{1}{x_1} + \frac{4A_1}{r_1^2(x_1^2-1)} +$$
$$+ \frac{2U}{x_1 k^2 r_1 (x_1^2-1)} + \frac{A_1}{r_1^2(x_1^2-1)}\left(\frac{x_1^2-2}{x_1^2}\right) + \frac{B}{r_1^2(x_1^2-1)},$$
$$\frac{p_{31}}{\mu} = \frac{2U}{k^2 r_1 (x_1^2-1)}(2x_1^2 - 1)\cdot\frac{1}{x_1} + \frac{4A_1}{r_1^2(x_1^2-1)} -$$
$$- \frac{2U}{x_1 k^2 r_1 (x_1^2-1)} + \frac{A_1}{r_1^2(x_1^2-1)}\frac{(x_1^2-2)}{x_1^2} + \frac{B}{r_1^2(x_1^2-1)}.$$

Вычитая первое из второго, получаем:

$$\frac{p_{31} - p_{11}}{\mu}\cdot\frac{k^2 r_1 (x_1^2-1)}{U} = \frac{4(2x_1^2-1)}{x_1} - \frac{4}{x_1} = \frac{8(x_1^2-1)}{x_1};$$

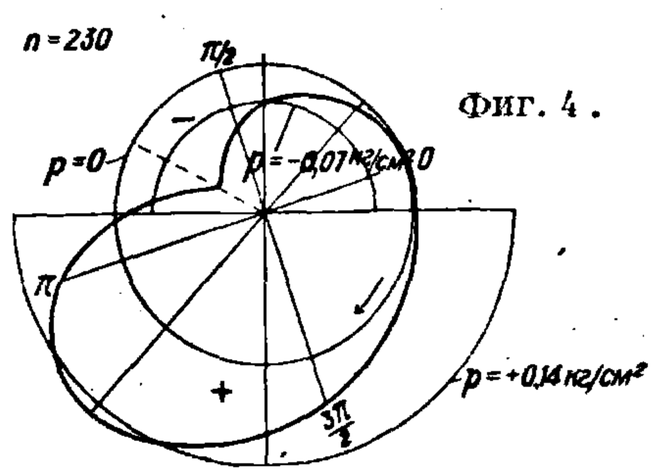
отсюда $\frac{8\mu U}{k^2 r_1 (p_{31} - p_{11})} = x_1$, и т. к. всегда $x_1 > 1$ то д. б.

$$8\mu U > k^2 r_1 (p_{31} - p_{11})$$

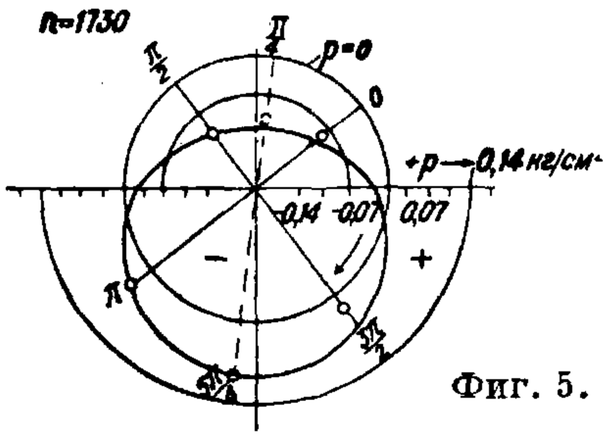
или

$$8\mu\Omega > k^2 (p_{31} - p_{11}),$$

где Ω—угловая скорость вращения шипа. Если это условие не соблюдается, то мы можем предполагать, что в опыте была нарушена непрерывность смазочного слоя, и следовательно имеем основание не принимать во внимание таких опытов. К сожалению линия центров, относительно к-рой идет вся ориентация, далеко не всегда показывается в соответствующих опытах. Но в опытах Кингсбюри (Kingsbury) над подшипником с воздушной смазкой положение линии центров было определено для каждого числа оборотов при соответственном определении распределения давления по подшипнику. Фиг. 4 и 5 показывают распределение давления для двух случаев при одной и той же нагрузке, но с числами об/м. 230 и 1730. Во втором случае кривая распределения давлений имеет правильный овальный вид, тогда как в первом она имеет сильную впадину в месте минимума давлений. Нетрудно видеть, что в этом случае не соблюдается соотношение



Фиг. 4.



Фиг. 5.

$$8\mu\Omega > k^2 (p_{31} - p_{11}),$$

если мы возьмем $k = 1 \cdot 10^{-3}$, $\mu = 1{,}75 \cdot 10^{-6}$ *кгм*$^{-2}$ *ск* и соответствующие давления по диаграмме. Следовательно в этом случае существование

ф-ии тока сомнительно, и опыт м. б. не принят во внимание. Этого можно было ожидать, т. к. воздушная смазка правильно функционирует лишь при больших сравнительно числах оборотов. О второй кривой будет сказано дальше, а теперь перейдем к условиям внешнего равновесия. Определим тангенциальные и нормальные силы, действующие на слой, прилегающий к подшипнику. Если мы в точке на окружности подшипника опять проведем две оси X и Y, радиус и касательную, то нормальная сила выразится (как было указано в общем введении) через

$$n = p_1 - 2\mu \frac{\partial u'}{\partial x'},$$

а тангенциальная

$$t = -\mu \left(\frac{\partial u'}{\partial y'} + \frac{\partial v'}{\partial x'} \right).$$

Но $u' = \frac{\partial W}{\partial y'}$ и $v' = -\frac{\partial W}{\partial x'}$, а по граничному условию

$$u'^2 + v'^2 = 0,$$

т. е. $\frac{\partial W}{\partial x'} = 0$ и $\frac{\partial W}{\partial y'} = 0$, а, предполагая x' на окружности подшипника ф-ией y', имеем:

$$\frac{\partial^2 W}{\partial x' \partial y'} + \frac{\partial^2 W}{\partial x'^2} \frac{dx'}{dy'} = 0$$

и при $\frac{dx'}{dy'} = 0$ (касательная) $\frac{\partial^2 W}{\partial x' \partial y'} = 0$, т. е. $\frac{\partial u'}{\partial x'} = 0$ и $n = p$. Аналогично получим $\frac{\partial^2 W}{\partial y'^2} = \frac{\partial u'}{\partial y'} = 0$, т. е. $t = -\mu \frac{\partial v'}{\partial x'}$, а так как $2\omega = \frac{\partial u'}{\partial y'} - \frac{\partial v'}{\partial x'}$, то $t = 2\mu\omega$.

Т. о. сумма сил реакции со стороны подшипника в проекции на ось Y, т. е. на линию, перпендикулярную к линии центров, найдется в выражении:

$$r_1 \int_0^{2\pi} (-p_1 \sin\theta - 2\mu\omega_1 \cos\theta)\, d\theta.$$

При вычислении этой суммы встретятся интегралы $\int_0^{2\pi} \sin\xi \sin\theta\, d\theta$, $\int_0^{2\pi} \sin\xi \cos\theta\, d\theta$ и т. д. Легко видеть, что

$$\int_0^{2\pi} \sin\xi \cos\theta\, d\theta = 0.$$

В самом деле переменная часть в подинтегральной величине сводится к $\frac{\sin\theta}{\cos\theta + x_1} \cos\theta\, d\theta$. Но если мы представим окружность разделенной линией центров и осью Y на четыре квадранта, то каждый подобный член в первом квадранте имеет себе равный, но противоположный по знаку в четвертом квадранте, то же самое имеет место и в других двух квадрантах, и следовательно сумма их, т. е. интеграл, равна 0. Подобным образом убеждаемся, что и

$$\int_0^{2\pi} \cos\xi \sin\theta\, d\theta = 0, \quad \int_0^{2\pi} \sin 2\xi \cos\theta\, d\theta = 0,$$

$$\int_0^{2\pi} \cos 2\xi \sin\theta\, d\theta = 0,$$

и остаются следовательно интегралы

$$\int_0^{2\pi} \sin\xi \sin\theta\, d\theta, \quad \int_0^{2\pi} \sin 2\xi \sin\theta\, d\theta,$$

$$\int_0^{2\pi} \cos\xi \cos\theta\, d\theta, \quad \int_0^{2\pi} \cos 2\xi \cos\theta\, d\theta.$$

Для первого интеграла имеем, положив $\cos\theta = z$

$$\int_0^{\pi} \frac{\sin^2\theta\, d\theta}{\cos\theta + x_1} = \int_{-1}^{+1} \frac{(1-z^2)\, dz}{(z+x_1)\sqrt{1-z^2}} =$$

$$= \int_{-1}^{+1} \frac{(1-x_1^2)\, dz}{(z+x_1)\sqrt{1-z^2}} - \int_{-1}^{+1} \frac{z\, dz}{\sqrt{1-z^2}} + \int_{-1}^{+1} \frac{x_1\, dz}{\sqrt{1-z^2}} =$$

$$= -\Big|_{-1}^{+1} \frac{2(1-x_1^2)}{\sqrt{x_1^2-1}} \operatorname{arc\,tg} \sqrt{\frac{(x_1-1)(1-z)}{(x_1+1)(1+z)}} -$$

$$- \Big|_{-1}^{+1} \sqrt{1-z^2} + x_1 \Big|_{-1}^{+1} \operatorname{arc\,sin} z = -(2\sqrt{x_1^2-1})\frac{\pi}{2} +$$

$$+ x_1\pi = \pi(x_1 - \sqrt{x_1^2-1})$$

и таким образом

$$\int_0^{2\pi} \frac{\sin^2\theta\, d\theta}{\cos\theta + x_1} = 2\pi(x_1 - \sqrt{x_1^2-1}),$$

а

$$\int_0^{2\pi} \sin\xi \sin\theta\, d\theta = 2\pi(x_1 - \sqrt{x_1^2-1})\sqrt{x_1^2-1}.$$

Точно так же найдем

$$\int_0^{2\pi} \cos\xi \cos\theta\, d\theta = \int_0^{2\pi} \frac{(x_1\cos\theta + 1)\cos\theta\, d\theta}{\cos\theta + x_1} =$$

$$= \int_0^{2\pi} \frac{x_1 + \cos\theta - x_1\sin^2\theta}{\cos\theta + x_1} d\theta = 2\pi - x_1 \int_0^{2\pi} \frac{\sin^2\theta\, d\theta}{\cos\theta + x_1} =$$

$$= 2\pi(1 - x_1^2 + x_1\sqrt{x_1^2-1}) = \int_0^{2\pi} \sin\xi \sin\theta\, d\theta.$$

Далее

$$\int \sin 2\xi \sin\theta\, d\theta = 2\sqrt{x_1^2-1} \int \frac{\sin^2\theta(x_1\cos\theta+1)}{(\cos\theta+x_1)^2} d\theta =$$

$$= 2\sqrt{x_1^2-1}\left[\frac{\sin\theta(x_1\cos\theta+1)}{\cos\theta+x_1} - \int \frac{(x_1\cos 2\theta + \cos\theta)\, d\theta}{\cos\theta + x_1}\right] =$$

$$= 2\sqrt{x_1^2-1}\left[\frac{\sin\theta(x_1\cos\theta+1)}{\cos\theta+x_1} - \int d\theta + 2x_1 \int \frac{\sin^2\theta\, d\theta}{\cos\theta+x_1}\right]$$

и в пределах получим:

$$2\sqrt{x_1^2-1} \cdot 2\pi[-1 + 2x_1(x_1 - \sqrt{x_1^2-1})] =$$

$$= 4\pi\sqrt{x_1^2-1}(x_1 - \sqrt{x_1^2-1})^2.$$

Точно так же

$$\int \cos 2\xi \cos\theta\, d\theta = \int (1 - 2\sin^2\xi)\cos\theta\, d\theta = \sin\theta -$$

$$- \int 2\sin^2\xi \cos\theta\, d\theta = \sin\theta - \int \frac{2(x_1^2-1)\sin^2\theta\cos\theta\, d\theta}{(\cos\theta+x_1)^2} =$$

$$= \sin\theta - \frac{(x_1^2-1)\sin^2\theta}{\cos\theta+x_1} + 2(x_1^2-1)\int \frac{\cos 2\theta\, d\theta}{\cos\theta+x_1}.$$

Первые два члена в пределах пропадают, третий равен

$$(2x_1^2 - 1)\int \frac{(2\cos^2\theta - 1)\, d\theta}{\cos\theta + x_1},$$

и, заменяя опять $\cos\theta$ через z, убеждаемся, произведя интеграцию по вышеуказанному способу, что

$$\int_0^{2\pi} \cos 2\xi \cos\theta\, d\theta = 4\pi\sqrt{x_1^2-1}(x_1 - \sqrt{x_1^2-1})^2.$$

Таким образом проекция на ось Y выразится:

$$\frac{\mu r_1}{a^2}(2A_5 \operatorname{sh}\eta_1 + 4A_6 \operatorname{ch}\eta_0)\int_0^{2\pi}\sin\xi\sin\theta\,d\theta -$$

$$-\frac{\mu r_1}{a^2}2A_6 \operatorname{ch}\sigma\int_0^{2\pi}\sin 2\xi\sin\theta\,d\theta +$$

$$+\frac{\mu r_1}{a^2}(2A_5 \operatorname{ch}\eta_1 - 4A_6 \operatorname{sh}\eta_0)\int_0^{9\pi}\cos\xi\cos\theta\,d\theta +$$

$$+\frac{\mu r_1}{a^2}2A_6 \operatorname{sh}\sigma\int_0^{2\pi}\cos 2\xi\cos\theta\,d\theta$$

и так как

$$\int_0^{2\pi}\sin\xi\sin\theta\,d\theta = \int_0^{2\pi}\cos\xi\cos\theta\,d\theta =$$

$$= 2\pi \operatorname{sh}\eta_1(\operatorname{ch}\eta_1 - \operatorname{sh}\eta_1)$$

и

$$\int_0^{2\pi}\sin 2\xi\sin\theta\,d\theta = \int_0^{2\pi}\cos 2\xi\cos\theta\,d\theta =$$

$$= 4\pi \operatorname{sh}\eta_1(\operatorname{ch}\eta_1 - \operatorname{sh}\eta_1)^2,$$

то выражение проекции будет:

$$\frac{2\mu r_1}{a^2}A_5 \cdot 2\pi \operatorname{sh}\eta_1,$$

члены же с A_6 сократятся, т. к. они дают

$$2\cdot 4\pi\cdot A_6 \operatorname{sh}\eta_1(\operatorname{ch}\eta_1 - \operatorname{sh}\eta_1)[\operatorname{ch}\eta_0 - \operatorname{sh}\eta_0 +$$
$$+(\operatorname{sh}\sigma - \operatorname{ch}\sigma)(\operatorname{ch}\eta_1 - \operatorname{sh}\eta_1)],$$

и, написав

$$\operatorname{ch}\eta_0 = \operatorname{ch}\sigma\operatorname{ch}\eta_1 + \operatorname{sh}\sigma\operatorname{sh}\eta_1$$

и

$$-\operatorname{sh}\eta_0 = -\operatorname{sh}\eta_1\operatorname{ch}\sigma - \operatorname{sh}\sigma\operatorname{ch}\eta_1,$$

убеждаемся в справедливости сказанного. Поэтому имеем в проекции на ось Y, приняв во внимание, что

$$A_5 = \frac{Ur_1}{k^2} \quad \text{и} \quad a^2 = r_1^2\operatorname{sh}^2\eta_1,$$

$$\frac{4\pi\mu U}{k^2\sqrt{x_1^2-1}} = P\sin\theta_1,$$

где P—нагрузка на шип и θ_1—угол ее направления с линией центров. При $\theta_1 = \frac{\pi}{2}$ получим ф-лу Н. Е. Жуковского и С. А. Чаплыгина (при малых k^2 и σ).

Второе условие внешнего равновесия получим в проекции сил на линию центров. От реакции $-p_1$ получим в проекции:

$$-\frac{4A_1x_1\mu}{r_1(x_1^2-1)}\int_0^{2\pi}\cos\xi\cos\theta\,d\theta =$$

$$= -\frac{4A_1x_1\mu}{r_1(x_1^2-1)}2\pi\sqrt{x_1^2-1}\,(x_1 - \sqrt{x_1^2-1}) =$$

$$= -\frac{4A_1x_1\cdot 2\pi\mu(x_1-\sqrt{x_1^2-1})}{r_1\sqrt{x_1^2-1}} \quad \text{и}$$

$$\frac{A_1\mu}{r_1(x_1^2-1)}\int_0^{2\pi}\cos 2\xi\,\cos\theta\,d\theta =$$

$$= \frac{A_1 4\pi\mu}{r_1\sqrt{x_1^2-1}}(x_1-\sqrt{x_1^2-1})^2.$$

Оба слагаемых вместе дают $-\frac{4\pi\mu A_1}{r_1\sqrt{x_1^2-1}}$.

Далее в реакции $2\omega_1\mu$ имеем множителем (см. общее выражение $2\omega a^2$) при $\sin\xi$ выражение

$$\frac{\mu}{a^2}(2A_1 \operatorname{sh}\eta_1 - 4A_2 \operatorname{sh}\eta_0) = -\frac{2\mu}{a^2}kA_1 \operatorname{sh}\eta_1.$$

Следовательно получим слагаемое в проекции

$$-\frac{4\pi\mu kA_1}{r_1}(x - \sqrt{x_1^2-1})$$

и второе слагаемое

$$\frac{2\mu A_2 \operatorname{sh}\sigma\cdot r_1}{a^2}\int\sin 2\xi\sin\theta\,d\theta =$$

$$= \frac{A_1\cdot r_1 \operatorname{sh}\sigma\cdot 4\pi\sqrt{x_1^2-1}\,(x_1-\sqrt{x_1^2-1})^2}{a^2},$$

и т. к.

$$\operatorname{sh}\sigma = \frac{e_0}{r_0}\operatorname{sh}\eta_1 = \frac{kr_1}{r_0x_1(1+2k)}\operatorname{sh}\eta_1 \cong \frac{k}{x_1}\operatorname{sh}\eta_1,$$

то второе слагаемое будет

$$\frac{4\pi\mu A_1k}{r_1x_1}(x_1-\sqrt{x_1^2-1})^2;$$

оба вместе дадут

$$-\frac{4\pi\mu kA_1(x_1-\sqrt{x_1^2-1})\sqrt{x_1^2-1}}{r_1x_1}.$$

В виду малости k сравнительно с 1 всем этим выражением можно пренебречь, тогда

$$-\frac{4\pi\mu A_1}{r_1\sqrt{x_1^2-1}} = P\cos\theta_1.$$

Т. о. в двух уравнениях равновесия имеются три величины, подлежащие определению: θ_1, x_1 (или эксцентриситет) и A_1, и следовательно нужен ряд опытов, могущих дать еще одно соотношение, напр. для угла θ_1, или же ряд надлежащих опытов по распределению давления на подшипник. Нек-рая неопределенность теоретич. ф-л произошла от того, что здесь была выбрана ф-ия тока в наиболее простой форме, но эта неопределенность, с другой стороны, позволяет приблизить теоретич. ф-лы к результатам опытов. Теория все равно не может здесь охватить всего явления, т. к. предполагает зависимость в двух измерениях, между тем как на самом деле зависимость трехмерная. Опытов по определению угла θ_1 в зависимости от различных факторов мы пока не имеем. Лишь Кингсбюри в опытах с воздушной смазкой определял изменение угла θ_1 от скорости.

Обратимся теперь вновь к ф-лам распределения давления по подшипнику. На основании условий внешнего равновесия можем написать

$$A_1 = -\frac{r_1U\operatorname{ctg}\theta_1}{k^2}$$

и теоретич. ф-ла распределения давления будет

$$\frac{p_1}{\mu} = -\frac{2U}{k^2r_1(x_1^2-1)}(2x_1^2-1)\frac{\sin\theta}{\cos\theta+x_1} -$$

$$-\frac{4x_1U\operatorname{ctg}\theta_1\cdot(x_1\cos\theta+1)}{k^2r_1(x_1^2-1)\cdot(\cos\theta+x_1)} + \frac{2x_1U\sin\theta(x_1\cos\theta+1)}{k^2r_1(x_1^2-1)(\cos\theta+x_1)^2} +$$

$$+\frac{U\operatorname{ctg}\theta_1}{k^2r_1(x_1^2-1)}\left[1-\frac{2(x_1^2-1)\sin^2\theta}{(\cos\theta+x_1)^2}\right]+B$$

или

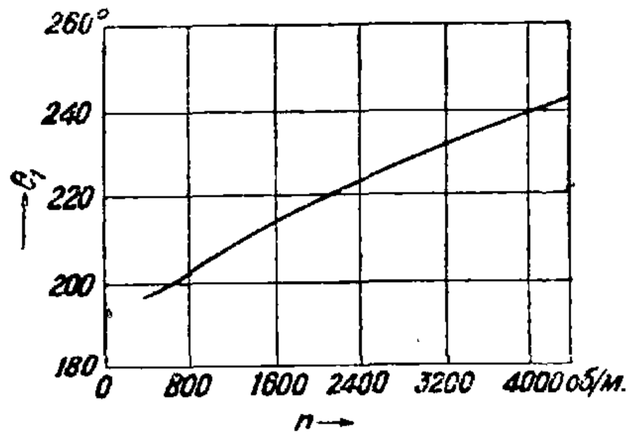
$$p_1 = \frac{\mu\Omega}{k^2(x_1^2-1)}\left\{(-4x_1^2+2)\frac{\sin\theta}{\cos\theta+x_1} -\right.$$

$$-4x_1\operatorname{ctg}\theta_1\frac{(x_1\cos\theta+1)}{\cos\theta+x_1} + \frac{2x_1\sin\theta(x_1\cos\theta+1)}{(\cos\theta+x_1)^2} +$$

$$\left.+\operatorname{ctg}\theta_1\left[1-\frac{2(x_1^2-1)\sin^2\theta}{(\cos\theta+x_1)^2}\right]+B\right\}.$$

Рассмотрим второй опыт Кингсбюри, где число оборотов шипа было равно 1 730 в минуту. На фиг. 6 дана по Кингсбюри диаграмма зависимости угла θ_1 от скорости вращения шипа. Если сообразно этой диаграмме отложить на ординатах $\operatorname{ctg}\theta_1$, а на абсциссах числа оборотов или угловую скорость (фиг. 7), то можно

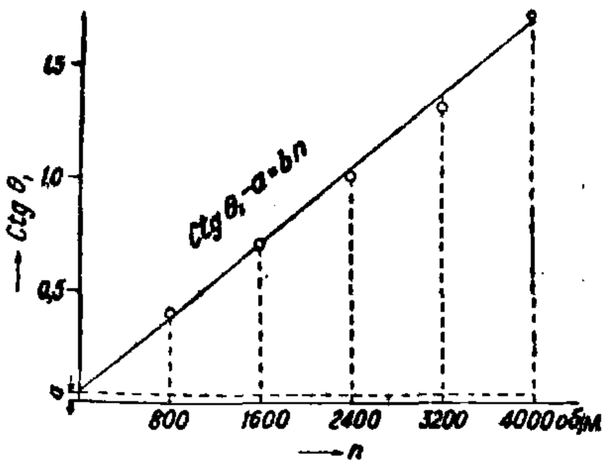
принять, как показывает фиг. 7, линейную зависимость $\operatorname{ctg}\theta_1$ от угловой скорости при одной и той же нагрузке. Будет ли угол зависеть и от величины нагрузки и будет ли подобная зависимость при постоянной нагрузке и в других смазывающих средах, мы за отсутствием опытов сказать не можем. В рассматриваемом случае для $n=1\,730$ соответственно диаграмме можно принять $\operatorname{ctg}\theta_1=0{,}74$; далее имеем $\mu=1{,}76\cdot 10^{-6}$ *кгм²сж*, для x_1 примем величину 1,9. Тогда получим, приняв $k=1\cdot 10^{-3}$,



Фиг. 6.

$$\frac{\mu\Omega}{k^2(x_1^2-1)}=\frac{1{,}76\cdot 10^{-6}\cdot 181{,}17}{10^{-6}\cdot 2{,}61}=122{,}17\ \ кг/м^2.$$

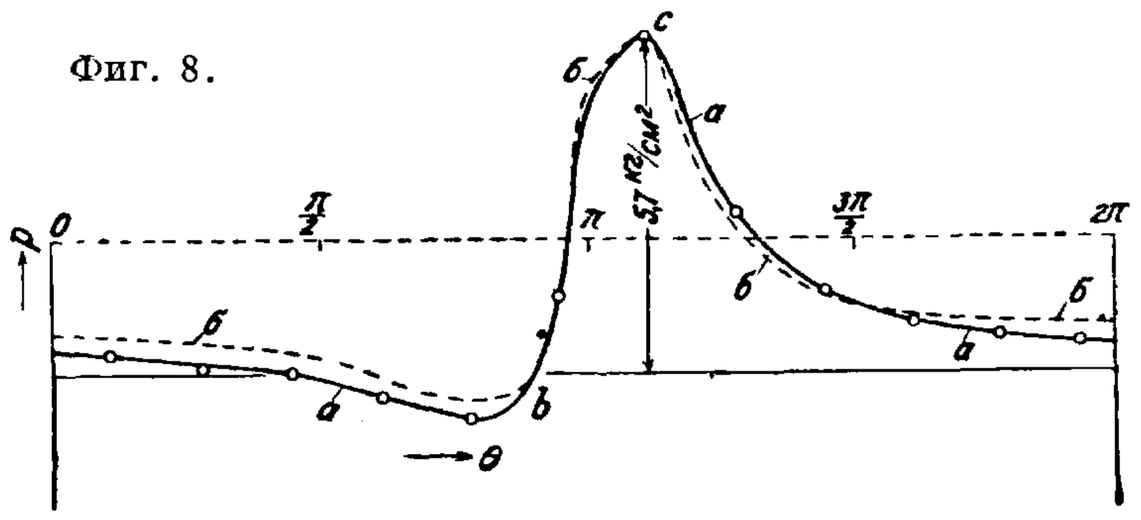
Т. к. в приложенной диаграмме (фиг. 5) распределения давлений масштаб давлений дает приблизительно 6,5 *мм* = 0,1 *кг/см²*, то 1 *мм* = 155 *кг/м²*; сообразно с этим были определены по ф-ле (при $B=0$) давления в точках, соответствующих углам $\theta=0$, $\frac{\pi}{4}$, $\frac{\pi}{2}$, π, $\frac{5\pi}{4}$, $\frac{3\pi}{2}$, и отмечены кружками. Только одна шестая точка удаляется от опытного значения, остальные пять хорошо совпадают с опытными. Несовпадение шестой точки м. б. легко объяснено следующим образом: при движении (здесь по стрелке часов) воздух как среда сжимаемая, идя к зазору из области с меньшим давлением, может преждевременно нагреваться, чем и повысится его давление сравнительно с тем, какое имела бы среда несжимаемая, теория же рассматривает среду несжимаемую. Поэтому мы можем сказать, что опытом Кингсбюри вполне подтверждается теоретич. ф-ла распределения давлений, т. к. получается хорошее совпадение как частных величин давлений, так и самого характера распределения их: и максимум и минимум давлений получаются по ф-ле именно там, где указывает опыт.



Фиг. 7.

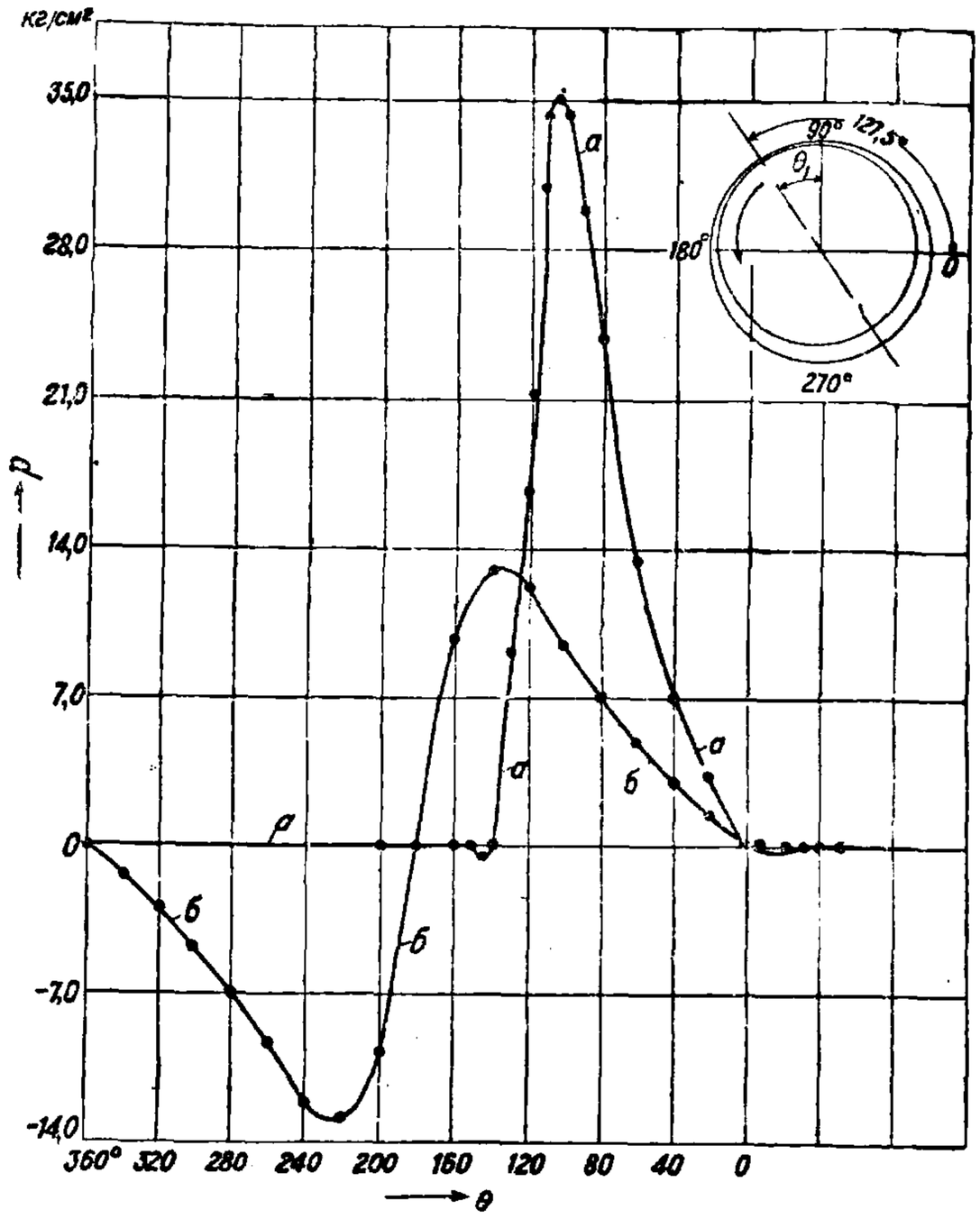
Если теперь мы обратимся к опытам с масляной смазкой, то встретимся здесь с большими затруднениями. Во-первых, отрицательные давления, т. е. давления, направленные от подшипника, не м. б. здесь измерены со стороны подшипника, подсасывающее же их действие заставляет входить окружающий воздух внутрь смазывающего слоя. Тогда получается сложная смазывающая среда, коэф. вязкости к-рой неизвестен и меняется от одного места к другому в зависимости от примеси воздуха. Поэтому мы вправе ожидать, что 1) в таких опытах отрицательные давления или вообще отсутствуют или измеряются величинами, б. или м. удаленными от теоретических, и 2) в положительной части давлений м. б. также значительные отступления от теоретич. величин вследствие случайной примеси воздуха, к-рая может повести даже к разрыву масляного слоя. Об этом см. замеч. Bradford'a в Trans. A. S. M. E. 1931. В пояснение сказанного возьмем опыт Гюмбеля (Gümbel). В этом опыте к сожалению не были приняты во внимание все требования теории и не был определен ни эксцентриситет ни угол линии центров с линией действия нагрузки. Диаграмма распределения давлений дана на фиг. 8 (кривая *a*), из к-рой видно, что небольшие отрицательные давления были наблюдаемы на небольшом протяжении, на остальной же части окружности давления были положительные, что и следовало ожидать, т. к. воздух имел свободный доступ в пространство между шипом и подшипником, к-рый в сущности был муфтой, надетой на вал, подверженный действию груза, и удерживаемой неподвижно. Коэф. k в этом опыте можно принять на основании данных размеров r и r_1 равным приблизительно 0,02. При такой большой величине k возможен и большой сравнительно эксцентриситет, а следовательно x_1 может иметь значение, близкое к 1.

Фиг. 8.



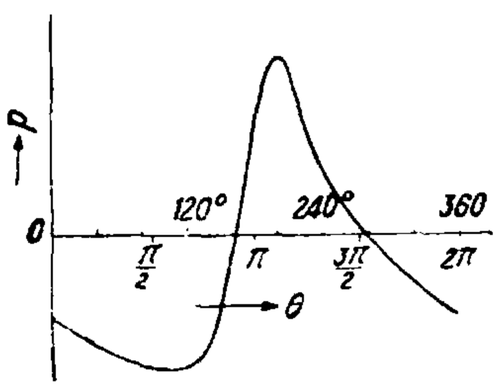
Мы возьмем здесь $x_1=1{,}14$ и $\operatorname{ctg}\theta_1=1$. Тогда вычисляем по ф-ле давления для различных точек и, построив теоретич. кривую *б*, совмещаем точку *c* наибольшего давления с соответственной точкой опытной кривой, чем и определим постоянное B. Сравнение кривых указывает и в этом случае хорошее согласие опытной и теоретич. кривой, насколько это можно было ожидать от опыта, произведенного не вполне по указаниям теории. Характер обеих кривых одинаков, на участке *bc* обе кривые почти совпадают, только в теоретич. кривой давление в общем несколько равномернее распределено, нежели в опытной, что после сказанного понятно само собою. Т. о. и в опыте Гюмбеля мы имеем подтверждение правильности теоретич. решения вопроса. Далее мы можем взять кривую, приведенную Бредфордом (Bradford) и названную им типичной кривой распределения давлений (в дискуссиях по поводу опытов Кингсбюри). В этом случае, как видно из фиг. 9, мы имеем величину эксцентриситета и угол линий центров θ_1, к-рый здесь равен 37,5°. По соотношению $\frac{l_0}{r_0}=\frac{k}{x}=\frac{0{,}0030}{1{,}25}$ (в нашем случае) берем пробно $k=0{,}0034$, коэф. вязкости такой же, как и у Гюмбеля, далее согласно Bradford'y $n=500$ и полагаем $x_1=1{,}4$. Во всех подобных случаях, когда неизвестен закон зависимости угла θ_1 от скорости и нагрузки, чем и определялась бы величина x_1, приходится разумеется итти путем проб. Мы получаем т. о. по подстановке частных величин в общую ф-лу кривую распределения давлений, к-рая представляет хорошую копию (фиг. 10а) с кривой Бредфорда *a*, если отбросить часть с большими отрицательными давлениями. Между тем именно по поводу этой кривой Бредфорд говорит о разногласии между опытом и теорией, приведя на фиг. 9 (кривая *б*) теоретич. кривую Гарисона (Harrison). На это можно только сказать, что теория Гарисона является неполной, теория же Н. Е. Жуковского и С. А. Чаплыгина, несколько здесь расширенная, дает типы кривых распределе-

ния давлений, вполне сходные с опытными. Далее Бредфорд приводит в общих чертах данные другого опыта, где по возможности было устранено втекание наружного воздуха в пространство, занятое смазкой. В этом случае угол линий центров с линией действия нагрузки

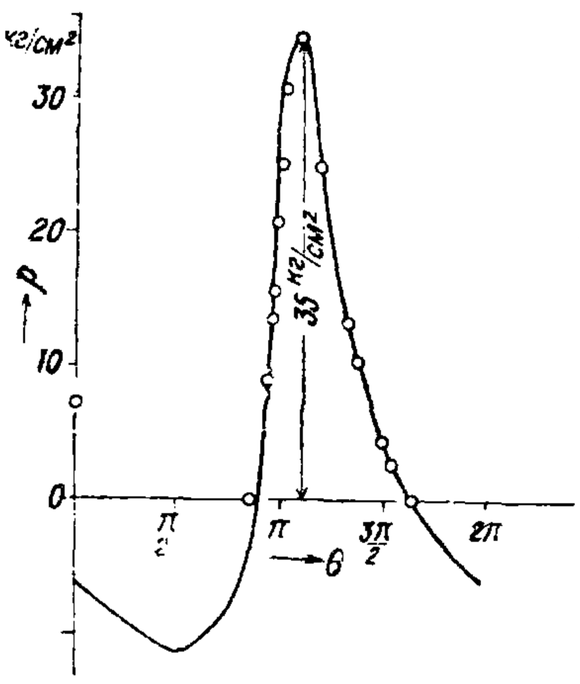


Фиг. 9.

увеличился на 12°, эксцентриситет уменьшился на 10%, возросло измеренное отрицательное давление, а также длина дуги, над к-рой давление было положительным, т. ч. согласие с кривой Гарисона стало лучшим. Принимая во внимание прежнюю величину k, мы должны взять согласно новому эксцентриситету $x = 1{,}6$ и при $\operatorname{ctg}\theta_1 = 0{,}854$ вычисляем по ф-ле относительные величины давлений, т. к. величина максимального давления не дана. Получаем кривую (фиг. 10б), к-рая действительно лучше подходит к кривой Гарисона, нежели прежняя опытная. Отсюда можно заключить, что данная здесь ф-ла распределения давлений дает полный отчет об опытах, произведенных при самых различных условиях.

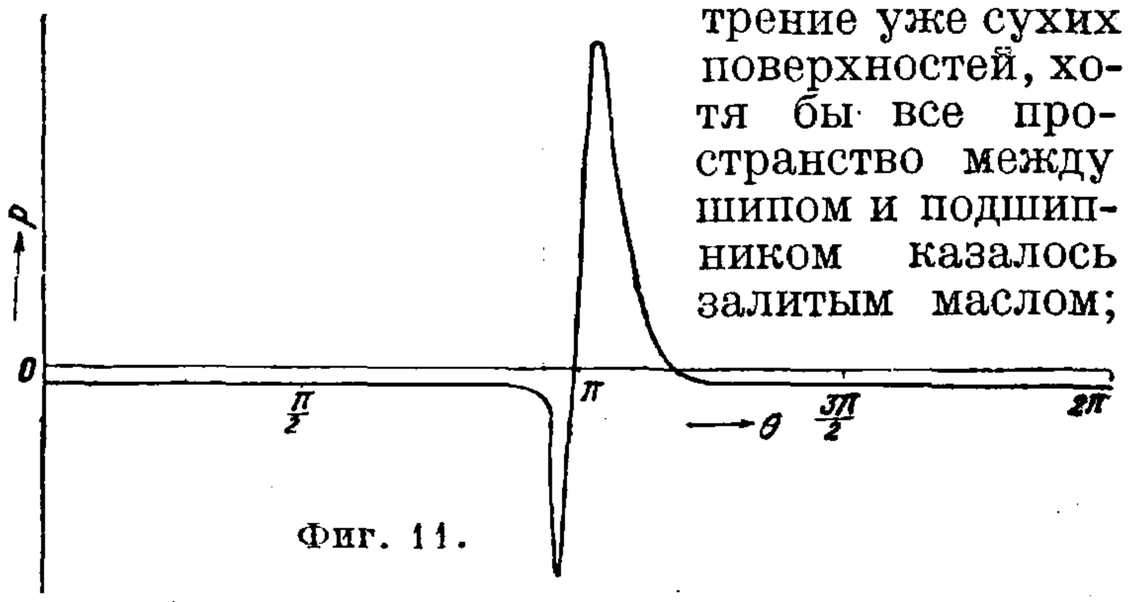


Фиг. 10а.



Фиг. 10б.

Обратимся вновь к опытам, описанным у Стентона в его книге «Friction», где масляный слой ограничивался дугой в 30° (1-й опыт) и в 15° (2-й опыт) и где эксцентриситет был очень большой; во втором случае он равен 0,7488 *мм* при $r_0 = 12{,}5$ и k имело не встречающуюся теперь в установках величину 0,06; величина x_1 в этом случае близка к 1 и равна 1,0015. Смазочный слой по всей окружности состоял следовательно из небольшой масляной смазки и большой воздушной, в которой вероятно плавали капли масла, увлекаемые шипом. Коэф. вязкости такой среды разумеется не м. б. известен и поэтому об этих опытах можно только сказать то, что было сказано уже раньше. Но если мы предположим, что все пространство между шипом и подшипником было заполнено маслом и возьмем те же величины k, x_1 и e_0, далее $\operatorname{ctg}\theta_1 = 1$, то убедимся по ф-ле, что все давление гл. обр. воспринимается лишь небольшой частью окружности, где будет очень резкий переход от отрицательного максимума к положительному, как это показано на фиг. 11. Кривая давлений, если мы отбросим отрицательные давления и начало счета давлений положим на линии, соединяющей крайние точки диаграммы в направлении счета градусов, весьма хорошо подходит по характеру к обеим кривым Стентона. Отсюда мы можем сделать следующие выводы: 1) т. к. величина x_1 определяется при данных Ω, μ и k из ф-лы равновесия по величине P (считаем θ_1 также зависящим от Ω и μ), то величина x_1 выходит близкой к 1 при значительном P, и эта перегрузка, как и следовало ожидать, ведет к нерациональному распределению давлений, могущему вызвать разрыв смазочного слоя и трение уже сухих поверхностей, хотя бы все пространство между шипом и подшипником казалось залитым маслом;



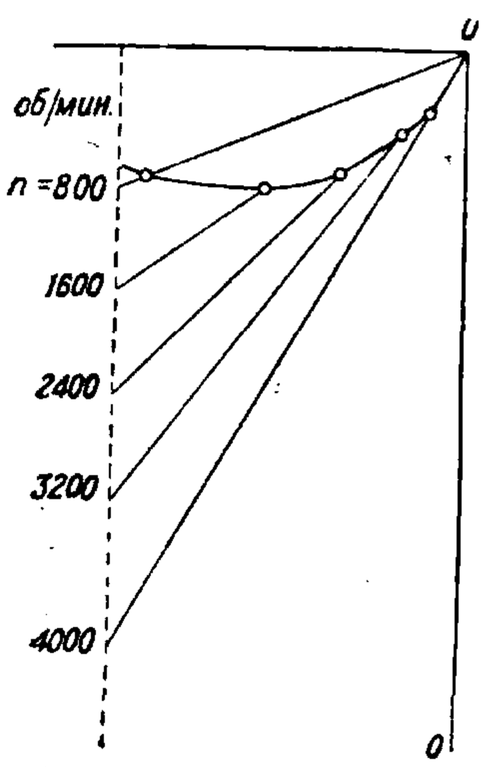
Фиг. 11.

2) неточность обработки шипа и подшипника, вызывающая увеличение коэф-та k, также ведет при данных Ω, μ и P к уменьшению величины x_1 и следовательно к той же опасности разрыва. Поэтому точность пригонки диаметров шипа и подшипника есть первое необходимое условие для рациональной смазки при значительных P, и нельзя допускать, чтобы величина k была больше 0,005. Но вообще величина x_1 зависит и от скорости при данных μ, k и P; влияние скорости на величину x_1 мы можем однако вывести лишь из опытов Кингсбюри с воздушной смазкой. Как было указано, там можно принять линейную зависимость $\operatorname{ctg}\theta_1$ от скорости шипа; далее было найдено, что для $n = 1\,730$ м. б. принято $x_1 = 1{,}9$; при этом получается хорошее согласие в распределении давлений с опытными данными. Если скорость $n = 1\,730$ назовем через Ω_0, а какую-нибудь другую через Ω_1, то по ф-ле равновесия при данных k и P получим следующее соотношение

$$\frac{\Omega_1 \sqrt{x_{10}^2 - 1}}{\Omega_0 \sqrt{x_{11}^2 - 1}} = \frac{\sin\theta_{11}}{\sin\theta_{10}},$$

где x_{10} и $\sin\theta_{10}$ относятся к Ω_0, а x_{11} и $\sin\theta_{11}$ — к Ω_1. Подставляя сюда $\sin\theta_1$ по диаграмме зависимости θ_1 от скорости, получаем величины x_1 для различных скоростей, выходя из $x_1 = 1{,}9$ для $n = 1\,730$. Сообразно этим значениям x_1 можем определить соответствующие эксцентриситеты по ф-ле $e_0 = \frac{r_1 k}{x_1}$. Тогда получим диа-

грамму движения центра шипа при увеличении числа оборотов (фиг. 12). Предполагается, что нагрузка действует по линии OO и из точки O проведены лучи, дающие положение линии центров; согласно диаграмме на них отложены величины эксцентриситетов в значительно извращенном масштабе. Т. о. можно представить движение шипа по следующей схеме: в покое центр шипа занимает самое нижнее положение на линии нагрузки и эксцентриситет имеет максимум $x_1 = 1$. При вращении (здесь по стрелке часов) смазка увлекает шип, и центр его сначала приближается к горизонтальной линии (если линию нагрузки считать за вертикаль). Эта часть пути центра шипа не показана на чертеже, т. к. соответственных опытов не имеется. При дальнейшем увеличении скорости вращения (начальное $n = 800$ об.) центр шипа движется по нек-рой кривой, постепенно приближаясь к центру подшипника, и при скорости бесконечно большой оба центра должны совпадать. Т. о. при увеличении скорости вращения постепенно уменьшается эксцентриситет, увеличивается x_1 и распределение нагрузки становится все равномернее. О движении центра шипа высказывались различные произвольные предположения, напр., что центр шипа из положения покоя постепенно при увеличении скорости стремится к центру подшипника, идя по дуге полуокружности в сторону вращения. В опытах Кингсбюри мы этого не видим. Во всяком случае гипотеза о движении по полуокружности вверх к центру подшипника дает как следствие, что линия центров при увеличении скорости приближается к горизонтали, между тем опыты Кингсбюри дают как-раз обратное. Но за недостатком надлежащих опытов с масляной смазкой вопрос пока не имеет решения. Можно только предполагать по аналогии с воздушной смазкой, что при выходе центра шипа из состояния покоя трение до достижения известной скорости является смешанным, т. е. отчасти сухим, отчасти со смазкой. К этому состоянию гидродинамич. теория приложена быть не может и следовательно необходимы тщательные опыты для характеристики этого состояния.



Фиг. 12.

Перейдем теперь к определению по теории момента пары, препятствующей вращению шипа. Момент пары, стремящейся повернуть подшипник, будет

$$M = \int_0^{2\pi} 2\mu\omega_1 \, r_1^2 \, d\theta - Pe_0 \sin\theta_1,$$

где P—нагрузка на шип и e_0—эксцентриситет; равная ей и противоположная пара является парой сопротивления. При вычислении интеграла нужно принять во внимание, что $\int_0^{2\pi} \sin\xi \, d\theta = 0$. Это можем видеть непосредственно, разделив окружность на четыре квадранта и приняв во внимание, что первый и четвертый квадранты, равно как второй и третий, взаимно уничтожаются. Точно так же и $\int_0^{2\pi} \sin 2\xi \, d\theta = 0$, и остаются интегралы $\int_0^{2\pi} \cos\xi \, d\theta$ и $\int_0^{2\pi} \cos 2\xi \, d\theta$.

Но

$$\int \cos\xi \, d\theta = \int \frac{x_1\cos\theta + 1}{\cos\theta + x_1} d\theta = -\int \frac{zx_1 + 1}{x_1 + z} \frac{dz}{\sqrt{1-z^2}} =$$

$$= -\int \frac{x_1 dz}{\sqrt{1-z^2}} + \int \frac{(x_1^2-1)\,dz}{(x_1+z)\sqrt{1-z^2}}$$

и следовательно

$$\int_0^{2\pi} \frac{x_1\cos\theta+1}{\cos\theta+x_1} d\theta = 2\int_0^{\pi} \frac{x_1\cos\theta+1}{\cos\theta+x_1} d\theta = 2\int_{-1}^{+1} \frac{x_1 dz}{\sqrt{1-z^2}} -$$

$$- 2\int_{-1}^{+1} \frac{(x_1^2-1)\,dz}{(x_1+z)\sqrt{1-z^2}} = 2\pi x_1 +$$

$$+ \frac{2(x_1^2-1)}{\sqrt{x_1^2-1}} \Big|_{-1}^{+1} \operatorname{arc\,tg} \sqrt{\frac{x_1-1}{x_1+1}\,\frac{1-z}{1+z}} =$$

$$= 2\pi\,(x_1 - \sqrt{x_1^2-1}).$$

Так же

$$\int_0^{2\pi} \cos 2\xi \, d\theta = \int_0^{2\pi} (1 - 2\sin^2\xi)\, d\theta =$$

$$= 2\pi - 2(x_1^2-1)\int_0^{2\pi} \frac{\sin^2\theta\, d\theta}{(\cos\theta + x_1)^2} =$$

$$= 2\pi - \Big|_0^{2\pi} \frac{2(x_1^2-1)\sin\theta}{\cos\theta+x_1} + 2(x_1^2-1)\int_0^{2\pi} \frac{\cos\theta\, d\theta}{\cos\theta+x_1} =$$

$$= 2\pi + 2(x_1^2-1)\int_0^{2\pi} \frac{\cos\theta\, d\theta}{\cos\theta+x_1} =$$

$$= 2\pi + 4(x_1^2-1)\int_{-1}^{+1} \frac{z\,dz}{(x_1+z)\sqrt{1-z^2}} = 2\pi +$$

$$+ 4(x_1^2-1)\left[\int_{-1}^{+1} \frac{dz}{\sqrt{1-z^2}} - x_1\int_{-1}^{+1} \frac{dz}{(x_1+z)\sqrt{1-z^2}}\right] =$$

$$= 2\pi + 4\pi\sqrt{x_1^2-1}\,(\sqrt{x_1^2-1} - x_1).$$

Т. о. в общем виде $\int_0^{2\pi} 2\mu\omega_1 r_1^2 \, d\theta$ представится так:

$$\frac{\mu r_1^2}{a^2}\Big[(-2A_5\operatorname{ch}\eta_1 + 4A_6\operatorname{sh}\eta_0)\int_0^{2\pi} \cos\xi\, d\theta -$$

$$- 2A_6\operatorname{sh}\sigma\int_0^{2\pi} \cos 2\xi\, d\theta + 4\pi\,(A_5 -$$

$$- A_6\operatorname{sh}\sigma - A_4\operatorname{sh}\eta_1)\Big];$$

подставляя значение A_4 через A_5 и A_6, получим:

$$\frac{\mu r_1^2}{a^2}\Big\{(-2A_5\operatorname{ch}\eta_1 + 4A_6\operatorname{sh}\eta_0)\int_0^{2\pi} \cos\xi\, d\theta -$$

$$- 2A_6\operatorname{sh}\sigma\int_0^{2\pi} \cos 2\xi\, d\theta + 4\pi\,[A_5\operatorname{ch}^2\eta_1 -$$

$$- A_6(\operatorname{sh}\sigma + 2\operatorname{ch}\sigma\operatorname{ch}\eta_1\operatorname{sh}\eta_1)]\Big\},$$

но $\operatorname{sh}\eta_0 = \operatorname{sh}\eta_1 \operatorname{ch}\sigma + \operatorname{sh}\sigma \operatorname{ch}\eta_1$ и поэтому при A_6 коэф-том будет выражение:

$$4 \operatorname{ch}\sigma \operatorname{sh}\eta_1 \int_0^{2\pi} \cos\xi \, d\theta +$$

$$+ \operatorname{sh}\sigma \left(4 \operatorname{ch}\eta_1 \int_0^{2\pi} \cos\xi \, d\theta - 2 \int_0^{2\pi} \cos 2\xi \, d\theta - 4\pi \right).$$

Здесь множитель при $\operatorname{sh}\sigma$ равен

$$4 x_1 \cdot 2\pi (x_1 - \sqrt{x_1^2 - 1}) - 4\pi -$$
$$- 8\pi \sqrt{x_1^2 - 1} \, (\sqrt{x_1^2 - 1} - x_1) - 4\pi = 0,$$

следовательно:

$$\frac{\mu r_1^2}{a^2} \left[2 A_5 \left(2\pi \operatorname{ch}^2 \eta_1 - \operatorname{ch}\eta_1 \int_0^{2\pi} \cos\xi \, d\theta \right) + \right.$$

$$\left. + 4 A_6 \operatorname{ch}\sigma \operatorname{sh}\eta_1 \left(\int_0^{2\pi} \cos\xi \, d\theta - 2\pi \operatorname{ch}\eta_1 \right) \right] =$$

$$= \frac{4\pi\mu r_1^2}{a^2} \left[A_5 x_1 \sqrt{x_1^2 - 1} - 2 A_6 \operatorname{ch}\sigma \, (x_1^2 - 1) \right] =$$

$$= \frac{4\pi\mu r_1^2}{a^2} \operatorname{sh}\eta_1 \, (A_5 \operatorname{ch}\eta_1 - 2 A_6 \operatorname{ch}\sigma \operatorname{ch}\eta_1),$$

и т. к. $a^2 = r_1^2 \operatorname{sh}^2 \eta_1$, то

$$\int_0^{2\pi} 2\mu\omega_1 r_1^2 \, d\theta = \frac{4\pi\mu}{\operatorname{sh}\eta_1} (A_5 \operatorname{ch}\eta_1 - 2 A_6 \operatorname{ch}\sigma \operatorname{sh}\eta_1).$$

Далее, т. к. $P \sin\theta_1 = \frac{4\pi\mu r_1 A_5 \operatorname{sh}\eta_1}{a^2}$ (см. выше) или $P \sin\theta_1 = \frac{4\pi\mu A_5}{r_1 \operatorname{sh}\eta_1}$ и $e_0 = \frac{r_0 \operatorname{sh}\sigma}{\operatorname{sh}\eta_1}$, то $P e_0 \sin\theta_1 =$

$$= \frac{4\pi\mu r_0 A_5 \operatorname{sh}\sigma}{r_1 \operatorname{sh}^2 \eta_1} = \frac{4\pi\mu A_5 \operatorname{sh}\sigma}{\operatorname{sh}^2 \eta_1 (1+k)} = \frac{4\pi\mu A_5 \operatorname{sh}\sigma}{\operatorname{sh}\eta_1 \operatorname{sh}\eta_0}.$$

Поэтому

$$\int_0^{2\pi} 2\mu\omega_1 r_1^2 \, d\theta - P e_0 \sin\theta_1 = M =$$

$$= \frac{4\pi\mu}{\operatorname{sh}\eta_1} \left[A_5 \left(\operatorname{ch}\eta_1 - \frac{\operatorname{sh}\sigma}{\operatorname{sh}\eta_0} \right) - A_6 \operatorname{ch}\sigma \operatorname{sh}\eta_1 \right],$$

но

$$\frac{\operatorname{ch}\eta_1 \operatorname{sh}\eta_0 - \operatorname{sh}(\eta_0 - \eta_1)}{\operatorname{sh}\eta_0} = \frac{\operatorname{ch}\eta_0 \operatorname{sh}\eta_1}{\operatorname{sh}\eta_0}$$

и

$$M = 4\pi\mu \left(A_5 \frac{\operatorname{ch}\eta_0}{\operatorname{sh}\eta_0} - 2 A_6 \operatorname{ch}\sigma \right) =$$

$$= 4\pi\mu U r_1 \left\{ \frac{\operatorname{ch}\eta_0 \operatorname{sh}\sigma}{[\sigma + \sigma(1+k)^2 - 2(1+k)\operatorname{sh}\sigma] \operatorname{sh}\eta_0} - \right.$$
$$\left. - \frac{[\sigma(1+k) - \operatorname{sh}\sigma] \operatorname{ch}\sigma}{\operatorname{sh}\sigma [\sigma + \sigma(1+k)^2 - 2(1+k)\operatorname{sh}\sigma]} \right\}.$$

Приведя к одному знаменателю, получим в числителе выражение:

$$\operatorname{ch}\eta_0 \operatorname{sh}^2\sigma - \sigma(1+k) \operatorname{ch}\sigma \operatorname{sh}\eta_0 + \operatorname{sh}\sigma \operatorname{ch}\sigma \operatorname{sh}\eta_0 =$$
$$= \operatorname{sh}\sigma \, [\operatorname{ch}\eta_0 \operatorname{sh}\sigma - \sigma(1+k)^2 \operatorname{cth}\sigma \operatorname{sh}\eta_1 +$$
$$+ \operatorname{ch}\sigma (1+k) \operatorname{sh}\eta_1] = \operatorname{sh}\sigma \, [\operatorname{ch}\eta_0 \operatorname{sh}\sigma -$$
$$- \operatorname{sh}\eta_0 \operatorname{ch}\sigma - \sigma(1+k)^2 \operatorname{cth}\sigma \operatorname{sh}\eta_1 +$$
$$+ 2(1+k) \operatorname{ch}\sigma \operatorname{sh}\eta_1] = \operatorname{sh}\sigma \operatorname{sh}\eta_1 [-1 - \sigma(1 +$$
$$+ k)^2 \operatorname{cth}\sigma + 2(1+k) \operatorname{ch}\sigma],$$

следовательно

$$M = -\frac{4\pi\mu r_1 U}{1+k} \cdot \frac{\sigma(1+k)^2 \operatorname{cth}\sigma - 2(1+k)\operatorname{ch}\sigma + 1}{\sigma + \sigma(1+k)^2 - 2(1+k)\operatorname{sh}\sigma}.$$

Принимая теперь, как и везде, σ малой величиной, получаем

$$M = -\frac{4\pi\mu U r_1}{(1+k)\operatorname{sh}\sigma}.$$

Далее можно взять

$$\operatorname{sh}\sigma = \frac{e_0}{r_0} \operatorname{sh}\eta_1 \cong \frac{r_1 k \sqrt{x_1^2 - 1}}{r_0 x_1 (1+2k)}$$

и поэтому

$$M = -\frac{4\pi\mu U r_0 x_1 (1+2k)}{k(1+k)\sqrt{x_1^2 - 1}},$$

можно взять как абсолютную величину момента пары сопротивления выражение

$$M_1 = \frac{4\pi\mu r_0 x_1 U}{k \sqrt{x_1^2 - 1}},$$

а коэф. трения

$$\lambda = \frac{M_1}{P r_0} = \frac{4\pi\mu U x_1}{P k \sqrt{x_1^2 - 1}};$$

если принять во внимание выражение P через U, x_1, k и $\sin\theta_1$, то можно также написать

$$\lambda = x_1 k \sin\theta_1$$

или

$$\lambda = \frac{r_1 k^2}{e_0} \sin\theta_1.$$

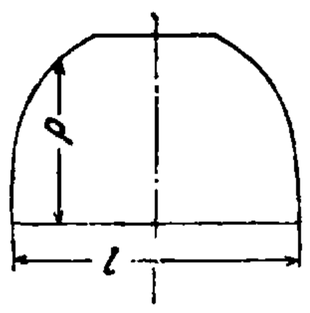
Величина потерянной на трение работы выразится по общим правилам через

$$L = \frac{4\pi\mu U^2 x_1 (1+2k)}{k(1+k)\sqrt{x_1^2 - 1}}.$$

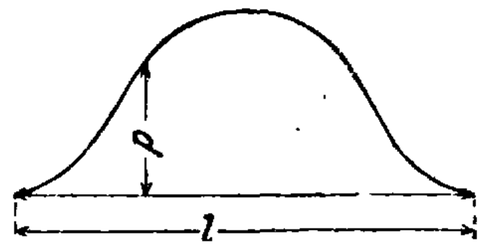
или просто

$$\frac{4\pi\mu U^2 x_1}{k \sqrt{x_1^2 - 1}} = P U \lambda.$$

Т. к. всегда $x_1 > 1$, то дробь $\frac{x_1}{\sqrt{x_1^2 - 1}}$ будет тем ближе к 1, чем больше x_1, т. е. чем меньше эксцентриситет, и потеря в работе на трение при данных U и k будет тем меньше, чем больше x_1, что понятно само по себе. В выражение коэф-та трения входит в знаменатель P, т. е. нагрузка на единицу длины. Теория предполагает для каждого сечения, перпендикулярного к оси пары шип—подшипник, одинаковое распределение давления на подшипник, т. е. независимость всего явления от измерения вдоль оси. В действительности это предположение б. или м. не соблюдается; распределение нагрузки по оси может иметь разнообразный характер, и отсюда может получиться несогласие между теоретич. коэф-том трения и наблюденным, хотя бы для распределения давления на подшипник в центральной его части и получалась хорошая согласованность между теорией и наблюдением. На фиг. 13а и 13б показаны два распределения нагрузки по длине l подшипника: одно по опы-



Фиг. 13а.



Фиг. 13б.

там (Тоуера) с масляной смазкой (фиг. 13а), другое по опытам Кингсбюри с воздушной смазкой (фиг. 13б). В последнем случае, если вычислим среднее давление на единицу длины, мы получим его почти вдвое меньшим, чем в центральной части, между тем теоретически мы его предполагаем одинаковым и равным давлению в центральной части. В случае же Тоуера распределение нагрузки ближе подходит к теоретич. предположению. Предположим здесь величину x_1 сравнительно большой, тогда $\frac{x_1}{\sqrt{x_1^2 - 1}}$ можно считать близким к 1, и поэтому

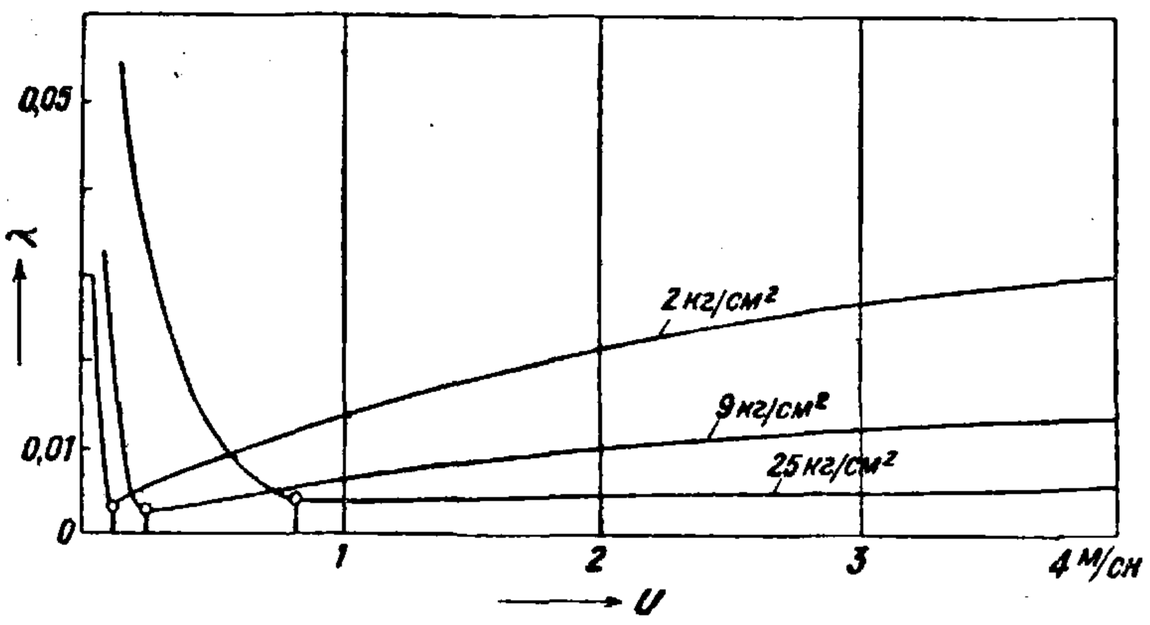
$$k = \text{Const} \cong \frac{4\pi\mu U}{P\lambda}$$

или, при постоянном μ, $\frac{U}{P\lambda} \cong \text{Const}$, т. е. при определенной скорости U величина λ будет обратно пропорциональна P. В опытах Тоуера это до известной степени оправдывается, как показывает табл. 1.

Табл. 1.—Значения λ в зависимости от P.

P, atm	$\Omega = 15,7$	$\Omega = 36,6$	$\Omega = 47,1$
36,6	$8 \cdot 10^{-4}$	$14 \cdot 10^{-4}$	$17 \cdot 10^{-4}$
21,8	15	23	27
7	45	77	89

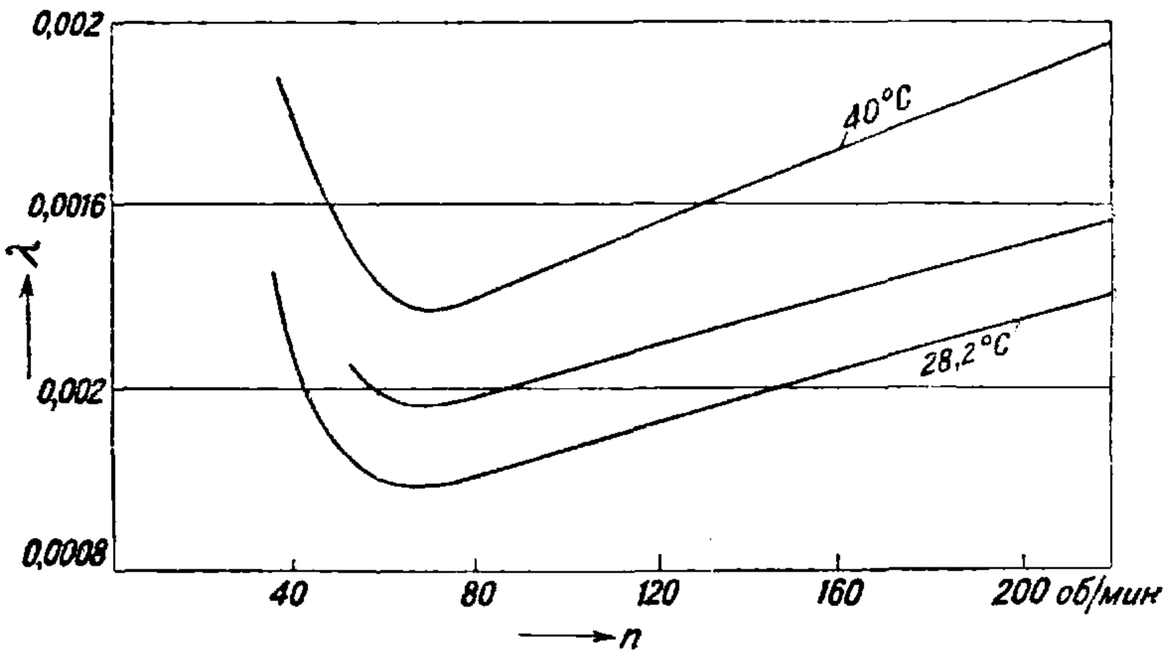
Т. о. теоретич. вывод находит здесь себе подтверждение. Но в опытах Штрибека соотношение это совсем не подтверждается. Тем не менее и опыты Штрибека, с другой стороны, указывают на правильность теории. Действительно, если предположить, что опыты произведены при одной и той же нагрузке, но с разными скоростями, и т. о. исключить вопрос о распределении нагрузки по длине подшипника, то по ф-ле мы получим, что коэф. λ будет возрастать приблизительно пропорционально скоростям. Фиг. 14 дает изменение коэф-та λ в опытах



Фиг. 14.

Штрибека в зависимости от скорости. Сначала коэф. падает—эту область можно отнести к полусухому трению; затем, пройдя известный минимум, он правильно почти по прямой поднимается, причем правильность увеличивается с увеличением нагрузки, что и д. б. по теории. О разнице между отдельными значениями λ по теории и по опытам Штрибека определенного ничего сказать нельзя, т. к. им не был определен коэф. k. При этом последний в опытах должен был меняться, хотя опыты и производились на определенном подшипнике, именно вследствие того, что для изменения коэф-та вязкости менялась $t°$, при изменении же $t°$ коэф. k по причине разности в коэф-тах расширения шипа и подшипника изменяется. На это обычно не обращают внимания, между тем это имеет значение, особенно при тщательно приработанных шипе и подшипнике, где коэф. $k < 0,002$.

Подобным же недостатком страдают и опыты Бюхе. Здесь для получения одного и того же коэф-та вязкости различные масла нагревались до разных $t°$ и затем определялся коэф. λ при одной и той же нагрузке и разных скоростях. Фиг. 15 опять показывает такой же характер изменения λ, какой дает ф-ла, но отдельные величины разнятся несмотря на одну и ту же вязкость. При этом мы не имеем сведений ни о характере распределения давления по оси ни о коэф-те k, к-рый в виду особенно тщательной здесь пригонки несомненно для различных $t°$ имел и различные значения. Поэтому ничего нельзя сказать о правильности объяснения этой наблюденной разности в значениях λ влиянием т. н. адсорбции, т. е. известного сгущения (или разрежения), производимого частицами метал-



Фиг. 15.

ла в смежном масляном слое. Из опытов Штрибека Гюмбель выводит соотношение, к-рым часто пользуются, именно

$$\lambda \sqrt{\frac{P}{\mu\Omega}} = \text{Const}.$$

Так как

$$\lambda = x_1 k \sin\theta_1,$$

то

$$k = \frac{\lambda}{x_1 \sin\theta_1}$$

и следовательно

$$\lambda^2 = \frac{4\pi\mu U x_1^2 \sin\theta_1}{P\sqrt{x_1^2 - 1}}$$

или

$$\lambda \sqrt{\frac{P}{4\pi\mu U}} = \sqrt{\frac{x_1^2 \sin\theta_1}{\sqrt{x_1^2 - 1}}}.$$

Полагать правую часть равенства постоянной, как делает Гюмбель, нет никаких оснований. Это значило бы (если мы возьмем x_1 сравнительно большим), что $x_1 \sin\theta_1 = \text{Const}$, т. е. $\lambda = \text{Const}$, чего разумеется ни в опытах Штрибека ни в других опытах нет. Поэтому соотношение Гюмбеля произвольно.

Мы видим из всего сказанного, что теория налагает известные требования, к-рым должны удовлетворять опыты, если они желают вполне осветить сложный вопрос о трении со смазкой. Эти требования следующие: 1) при всяком опыте д. б. известен коэф. k и, если опыты происходят при разных $t°$, должно заранее определить зависимость k от темп-р; 2) при установившемся числе оборотов д. б. определено направление линии центров и эксцентриситет или толщина слоя в самом узком месте; 3) д. б. определена зависимость угла линии центров с линией нагрузки от угловой скорости шипа, от коэф-та вязкости и возможно от величины нагрузки; 4) д. б. обеспечена однородность смазочной среды и для масляной среды устранена возможность втекания наружного воздуха; 5) при каждом опыте д. б. сохраняема постоянная $t°$; 6) размеры коэф-та k должны подходить к размерам в существующих хороших установках; 7) в каждом опыте д. б. определено распределение нагрузки по длине шипа. Тогда можно будет выяснить, какие поправочные коэф-ты д. б. введены в теоретич. ф-лы, т. к. ни одна теория не может охватить явления во всей его сложности. Заметим, что определение коэф-та трения или потерянной на трение работы дает уже при сравнении с теоретич. ф-лой в общих чертах понятие о распределении нагрузки по длине, напр. в опы-

тах Тоуера приближенно соблюдается, как мы видели, теоретич. соотношение для коэф-тов трения в зависимости от скорости; наряду с этим и распределение нагрузки по длине до известной степени подходит к теоретическому. Точно так же в кривых Штрибека (фиг. 14) лучшее согласие с теорией указывают кривые для бо́льших давлений. Следовательно в этих случаях и давление распределялось ближе к теоретич. требованиям; и действительно, если взять для его опытов $k=0{,}003$ при 30°C и данное им $\mu=0{,}0137$, подсчитать λ для средних давлений $12{,}5\cdot10^4$ и $46{,}8\cdot10^4$ при $d=0{,}07$ *м* и длине шипа $b=0{,}07$ *м*, то в первом случае получим $\lambda_{теор.}\cong0{,}026$ и $\lambda_{опыт.}=0{,}0125$, а во втором $\lambda_{теор.}\cong0{,}0073$ и $\lambda_{опыт.}=0{,}0068$, т. е. совпадение имеем во втором случае.

Схема вычисления м. б. следующая:

$$\lambda=\frac{4\pi\mu U}{Pk}\frac{x_1}{\sqrt{x_1^2-1}},$$

отсюда $\lambda>\frac{4\pi\mu U}{Pk}$. Здесь P (на единицу длины) $=46{,}8\cdot10^4 d=46{,}8\cdot10^4\cdot0{,}07$, U (1 100 об/мин.) $=4$ *м/сек*, следовательно

$$\lambda>\frac{16\pi\cdot137\cdot10^{-4}}{46{,}8\cdot10^4\cdot0{,}07\cdot3\cdot10^{-3}},$$

т. е. $\lambda>0{,}007$. Но, с другой стороны, как будет указано дальше,

$$\lambda<\sqrt{k^2+\left(\frac{4\pi\mu U}{Pk}\right)^2},$$

т. е.

$$\lambda<\sqrt{9\cdot10^{-6}+49\cdot10^{-6}},\text{ или }\lambda<0{,}0076.$$

Отсюда имеем удовлетворительное совпадение с опытной величиной. Но разумеется эти теоретич. числа гадательны, т. к. неизвестно действительное k. Не нужно думать, что только при очень длинном шипе действительность будет приближаться к теории. Наоборот, при длинном шипе возможно скорее его прогибание, и тогда распределение давления будет значительно отступать от теоретич., тогда как в недеформированном и коротком оно м. б. гораздо ближе к теории. Затем из соотношений для λ можем получить следующее: т. к.

$$\lambda=x_1k\sin\theta_1=\frac{4\pi\mu Ux_1}{Pk\sqrt{x_1^2-1}},$$

то, исключив x_1, имеем:

$$\lambda^2-k^2\sin^2\theta_1=\left(\frac{4\pi\mu U}{Pk}\right)^2$$

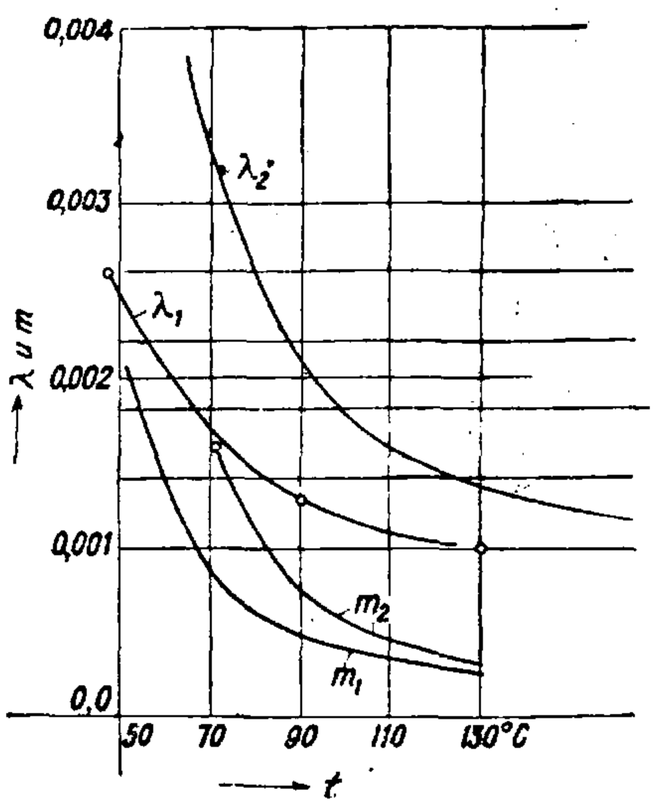
или

$$\sin^2\theta_1=\left[\lambda^2-\left(\frac{4\pi\mu U}{Pk}\right)^2\right]\frac{1}{k^2},\text{ т. е. }\frac{\lambda^2}{k^2}<1+\frac{1}{k^2}\left(\frac{4\pi\mu U}{Pk}\right)^2,$$

откуда $U>\frac{Pk}{4\pi\mu}\sqrt{\lambda^2-k^2}$. Если U этому соотношению не удовлетворяет, то будет т. н. полусухое трение, всегда ведущее к изнашиванию поверхностей шипа и подшипника. Т. о. при жидком трении k всегда меньше λ. Потерянная на трение работа и при жидком трении идет на нагревание, и можно приближенно написать

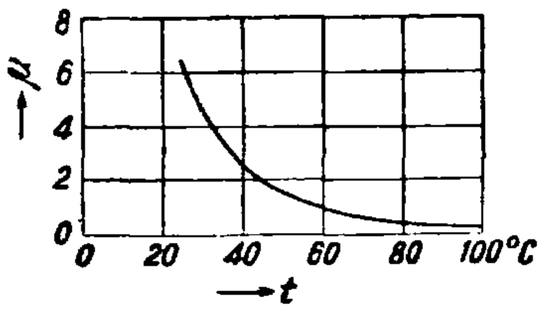
$$\frac{L}{427}=\pi Dbm(t-t_a)=\frac{PU\lambda}{427};$$

здесь D—диам. шипа, b—его длина, m—коэф. теплопередачи от подшипника в наружную среду. Если ввести $P_m=\frac{P}{Db}$, то получим $m=\frac{p_mU\lambda}{427\pi(t-t_a)}$. Здесь даны результаты опытов Стентона над изменением λ от $t°$, в зависимости от чего изменяется и коэф. теплопередачи m (фиг. 16а). Кривая λ_1 дана для подшипника с нагрузкой 175 *кг/см²* при $D=50{,}8$ *мм*, $b=57{,}15$ *мм* и $n=1\,300$ об/мин. Кривая λ_2 для того же подшипника с нагрузкой, равной 35 *кг/см²*, при той же скорости шипа. Внизу даны сравнительные величины m_1 и m_2, а на фиг. 16б—диаграмма коэфициентов μ для соответствующего масла в зависимости от $t°$; при этом коэф. дан в физич. единицах, и его нужно помножить на 0,0102 для перехода на *кг сек/м⁻²*. Кривые m_1 и m_2 даны в предположении $t°$ наружной среды в 20°; из них видно, что m падает с повышением $t°$ и стремится к независимости от нагрузки. Насколько однако это заключение м. б. общим, могут показать лишь тщательные опыты.



Фиг. 16а.

Относительно убыли смазывающего тела вследствие вытекания по краям шипа можно только дать отчет в грубом приближении. Обычно разделяют окружность подшипника на часть нагруженную (положительные давления) и часть ненагруженную (отрицательные давления). Распределение давления по длине берут простейшего вида (напр. линейное убывание давления к краям), зазор между шипом и подшипником берут средний (средняя толщина h смазочного слоя на нагруженной части) и высчитывают количество протекающей жидкости, как в трубе прямоугольного сечения с высотой h и шириной, равной части окружности, имеющей положительные давления (напр. $^1/_4$). Известная ф-ла движения вязкой жидкости дает в этом случае объем



Фиг. 16б.

$$V=\frac{1}{12}\frac{0{,}25\pi d_0(d_1-d_0)^3p}{\mu l\chi},$$

где p можно считать $=2\,p_m=\frac{2P}{bd}$, $l=\frac{1}{2}b$, d_1 и d_0—диаметры подшипника и шипа и $\chi=3{,}45$—нек-рый коэф. по Фальцу, к-рому принадлежит этот способ. Точно так же и на части с отрицательными давлениями

$$V_1=\frac{1}{12}\frac{0{,}75\pi d_0p_0(d_1-d_0)^3}{\mu l\chi_1},$$

где p_0—давление, под к-рым подается масло, а $\chi_1=1{,}74$ по Фальцу. Расход слагается из суммы этих величин. Про этот способ можно только сказать, что он прост. По существу же здесь теоретически сложная задача, и т. к. характер распределения давления по длине зависит даже от той или иной конструкции подшипника, то в общем виде эта задача и не разрешима без каких-либо б. или м. произвольных предположений. Практически она имеет лишь малое значение, т. к. вообще подача масла бывает с избытком в конструкциях хороших типов. О теории Мичеля относительно плоского трения и трения в пятах см. *Пяты*.

В заключение статьи уместным является рассмотреть в общих чертах, к каким результатам пришли после Рейнольдса исследовате-

ли, шедшие по намеченному им пути. Рейнольдс исходил разумеется также из общих ур-ий вязкой жидкости, т. е.

$$\frac{\partial p}{\partial x}=\mu\Delta u,\quad \frac{\partial p}{\partial y}=\mu\Delta v,\quad \frac{\partial p}{\partial z}=\mu\Delta w$$

и

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0.$$

В применении он принимает, что имеются две плоскости с относительным движением. Плоскости м. б. параллельными или иметь относительный небольшой наклон. Если вместо плоскостей будут кривые поверхности, то по его мнению кривизной поверхностей можно пренебречь, т. к. радиусы кривизны вообще велики сравнительно с толщиной смазывающего слоя. Пусть ось X направлена по относительному движению, ось Y перпендикулярна к плоскостям или поверхностям и ось Z перпендикулярна к оси X по поверхности; далее принимается: v (скорость по Y) мала сравнительно с u и w, изменения u и w в направлении X и Z малы сравнительно с изменениями по оси Y. Тогда для движения внутри смазывающего слоя получим ур-ия

$$\frac{\partial p}{\partial x}=\mu\frac{\partial^2 u}{\partial y^2},\quad \frac{\partial p}{\partial y}=0,\quad \frac{\partial p}{\partial z}=\mu\frac{\partial^2 w}{\partial y^2};$$

$$0=\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}.$$

Т. к. по второму из этих ур-ий p не зависит от y, то можно получить из первого и третьего

$$u=\frac{\partial p}{\partial x}\frac{1}{2\mu}y^2+by+c,\quad w=\frac{\partial p}{\partial z}\frac{1}{2\mu}y^2+b_1y+c_1,$$

где b, c и b_1 и c_1 м. б. ф-иями x и z соответственно граничным условиям. Применим эти соотношения к случаю шипа и подшипника. Ось X направим по касательной к шипу, ось Y—по радиусу и осью Z можем пренебречь, рассматривая лишь плоское движение. Граничные условия таковы: при $y=0$ $u=U$, $v=0$; при $y=h$ $u=0$, $v=0$, где U равно окружной скорости шипа и h—расстояние в направлении Y между поверхностями шипа и подшипника; это расстояние есть функция x. Отсюда определяем:

$$c=U,\quad b=-\frac{1}{2\mu}\frac{\partial p}{\partial x}h^2-\frac{U}{h},$$

и т. о.

$$u=\frac{1}{2\mu}\frac{\partial p}{\partial x}(y-h)\,y+U\left(\frac{h-y}{h}\right).$$

Условие несжимаемости дает $\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}=0$ и следовательно

$$\frac{\partial v}{\partial y}=-\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{1}{2\mu}\cdot\frac{\partial p}{\partial x}(y-h)\,y+U\left(\frac{h-y}{y}\right)\right].$$

Интегрируя по y, получаем:

$$v=-\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{1}{2\mu}\frac{\partial p}{\partial x}\left(\frac{y^3}{3}-\frac{hy^2}{2}\right)+U\left(y-\frac{y^2}{2h}\right)\right]+c_1$$

и на основании граничных условий

$$c_1=0\ \text{ и }\ 0=\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{1}{6\mu}h^3\frac{\partial p}{\partial x}\right)-U\frac{\partial h}{\partial x}.$$

Отсюда

$$h^3\frac{\partial p}{\partial x}=6\mu Uh+\text{Const}.$$

Постоянное определим, назвав через h_0 толщину слоя при $p=max$. Там $\frac{\partial p}{\partial x}=0$ и поэтому $\text{Const}=-6\mu Uh_0$. Т. о. получаем:

$$h^3\frac{\partial p}{\partial x}=6\mu U(h-h_0).$$

Переходим к полярным координатам. Пусть радиус, проведенный из центра шипа к какой-нибудь точке подшипника, образует угол φ с линией центров (длина этого вектора равна r_0+h); соединим эту же точку с центром подшипника и назовем эксцентриситет через $n\Delta$, где $\Delta=r_1-r_0$ и $n<1$. Тогда получим из тр-ка, образованного двумя векторами и эксцентриситетом:

$$r_0+h=r_1+n\Delta\cos\varphi.$$

Отсюда

$$h=\Delta(1+n\cos\varphi),$$

потом

$$x=r_0\varphi,\quad \frac{\partial p}{\partial x}=\frac{\partial p}{\partial\varphi}\cdot\frac{1}{r_0},$$

и ур-ие будет

$$\Delta^3(1+n\cos\varphi)^3\frac{\partial p}{\partial\varphi}=6r_0\mu U[\Delta(1+n\cos\varphi)-h_0].$$

Это ур-ие Рейнольдс разрешил приближенно в очень сложных рядах, потом Зоммерфельд упростил его формулы и наконец Duffing 20 лет спустя после Зоммерфельда (1924 г.) дал интеграцию его при помощи подстановки

$$\operatorname{tg}\frac{\varphi}{2}=\sqrt{\frac{1+n}{1-n}}\operatorname{tg}\frac{\eta}{2},$$

где η—новое переменное. Рассмотрим общий смысл этой подстановки. Предположим, что эксцентриситет очень мал, т. ч. можно без большой погрешности положить $\varphi\cong\theta$, где θ—угол, который делает радиус подшипника r_1, проведенный в рассматриваемую точку, с линией центров. Тогда вспомним, что

$$\cos\xi=\frac{(b+c)\cos\theta+2r_1}{2r_1\cos\theta+b+c},$$

если мы опять возьмем систему координат Неймана. Отсюда

$$\operatorname{tg}\frac{\xi}{2}=\sqrt{\frac{b+c-2r_1}{b+c+2r_1}}\cdot\operatorname{tg}\frac{\theta}{2}$$

или

$$\operatorname{tg}\frac{\theta}{2}=\sqrt{\frac{1+\frac{2r_1}{b+c}}{1-\frac{2r_1}{b+c}}}\cdot\operatorname{tg}\frac{\xi}{2}=\sqrt{\frac{1+\frac{1}{x_1}}{1-\frac{1}{x_1}}}\cdot\operatorname{tg}\frac{\xi}{2},$$

и из приближенного выражения эксцентриситета, данного выше, можем написать

$$\frac{1}{x_1}=\frac{e_0}{r_1k}=\frac{n\Delta}{r_1\frac{\Delta}{r_0}}\cong n.$$

Поэтому

$$\operatorname{tg}\frac{\theta}{2}\cong\sqrt{\frac{1+n}{1-n}}\cdot\operatorname{tg}\frac{\xi}{2}.$$

Мы видим отсюда, что преобразование Duffing'а есть скрытый переход к системе координат Неймана. Но с этого и нужно было начинать и тогда решение всего вопроса было бы поставлено на надлежащую почву. Ур-ие Duffing'а для распределения давления по подшипнику имеет такую структуру:

$$-\frac{Ap}{6\mu U}=\text{Const}+B\eta-C\sin\eta-D\sin 2\eta.$$

Оно напоминает первоначальную формулу Жуковского и Чаплыгина, но присутствие аргумента η в первой степени указывает на то, что основное ур-ие Рейнольдса не представляет движения жидкости между двумя криволинейными поверхностями. Можно поэтому не говорить больше о ф-ле Duffing'а.

Более осязательные результаты получены от метода Рейнольдса в области трения плоских поверхностей. Мичелю удалось даже решить вопрос в некоторых частных предположениях

в трех измерениях. Представим себе опять две плоскости с масляным слоем между ними, нижняя пусть совпадает с плоскостью ZOX, верхняя имеет размеры: по оси $Z-b$ и по оси $X-a$. Возьмем, как и выше, ур-ия для u и w. Для u, как и раньше, ур-ие будет

$$u=\frac{1}{2\mu}\frac{\partial p}{\partial x}(y-h)\,y+U\,\frac{(h-y)}{h};$$

для w получим на основании граничных условий

$$w=\frac{1}{2\mu}\frac{\partial p}{\partial z}(y-h)\,y,$$

если принять, что для $y=0$ и $y=h$ скорости по оси Z не существует. Подставляя значения $\frac{\partial u}{\partial x}$ и $\frac{\partial w}{\partial z}$ в условие несжимаемости, определяя $\frac{\partial v}{\partial y}$, интегрируя по y и принимая во внимание, что $v=0$ для $y=0$ и $y=h$, получим

$$U\frac{\partial h}{\partial x}=\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{h^3}{6\mu}\frac{\partial p}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{h^3}{6\mu}\frac{\partial p}{\partial z}\right).$$

Верхняя плоскость принимается слегка наклонной к нижней (угол θ); рассматривая распределение давления в слое в данный момент, мы можем всегда взять оси координат так, что $h=x\sin\theta=xc$. Но, пренебрегая координатой z, мы имеем ур-ие:

$$U\frac{dh}{dx}=\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{h^3}{6\mu}\frac{\partial p}{\partial x}\right).$$

Положим, что мы определили отсюда p в ф-ии x, и назовем его через p_1. Тогда, вычитая это ур-ие из предыдущего, получаем

$$0=\frac{\partial}{\partial x}\left(h^3\frac{\partial p_2}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(h^3\frac{\partial p_2}{\partial z}\right),$$

где $p_2=p-p_1$, причем p_1—ф-ия только x. Положив здес $h=cx$, получим:

$$\frac{\partial^2 p_2}{\partial x^2}+\frac{3}{x}\frac{\partial p_2}{\partial x}+\frac{\partial^2 p_2}{\partial z^2}=0.$$

Примем $p_2=f(x)f_1(z)$, тогда получаем

$$f''(x)f_1(z)+\frac{3}{x}f'(x)f_1(z)+f(x)f_1''(z)=0.$$

Если возьмем $f(z)$ такой, что $m^2f_1(z)=f_1''(z)$, то получим обыкновенное диференциальное ур-ие

$$\frac{d^2y}{dx^2}+\frac{3}{x}\frac{dy}{dx}+m^2y=0,$$

причем очевидно $f_1(z)=\frac{\operatorname{ch} mz}{\operatorname{sh} mz}$. Это диференциальное ур-ие решается в Бесселевых ф-иях и ведет к весьма сложным вычислениям. Но Duffing'у принадлежит весьма простой способ приближенного решения вопроса. Он пренебрегает средним членом $\frac{3}{x}\frac{\partial p_2}{\partial x}$ в основном ур-ии, т. е., другими словами, в ур-ии

$$0=\frac{\partial}{\partial x}\left(h^3\frac{\partial p_2}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(h^3\frac{\partial p_2}{\partial z}\right)$$

пренебрегает малым наклоном плоскостей, считая $h=\text{Const}$. Тогда для p_2 получим ур-ие:

$$\frac{\partial^2 p_2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 p_2}{\partial z^2}=0.$$

Примем, что подвижная пластинка симметрично расположена относительно плоскости YOX, так что в направлении оси Z имеет измерения $\pm b$; примем также симметричное относительно средней линии пластинки распределение давления, тогда для p_2 получим:

$$p_2=\Sigma A_m\operatorname{ch} mz\,(c\sin mx+c'\cos mx).$$

Граничные условия $p_2=0$ при $x=x_0$ и $x=x_0+a=x_2$. Поэтому имеем:

$$0=\begin{vmatrix}\sin mx_0, & \cos mx_0\\ \sin mx_2, & \cos mx_2\end{vmatrix}=\sin m(x_0-x_2)=-\sin ma.$$

Отсюда $m=\frac{n\pi}{a}$, где n—целое число, и т. о.

$$p_2=\Sigma A_n\operatorname{ch}\frac{n\pi z}{a}\sin\frac{n\pi(x-x_0)}{a}.$$

Потом граничное условие $p=0$ при $z=\pm b$ дает $p_2=-p_1$ при $z=\pm b$, поэтому

$$-p_1=\Sigma A_n\operatorname{ch}\frac{n\pi b}{a}\sin\frac{n\pi(x-x_0)}{a}$$

и следовательно нужно определить p_1. Имеем

$$h^3\frac{dp_1}{dx_1}=6\mu U(h-h_0),$$

положив $h=cx$ и $h_0=cx_1$, получим

$$p_1=\frac{6\mu U}{c^2}\left(-\frac{1}{x}+\frac{cx_1}{2x^2}+\text{Const}\right),$$

но $p_1=0$ при $x=x_0$ и $x=x_0+a=x_2$; отсюда

$$x_1=\frac{2x_0(x_0+a)}{c(2x_0+a)}\quad\text{и}\quad\text{Const}=\frac{1}{2x_0+a},$$

т. е.

$$p_1=\frac{6\mu U}{c^2}\left(-\frac{1}{x}+\frac{x_0(x_0+a)}{(x_0+a)x^2}+\frac{1}{2x_0+a}\right).$$

Теперь поступаем так: взявши измерения пластинок b и a, вычерчиваем диаграмму p_1 и представляем p_1 рядом Фурье. Для определения коэф-тов ряда имеем известное соотношение:

$$A_n\operatorname{ch}\frac{n\pi b}{a}=\frac{2}{a}\int_0^a-p_1\sin\frac{n\pi(x-x_0)}{a}\,dx.$$

При этом интеграл легко м. б. определен графически при известных нам значениях p_1. Достаточным при этом оказывается взять небольшое число членов ряда (4—6). Таким путем определим коэф-ты A_n, потом получим

$$p=\Sigma A_n\left(\operatorname{ch}\frac{n\pi z}{a}-\operatorname{ch}\frac{n\pi b}{a}\right)\sin\frac{n\pi(x-x_0)}{a}.$$

Суммарное давление будет

$$P=2\int_{x_0}^{x_0+a}dx\int_0^b p\,dz=$$

$$=2ab\Sigma\frac{A_n}{n\pi}\cdot(1-\cos n\pi)\left(\frac{a}{bn\pi}\operatorname{sh}\frac{n\pi b}{a}-\operatorname{ch}\frac{n\pi b}{a}\right).$$

Сопротивление скольжению на единицу поверхности равно

$$-\mu\left(\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)=-\mu\left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)_{y=0}=\mu\frac{U}{h}-\frac{\partial p}{\partial x}\frac{h}{2}.$$

Полное сопротивление выразится

$$R=2\int_{x_0}^{x_0+a}dx\int_0^b\mu\left(\frac{U}{h}-\frac{\partial p}{\partial x}\frac{h}{2}\right)dz=$$

$$=2\int_{x_0}^{x_0+a}\mu\frac{U}{cx}b\,dx-2\int_{x_0}^{x_0+a}\int_0^b\frac{\partial p}{\partial x}\frac{cx}{2}\,dx\,dz=$$

$$=\frac{2b\mu U}{c}\ln\frac{x_0+a}{x_0}-2\int_0^b\left[\Big|_{x_0}^{x_0+a}\left(\frac{cx}{2}\cdot p\right)-\frac{c}{2}\int_{x_0}^{x_0+a}p\,dx\right]=dz=$$

$$=\frac{2b\mu U}{c}\ln\frac{x_0+a}{x_0}+\frac{c}{2}P,$$

так как вставка по граничным условиям пропадает. Коэфициент трения дается отношением $\frac{R}{P}$.

Н. Мерцалов.

Сухое трение. Шероховатости, пыль, вода, смазка и пр., находящиеся на взаимно скользящих поверхностях, обусловливают возникновение сопротивления скольжению, называемого силой трения. Для чистых сухих поверхностей при отсутствии воздушной смазки в довольно широких пределах изменения скоростей и удельных давлений сила трения подчиняется закону Кулона, к-рый состоит в следующем:

1) сила трения пропорциональна нормальному усилию между поверхностями, 2) не зависит от величины соприкасающихся поверхностей, т. е. от величины удельного давления, 3) не зависит от скорости скольжения, 4) зависит от материала и состояния поверхностей. Коэф. пропорциональности между силой трения T и нормальным давлением N носит название коэф. трения (f), следовательно $T = fN$. Различное физич. состояние трущихся поверхностей вызывает однако отступления от закона Кулона, к-рые состоят в следующем. 1) В начальный момент движения коэф. трения покоя (f_0) в 1,5—2 раза больше коэф. трения движения. Табл. 2 иллюстрирует

Табл. 2.—Коэфициенты трения скольжения.

Материалы	Покоя			Движения		
	Сухо	Смочено	Слегка смазано	Сухо	Смочено	Слегка смазано
Дуб по дубу, волокна ∥	0,62	—	0,11	0,48	—	0,075
» » » торцами	0,54	0,71	—	0,34	—	—
» » » волокна ⊥	0,43	—	—	0,19	—	—
Бронза по дубу	0,62	—	—	0,24—0,21	—	—
Чугун по дубу	—	0,65	—	0,5—0,3	0,22	0,1
Кожа по дубу	0,6—0,5	—	—	0,5—0,3	—	—
» » чугуну	—	0,38	0,28	0,56	0,36	—
Дерево по металлу	0,6	0,65	0,11	0,40	0,24	0,10
Сталь по стали	0,15	—	0,12—0,11	0,09 при $v=3$ м/сек; 0,03 при $v=27$ м/сек		
Сталь по фосфористой бронзе						
1) плоские поверхности	0,11	—	0,098	0,105	—	0,032
2) цилиндрич. поверхности	0,169	—	0,16—0,13	0,162	—	0,15—0,1
Сталь по сварочному железу	0,13	—	0,11	—	—	0,10—0,08
Сталь по чугуну	0,33	—	—	0,27 при $v=2,2$ м/сек; 0,13 при $v=20$ м/сек		
Чугун по чугуну	—	—	0,16	—	0,31	0,10—0,08
Чугун по сварочному железу	0,19	—	—	0,18—0,17	—	0,08—0,07
Чугун по бронзе	—	—	—	0,20—0,5	—	0,08—0,07
Бронза по бронзе	—	—	0,11	0,20	0,10	0,06
Пеньковый канат						
1) по необработ. дереву	0,5	—	—	—	—	—
2) по полированному дереву	0,33	—	—	—	—	—
Каменная кладка						
по камню	0,5—0,7	—	—	—	—	—
» железу	0,42—0,19	—	—	—	—	—
» дереву	0,46—0,60	—	—	—	—	—
» бетону	0,76	—	—	—	—	—
» растит. земле		сухой 0,65, сырой и глинистой 0,30				
Сталь по льду	0,027	—	—	0,014	—	—

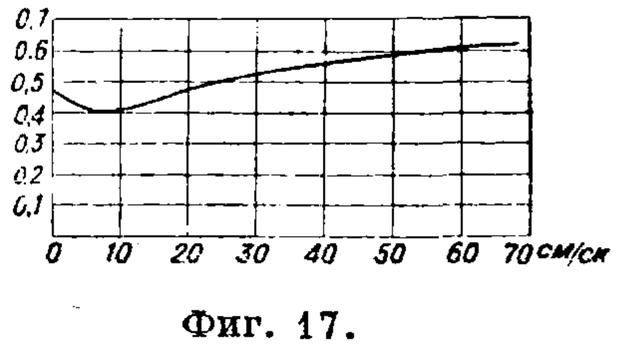
величину коэфициентов f_0 и f для различных материалов при различном состоянии поверхностей. 2) С возрастанием уд. давления коэфициент трения увеличивается. Это отступление подтверждается табл. 3.

Табл. 3.—Зависимость коэфициента трения от давления.

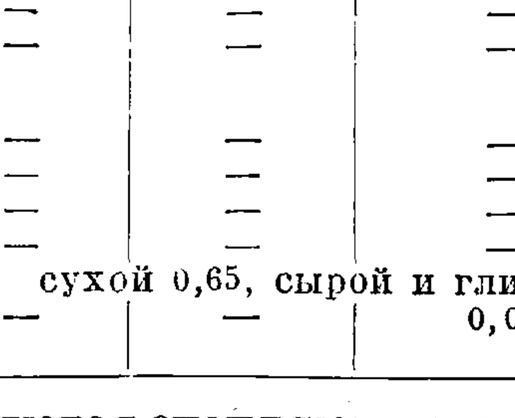
Удельное давление, кг/см²	*1	*2	*3	*4
8,79	0,140	0,174	0,166	0,157
13,08	0,250	0,275	0,300	0,225
15,75	0,271	0,292	0,333	0,219
20,95	0,297	0,329	0,341	0,211
26,22	0,350	0,351	0,351	0,206
31,51	0,395	0,365	0,351	0,208
36,77	0,409	0,366	0,357	0,223
44,58	*5	0,367	0,367	0,235
49,92	—	0,434	*5	0,231
57,65	—	*5	—	0,273

*1 Сварочное железо по сварочному железу. *2 Чугун по сварочному железу. *3 Сталь по чугуну. *4 Бронза по стали. *5 Поверхности повреждены.

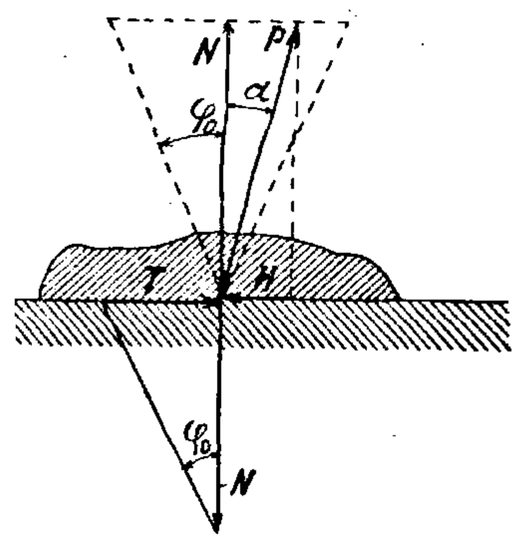
3) При постоянстве давления имеет место минимум коэф. трения, зависящий от скорости v. Этот минимум представлен на диаграмме фиг. 17 для чугуна по чугуну при $p = 2{,}9$ кг/см². Чем больше уд. давление, тем большей скорости соответствует минимум коэф. трения. Поэтому в сильных колодочных тормозах, работающих в области влево от минимума, сила трения будет тем больше, чем меньше скорость скольжения колодок по ободу колеса и самих колес по рельсам. 4) При тщательной обработке трущихся поверхностей при соприкосновении их проявляются сцепляющие молекулярные силы, значительно бо́льшие, нежели вызываемые атмосферным давлением силы трения. Это отступление обнаруживается на точных калибрах-плитках Иогансона, к-рые, будучи приставлены один к другому, образуют сплошную линейку.



Фиг. 17.



Фиг. 18.



Фиг. 19.

Если представить коэф. трения в виде тангенса нек-рого угла φ (фиг. 18), называемого углом трения, т. е. положить $f = \operatorname{tg}\varphi$, то

$$T = N \operatorname{tg}\varphi.$$

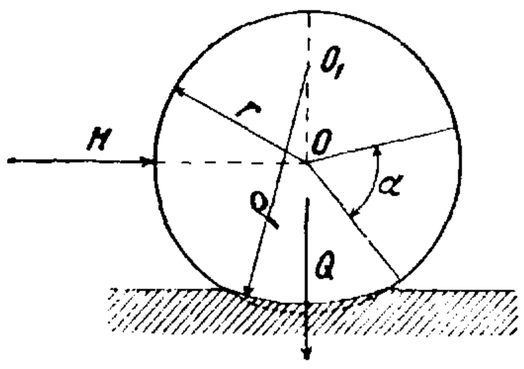
Из этого соотношения следует, что: 1) равнодействующая нормального давления и силы трения, действующих на движущееся тело, отклоняется от нормали на угол трения φ, 2) тело не

сможет выйти из состояния покоя независимо от величины внешней силы P, если последняя приложена к телу под углом α к нормали, меньшим φ_0. В этом случае (фиг. 19) очевидно, что движущая сила H меньше силы трения T, т. к.

$$H = P\cos\alpha = N\operatorname{tg}\alpha < N\operatorname{tg}\varphi_0.$$

Здесь имеет место явление самоторможения, к-рым широко пользуются в машиностроении—в болтовых и клиновых соединениях, в домкратах, в червячных грузоподъемных блоках. Конус с углом при вершине $2\varphi_0$, описанный вокруг нормали к поверхности скольжения, называется конусом трения.

Стремление к устранению непостоянства коэф. трения скольжения и его вредного действия вызывает замену трения скольжения (первого рода) трением катания (второго рода). Эта замена повела к изобретению и многообразному конструированию *шариковых и роликовых подшипников* (см.). Сопротивление катанию зависит от деформации соприкасающихся поверхностей и м. б. приведено также к силам трения скольжения. Эта мысль, высказанная Рейнольдсом, элементарно приводит к следующей аналитич. зависимости. Предположим, что шарик или ролик находится под нагрузкой Q и что вследствие деформаций, не выходящих за предел упругости, радиус кривизны r его опорной поверхности увеличивается до величины ϱ, к-рая остается постоянной за все время перекатывания (фиг. 20). Если шарик повернулся на угол α, то путь, пройденный центром его, равен $s_1 = r\alpha$. Но т. к. действительным радиусом качения является ϱ, то при отсутствии скольжения путь центра шарика должен бы равняться $s_2 = \varrho\alpha$. Следовательно путь скольжения шарика



Фиг. 20.

$$s_2 - s_1 = (\varrho - r)\,\alpha.$$

Называя коэф. скольжения между поверхностями через f_1, находим силу трения по Кулону $T = Qf_1$ и работу трения

$$A_1 = Qf_1(s_2 - s_1) = Qf_1(\varrho - r)\,\alpha.$$

Горизонтальная сила H, производящая перекатывание шарика, совершает за это же время работу

$$A_2 = Hs_1 = Har.$$

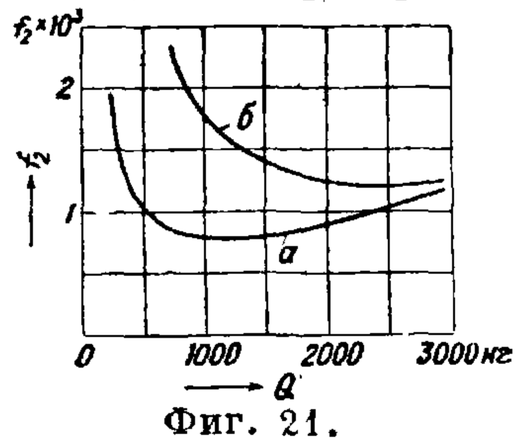
Т. к. $A_1 = A_2$, то момент сопротивления при катании равен

$$M = Hr = Qf_1(\varrho - r).$$

Коэф. $f_2 = f_1(\varrho - r)$ называется коэф. трения катания. Он является величиной именованной, измеряемой обычно в *см*. Этот коэф. очевидно тем меньше, чем меньше коэф. трения скольжения f_1 и чем меньше изменение радиуса кривизны $\Delta r = \varrho - r$. Следовательно для уменьшения трения при катании необходимы хорошо обработанные поверхности и твердые материалы. Что касается числового значения коэф. f_2, то по опытам Штрибека он уменьшается с возрастанием нагрузки и очень мало меняется с увеличением числа оборотов. Предельные значения, полученные им при испытании двух однорядных шариковых элементов для вала диам. 70 *мм* с диаметром шариков $d = 7/8''$, даны в табл. 4. На фиг. 21 представлены кривые изменения коэф. трения катания по опытам Симанского (Германия). Кривая *а* относится к однорядному шариковому элементу, кривая *б*—к двухрядному. По диаграмме видно, что при нек-рой нагрузке имеет место минимум коэф. трения катания и что однорядный шарикоподшипник выгоднее двухрядного. Смазка шарикового подшипника не уменьшает коэф. трения катания, наоборот, густые и вязкие масла способствуют увеличению сопротивления катанию. Если шариковые и роликовые подшипники смазываются, то гл. обр. для того, чтобы предупредить образование ржавчины и поддерживать весь шариковый элемент в чистом отполированном виде. При работе шариков во влажном и пыльном воздухе употребляются смазочные мази, которыми следует полностью, но не плотно заполнить весь подшипник. При сравнении подшипников шариковых с подшипниками скользящего трения можно отметить следующие преимущества первых: 1) уменьшение вредного сопротивления, 2) трение при пуске в ход и в работе почти постоянно, 3) меньший расход смазочных материалов, 4) меньшие размеры подшипника, 5) чистота и легкость ухода.

Табл. 4.—Зависимость коэфициента трения катания от нагрузки и числа об/мин.

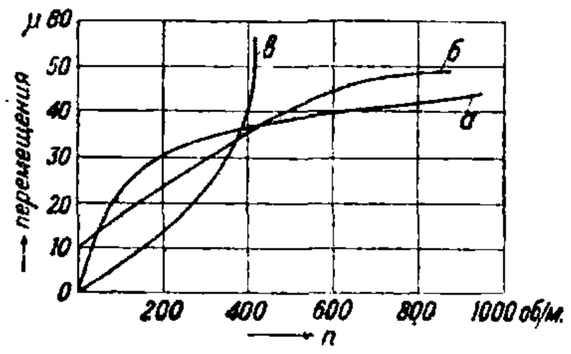
Нагрузка, *кг*	при 65 об/мин.	при 780 об/мин.
380	0,0033	0,0037
3 000	0,0015	0,0013



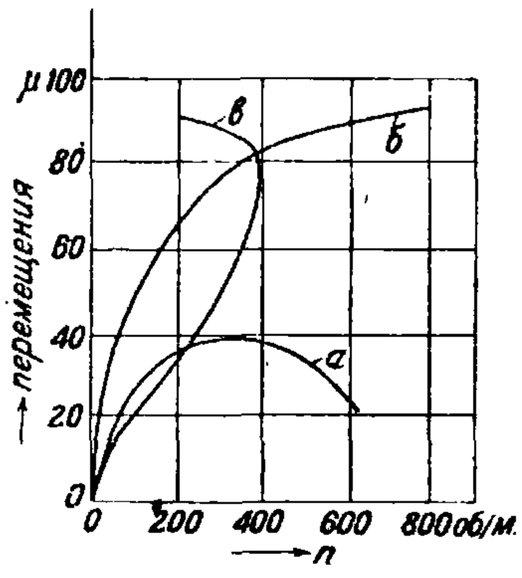
Фиг. 21.

Трение в машинах. Для уменьшения работы трения шипа по подшипнику поверхности их подвергают смазке. *Смазочное масло* (см.) должно иметь *вязкость* (см.), отвечающую давлению, числу оборотов и темп-рным условиям работы подшипника. Вкладыши подшипника д. б. пришабрены к шипу, т. к. весь успех смазки зависит от относительного зазора $k = \frac{r_1 - r_0}{r_1}$ между подшипником (диам. $2r_1$) и шипом (диам. $2r_0$). В первый период вращения шипа имеет место приработка его к подшипнику, что сопровождается сухим трением вследствие наличия неровностей на соприкасающихся поверхностях. При этом шип несколько приподнимается, накатываясь на поверхность подшипника (вправо при вращении по часовой стрелке). Затем с возрастанием числа оборотов наступает период полужидкостного трения—поверхности соприкасаются лишь своими неровностями, в углубления к-рых проникает смазка. Движение вала приобретает дрожащий и неустойчивый характер. Масло, увлекаемое шипом, отделяет его наконец от подшипника, и между ними сохраняется при установившемся движении смазочная пленка. Наступает период жидкостного трения. Центр шипа смещается при этом влево. С возрастанием числа оборотов при постоянстве всех прочих условий центр шипа перемещается по нек-рой кривой, стремясь к совпадению с центром подшипника при $n = \infty$. На фиг. 22 кривая *а* представляет (в μ) боковые перемещения центра шипа, кривая *б*—вертикальные. По ним построена траектория центра шипа—кривая *в*. Кривые относятся к шипу $d = 65$ *мм*, $l = 250$ *мм* при удельном давлении $p_0 = 1$ *кг/см²* и при керосиновой смазке; на фиг. 23 даны кривые для того же

шипа при смазке минеральным маслом. Для практического использования гидродинамической теории смазки в том виде, как она развита проф. Н.И. Мерцаловым, необходимо для определенности расчета подшипника знать хотя бы приближенное очертание этой траектории. За таковую наиболее удобно принять полуокружность



Фиг. 22.



Фиг. 23.

с диаметром $r_1 - r_0 = kr_1$, соединяющим центры шипа O и подшипника O_1 при крайнем нижнем положении шипа. Тогда при любом положении (фиг. 24) эксцентриситет e_0 и угол θ_1 будут связаны зависимостью

$$e_0 = (r_1 - r_0)\cos\theta_1 = r_1 k \cos\theta_1.$$

Пренебрегая за малостью k величиной $2k$, сравнительно с единицей, имеем (см. ст. 829)

$$e_0 = \frac{kr_1}{x_1(1+2k)} \cong \frac{kr_1}{x_1},$$

вследствие чего

$$\sin\theta_1 = \sqrt{1 - \left(\frac{e_0}{r_1 k}\right)^2} = \frac{\sqrt{x_1^2 - 1}}{x_1}.$$

Выражение давления, перпендикулярного линии центров, преобразуется тогда в

$$P_1 = \frac{4\pi\mu U x_1}{k^2(x_1^2 - 1)}.$$

При переводе P_1 *кг/м*, представляющего собой нагрузку на 1 *м* длины подшипника, в удельные давления на 1 *м*^{2} проекции поверхности шипа получаем

$$P_1 = 2r_0 p,$$

где P—ординаты давления, распределенного равномерно в средней части подшипника. Т. к. по направлению к концам подшипника давления падают до нуля, то в дальнейшем необходимо ввести поправочный коэф. β:

$$p = p_0 \beta,$$

где p_0—среднее давление, равномерно распределенное по всей длине подшипника, с к-рым обычно приходится иметь дело в технич. расчетах. Проверка теории на основании имеющихся опытов позволяет принять этот коэф. равным

$$\beta = \frac{l + 1d}{l},$$

где l—длина, а d—диам. шипа.

Выражая далее окружную скорость шипа через число оборотов, т. е.

$$U = \frac{2\pi r_0 n}{60},$$

получим

$$p_0 = \frac{\pi^2 \mu n x_1}{15\beta k^2(x_1^2 - 1)} = 0{,}658\,\frac{\mu n x_1}{\beta k^2(x_1^2 - 1)}. \qquad (9)$$

Путем тех же упрощений и преобразований выражение коэф. трения обращается в

$$\lambda = 0{,}658\,\frac{\mu n x_1}{\beta p_0 k\sqrt{x_1^2 - 1}} \qquad (10)$$

и далее, как выведено на ст. 848,

$$\lambda = k\sqrt{x_1^2 - 1}. \qquad (11)$$

Приравнивая правые части (10) и (11), приходим к ур-ию

$$x_1^2 - 0{,}658\,\frac{\mu n}{\beta p_0 k} \cdot x_1 - 1 = 0,$$

к-рое определяет x_1:

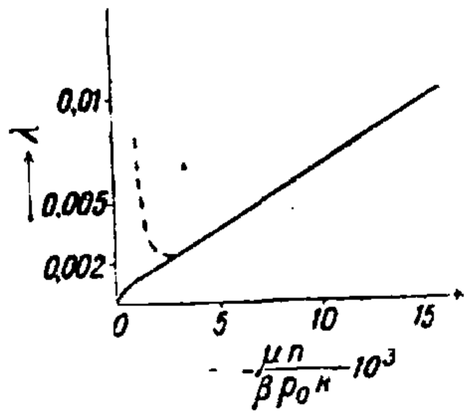
$$x_1 = 0{,}329\,\frac{\mu n}{\beta p \cdot k} + \sqrt{\left(0{,}329\,\frac{\mu n}{\beta p_0 k}\right)^2 + 1}.$$

Коэф. x_1 можно выразить также через наименьшую толщину зазора (смазочной пленки) h, т. е.

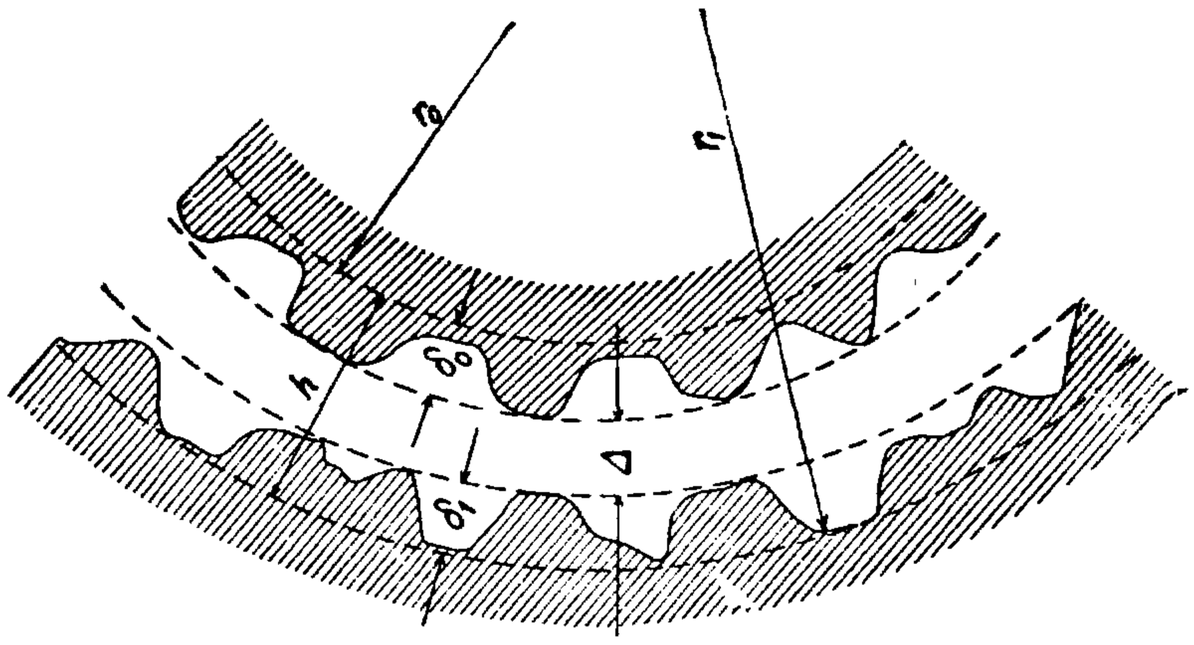
$$x_1 = \frac{kr_1}{l_0} = \frac{kr_1}{kr_1 - h}. \qquad (12)$$

Очевидно, что, чем меньше h, тем ближе x_1 к единице и тем меньше на основании (11) коэф. трения λ, приближающийся к нулю. Практически однако λ не достигает нуля, т. к. с приближением поверхности шипа к поверхности вкладыша наступают явления, не учтенные теорией, — вихревые движения в смазочном слое, трение пограничных слоев, к-рое имел еще в виду Петров, и наконец полужидкостное трение, переходящее в сухое. На фиг. 25 показан ход изменения коэф. λ при $k = \frac{1}{500}$ и различных значениях $\frac{\mu n}{\beta p_0 k}$, причем пунктирная кривая намечает возрастание λ при переходе предельного значения. Итак, для минимума λ необходимо иметь в самом узком месте зазора наименьший смазочный слой. Величина последнего зависит от обработки шипа и вкладыша. Как бы тщательно ни велась обработка, на их поверхностях всегда останутся мельчайшие выступы и впадины. При продолжительной приработке шип снашивается на среднюю толщину выступов его δ_0 до диаметра $2r_0$ (фиг. 26), а у подшипника

Фиг. 24.



Фиг. 25.



Фиг. 26.

снашиваются выступы δ_1 и диам. его обращается в $2r_0$. Таким образом минимальная толщина смазочного слоя, необходимая, чтобы соответствующие выступы при сохранении смазки между ними не задевали друг друга, равна $h = \delta_1 + \delta_0$. Табл. 5 характеризует толщину выступов (по наблюдениям проф. Брандта) для обработанных поверхностей изделий из мартеновской стали.

Табл. 5. — Вышина выступов δ для различных способов обработки (в *мм*).

Обточенная	0,03—0,04
» и шлифован. полуличной пилой	0,02—0,03
» » » личной »	0,01—0,02
Чистообточенная и шлифованная наждачным полотном № 1	0,006—0,007
Чистообточенная и шлифованная наждачным кругом	0,004—0,005
Обработанная чистовым резцом и шлифованная наждачным полотном № 00 (или закаленная и шлифованная)	0,003—0,004
Плоская поверхность, чисто пришабренная по чугунной плите	0,001—0,003
Плоская поверхность, закаленная и весьма чисто притертая по чугунной плите	ок. 0,0001
Для опорной поверхности чугунных подшипников, обработанных разверткой	0,005
Для бронзовых вкладышей, пришабренных по калибру, с диам, соответствующим диам. подшипника, а также выглаженных, уплотненных и притертых	0,005
Для чисто сверленых вкладышей из белого металла	0,015
Для бронзовых при той же обработке	0,02
Обычная обработка резанием на различных станках больших изделий	0,09
Обычная обработка резанием на различных станках малых изделий	0,03
Тонкая обработка резанием больших изделий	0,05
Тонкая обработка резанием малых изделий	0,01
Нормальная шлифовка и тонкое развертывание дыр	0,005
Тонкая шлифовка	0,002
» » и полировка закаленных поверхностей	0,001

При одной и той же обработке поверхности шипа получаются чище опорной поверхности подшипника. На основании этих данных наименьшая толщина смазочного слоя, напр. для поверхности шипа, обработанного личной пилой, и чисто сверленых бронзовых вкладышей, равна при нек-ром запасе $\Delta = 0{,}005$ *мм*

$$h = \delta_0 + \delta_1 + \Delta = 0{,}015 + 0{,}02 + 0{,}005 = 0{,}04 \text{ мм}.$$

Считая в дальнейшем h величиной постоянной, найдем необходимый относительный зазор k, исходя из минимального значения коэф-та трения. Ф-ла (11) на основании (12) преобразовывается в

$$\lambda = k\sqrt{\left(\frac{kr_1}{kr_1-h}\right)^2 - 1} = \frac{k}{kr_1-h}\sqrt{2kr_1h - h^2}.$$

Согласно этой зависимости на фиг. 27 представлен ход изменения λ в зависимости от величины k при $h = 0{,}04$ *мм* и $r_1 = 50$ *мм*. Производная λ по k дает

$$\frac{d\lambda}{dk} = \frac{(kr-h)-r_1k}{(kr_1-h)^2}\sqrt{2kr_1h - h^2} + \frac{k}{kr_1-h}\cdot\frac{r_1h}{\sqrt{2kr_1h-h^2}},$$

а условие минимума приводит к зависимости

$$2kr_1h - h^2 - kr_1(kr_1 - h) = 0$$

или

$$k^2 - 3\frac{h}{r_1}k + \frac{h^2}{r_1^2} = 0,$$

откуда

$$k = \frac{h}{r_1}\,\frac{3+\sqrt{5}}{2} = 2{,}618\,\frac{h}{r_1}. \qquad (13)$$

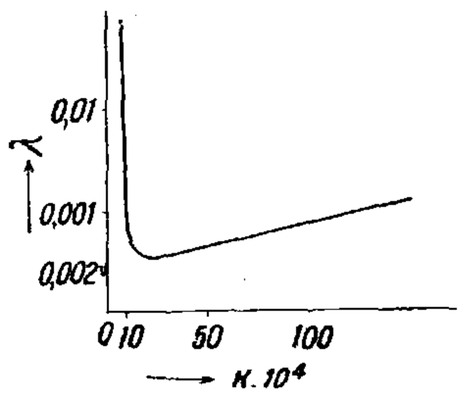
По этому значению и следует вести расчет подшипника. Зная наивыгоднейшее k, находим соответствующее x_1:

$$x_1 = \frac{kr_1}{kr_1-h} = \frac{2{,}618h}{2{,}618h-1} = 1{,}618,$$

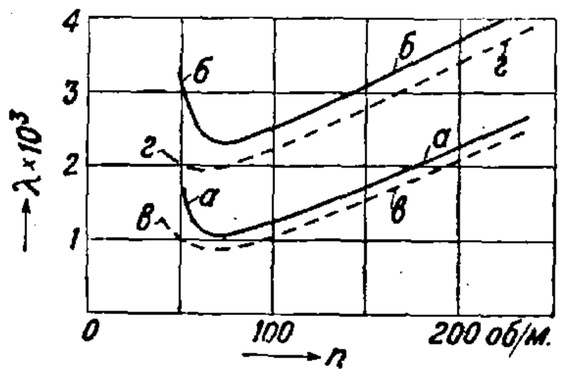
а по нему наименьшее значение коэф. трения, к-рое можно назвать конструктивным минимумом трения,

$$\lambda = k\sqrt{x^2-1} = k\sqrt{1{,}618^2-1} = 1{,}272k. \qquad (14)$$

Т. о. конструктивный минимум λ зависит исключительно от геометрических размеров: диаметра шипа и подшипника, т. е. от их относительного зазора, причем последний зависит от выбранной наименьшей толщины смазочного слоя. Хотя эти выводы и являются следствием нек-рых приближений, внесенных в строгую теорию трения смазочного слоя, но они хорошо подтверждаются опытами Е. Шнейдера, к-рый определял коэф. трения при смазке, содержащей 2% (по объему) примеси коллоидального графита—препарата «Коллаг». Вследствие осаждения частиц графита между выступами поверхности шипа и вкладыша последние несколько заглаживаются, что приводит к меньшему значению минимального h. А т. к. при этом уменьшается k, то согласно (14) уменьшается и λ несмотря на повышение вязкости смазки вследствие графитовой добавки. Результаты опытов представлены на фиг. 28. Кривая a дает изменение λ при расходе смазки 200 *см³/час*, кривая



Фиг. 27.



Фиг. 28.

$б$—при расходе, в 20 раз меньшем,—ему и соответствуют большие значения λ. Прибавка графита дает соответственно кривые $в$ и $г$, лежащие ниже кривых $а$ и $б$. Как видно из фиг. 28, прибавка графита является особенно полезной при малых числах оборотов и плохой смазке, когда выступают явления полужидкостного трения. Последние всегда наблюдаются в период разгона машин и при трогании с места подвижного состава. Присадка графита является т. о. средством к уменьшению большого начального сопротивления движению, что должно иметь особое значение в железнодорожном деле. Отметим попутно, что общепринятая в Германии гидродинамич. теория трения проф. Гюмбеля находится в полном противоречии с только что рассмотренными опытами. По Гюмбелю коэф. трения равен

$$\lambda = 3{,}8\sqrt{\frac{\mu\omega}{p_0}}.$$

Следовательно повышению вязкости смазки от прибавки графита должно соответствовать возрастание λ, а изменение коэф. трения должно происходить по закону параболы. Но ни то ни другое кривые фиг. 28 не обнаруживают. При найденных значениях x_1 и k зависимость (9) обращается в

$$p_0 = 0{,}658\,\frac{\mu n \cdot 1{,}618}{\beta k^2(1{,}618^2-1)} = 0{,}658\,\frac{\mu n}{\beta k^2}. \qquad (15)$$

Минимум коэф. трения отчетливо получился в опытах Штрибека, где он оставался постоянным и независимым от числа оборотов и давления (фиг. 14). Штрибек не приводит ни относительного зазора в своем испытуемом подшипнике Селлерса с диам. $d = 70$ *мм* и рабочей длиной $l = 230$ *мм* ни вязкости смазки. Однако и то и другое легко вычисляются по ф-лам (14) и (15). В этих опытах минимум трения установился равным $\lambda = 0{,}0035$, следовательно относительный зазор подшипника

$$k = \frac{\lambda}{1{,}272} = \frac{0{,}0035}{1{,}272} = 0{,}00275 = \frac{1}{334}.$$

Ряд кривых дает этот минимум при среднем

отношении числа оборотов к давлению $\frac{n}{p_0}=8$, где p_0 взято в *кг/см²*. Следовательно вязкость смазки при постоянной $t°$ опыта 25° и поправочном коэф-те

$$\beta=\frac{230+4\cdot 70}{230}\cong 2{,}22$$

равна

$$\mu=\frac{\beta p_0 h^2}{0{,}658\,n}=\frac{2{,}22\cdot 10\,000}{0{,}658\cdot 8\cdot 334^2}=0{,}0288\ кг\ ск/м^2.$$

Однако совершенно недопустимое устройство смазочных канавок на опорной поверхности вкладыша подрывает ценность опытного материала Штрибека и не позволяет на его коэф. трения проверить ф-лы теории. Более совершенные опыты Лаше с подшипниками $d=200$ *мм*, $l=400$ *мм*, $k=\frac{17}{10\,000}$ при $U=30$ *м/ск* (что соответствует $n=2\,860$ об/мин.), коэф. вязкости $\mu=0{,}001$*кг ск/м²*, $p_0=6{,}5$ *кг/см²* дали коэф. трения $\lambda=0{,}006$. Поправочный коэф. при этом равен $\beta=\frac{40+4\cdot 20}{40}=3$. Значение x_1:

$$x_1=\frac{0{,}329\cdot 0{,}001\cdot 2\,860}{3\cdot 3{,}5\cdot 10^4\cdot 17^2\cdot 10^{-8}}+$$

$$+\sqrt{1{,}69^2+1}=1{,}69+1{,}96=3{,}65,$$

чему соответствует коэф. трения

$$\lambda=k\sqrt{x_1^2-1}=\frac{17}{10\,000}\sqrt{3{,}65^2-1}=$$

$$=\frac{17}{10\,000}\,3{,}51=0{,}00597.$$

Совпадение вычисленного коэф. с опытным прекрасное. Применим найденные ф-лы к расчету подшипника при $d=2r_1=100$ *мм* с наименьшей толщиною смазочного слоя, взятой в качестве примерной выше:

$$h+\delta_0+\delta_1+\Delta=0{,}015+0{,}02+0{,}005=0{,}04\ мм.$$

Исходя из условия конструктивного минимума трения, найдем необходимый относительный зазор

$$k=2{,}618\,\frac{h}{r_1}=2{,}618\,\frac{0{,}04}{50}=0{,}0021=\frac{1}{476}.$$

Т. к. наибольший эксцентриситет при этом $e=r_1-r_0=kr_1=2{,}618\,h=2{,}618\cdot 0{,}04=0{,}105$ *мм*, то диаметр шипа

$$d_0=d_1-2e=100-0{,}21=99{,}79\ мм.$$

На поверхности шипа и подшипника с размерами d_0 и d_1 нужно смотреть, как на идеально гладкие. Действительные размеры диаметра шипа d_0' и подшипника d_1', получаемые при измерении с учетом выступов, равны:

$$d_0'=2r_0+2\delta_0=99{,}79+2\cdot 0{,}015=99{,}82\ мм,$$

$$d_1'=2r_1-2\delta_1=100-0{,}04=99{,}96\ мм.$$

Расчет несколько меняется, если приходится исходить из действительного размера диаметра шипа. Пусть $d_0'=100$ *мм*. Т. к. $r_0=r_0'-\delta_0$ и $r_1=\frac{r_0'-\delta_0}{1-k}$, то теоретический относительный зазор

$$k=2{,}618\,\frac{h(1-k)}{r_0'-\delta_0}\quad\text{или}\quad k=\frac{2{,}618\,h}{(r_0'-\delta_0)+2{,}618\,h}.$$

Числовой подсчет дает

$$k=\frac{2{,}618\cdot 0{,}01}{50-0{,}015+2{,}618\cdot 0{,}01}=0{,}00206=\frac{1}{485}.$$

Действительный радиус подшипника при этом

$$r_1'=\frac{r'-\delta_0}{1-k}-\delta_1=\frac{49{,}985\cdot 485}{484}-0{,}02=$$

$$=50{,}09-0{,}02=50{,}07\ мм,$$

а действительный относительный зазор

$$k'=\frac{r'-r_0'}{r_1'}=\frac{0{,}07}{50{,}07}=\frac{1}{715}.$$

Связь между идеальным и действительным относительным зазором устанавливается равенством

$$k=k'+\frac{\delta_0+\delta_1}{r_1'}.$$

Пусть далее даны нагрузка на подшипник $Q=2\,000$ *кг* и число оборотов вала $n=400$ об/мин. Имея в виду в качестве смазки масло «машинное 2» (ОСТ 274), зададимся абсолютной вязкостью $\mu=0{,}003$ *кг ск/м²*, что несколько ниже вязкости этого масла при $t°=50°$. Т. к. расчет ведется при условии конструктивного минимума трения, то, пользуясь ф-лой (7), находим при найденном ранее k допускаемое удельное давление, оставляя пока неопределенной поправку

$$\frac{P}{\beta}=P_0=0{,}658\,\frac{\mu n}{\beta k^2}=\frac{0{,}003\cdot 400\cdot 176^2}{\beta}=$$

$$=\frac{177\,000}{\beta}\ кг/м^2\quad\text{или}\quad p_0=\frac{p}{\beta}=\frac{17{,}7}{\beta}\ кг/см^2.$$

Длина подшипника

$$l=\frac{Q}{p_0 d_0}=\frac{Q\beta}{p d_0}=\frac{Q(l+4d_0)}{p d_0 l}$$

определяется из ур-ия

$$l^2-\frac{Q}{p d_0}\,l-4\,\frac{Q}{p}=0$$

равной

$$l=\frac{Q}{2p d_0}+\sqrt{\left(\frac{Q}{2p d_0}\right)^2+4\,\frac{Q}{p}}=5{,}65+$$

$$+\sqrt{31{,}92+226{,}0}=21{,}65\cong 22\ см,$$

причем среднее удельное давление

$$p_0=\frac{Q}{d_0 l}=\frac{2\,000}{10\cdot 22}=9{,}1\ кг/см^2.$$

Для уменьшения длины подшипника выгодно иметь большее p_0, что можно достичь, выбирая смазку повышенной вязкости и уменьшая относительный зазор k, что к тому же дает и меньшие значения конструктивного минимума коэф. трения. Но уменьшение k возможно лишь с повышением качества обработки смазываемых поверхностей. Этот вопрос решается в области технологии, практика к-рой устанавливает зазоры в подшипниках путем нормализации допусков и посадок при различных классах точности. Ниже приводится табл. 6 зазоров различных посадок по стандартам ОСТ 1012 и 1013.

Т. к. работа трения сопровождается выделением тепла и повышением $t°$ смазки, что приводит к понижению ее вязкости, то начатые ранее расчеты необходимо дополнить темп-рными проверками. По Фальцу зависимость между μ и $t°$ в пределах от $t°=25°$ до $t°=100°$ имеет вид:

$$\mu=\frac{i}{(0{,}1\,t)^{2{,}6}},\qquad(8)$$

где i для минеральных масел с уд. в. $\gamma=0{,}9$ и с вязкостью по Энглеру в пределах от 2 до 24 при 50° определяется из ф-лы:

$$i=0{,}045E_{50}-0{,}015.$$

Максимальная $t°$ t_{max}, допускаемая при выбранной смазке и всех прочих расчетных условиях, определяющих конструктивный минимум коэф. трения, определится тогда из ур-ий (7) и (8):

$$t_{max}=10\sqrt[2{,}6]{0{,}658\,\frac{in}{\beta P_0 k^2}}.$$

Т. к. для масла «машинное 2» $E_{50}=5{,}5-6{,}2$,

Табл. 6.— Величины зазоров для различных посадок по ОСТ 1012 и 1013.

Класс точности	Посадка	Применение	Диаметры отверстий в *мм*	Зазор в μ
II	Ходовая X	Переборы и основные подшипники в токарных, фрезерных и сверлильных станках. Коренные подшипники коленчатых валов, а также верхние и нижние подшипники шатунов автомобильных моторов. Подшипники шестереночных редукторов и червячных передач	30— 50 50— 80 80—120 120—180 180—260	35— 50 30— 60 40— 75 50— 90 60—105
	Легкоходовая Л	Подшипники ходовых винтов супортов, а также валов на нескольких (>2) подшипниках у станков	30— 50 50— 80 80—120 120—180 180—260	50— 85 65—105 80—125 100—155 120—180
	Широкоходовая Ш	В точных трансмиссиях и контрприводах. В валах турбогенераторов и других быстро вращающихся машин	30— 50 50— 80 80—120 120—180 180—260	75—115 95—145 120—175 150—210 180—250
III	Ходовая $X_з$	Коренные подшипники коленчатых валов, а также подшипники шатунов и валов паровых машин и двигателей внутреннего сгорания. Эксцентриковые хомуты. Подшипники динамомашин, центробежных насосов, вентиляторов	30— 50 50— 80 80—120 120—180 180—260	32—100 40—120 50—140 60—165 75—195
	Широкоходовая $Ш_з$	Осевые буксы повозок, подшипники сел.-хоз. машин, подшипники трансмиссий, холостые шкивы	30— 50 50— 80 80—120 120—180 180—260	75—160 95—195 120—235 150—275 180—330

находим, приняв $E_{50}=6$, что $i=0{,}045\cdot 6-0{,}015=0{,}255$. При этом

$$t_{max}=10\sqrt[2,6]{0{,}658\,\frac{0{,}255\cdot 400}{17{,}7\cdot 10^4\left(\frac{1}{476}\right)^2}}=$$

$$=10\sqrt[2,6]{101{,}5}=57^\circ.$$

Для нахождения действительной t° подшипника воспользуемся ф-лой теплоты лучеиспускания, предложенной Фальцем:

$$Q_0=17A(t_c-t_b)^{1,3}\ \text{Cal/ч}\ м^2, \qquad (9)$$

где t_c—темп-ра смазки, t_b—темп-ра воздуха, A—коэф., зависящий от состояния внешней среды и конструкции подшипника, Q_0 — количество тепла, излученного с 1 $м^2$ боковой поверхности шипа в час. Т. к. полное количество тепла, развиваемого работой трения, равно

$$Q=\frac{2r_0lP_0\lambda U}{427}\cdot 3\,600=\frac{2r_0lP_0\cdot 1{,}272k\pi r_0n}{427\cdot 30}\cdot 3\,600=$$

$$=2\pi r_0l\cdot 0{,}357P_0kr_0n,$$

то на 1 $м^2$ боковой поверхности шипа приходится тепла

$$Q_1=\frac{Q}{2\pi r_0l}=0{,}357P_0kr_0n. \qquad (10)$$

Сопоставляя (9) и (10), находим

$$t_c=\sqrt[1,3]{\frac{0{,}357P_0kr_0n}{17\cdot A}}+t_b. \qquad (11)$$

Значения коэф. A по Фальцу приведены в табл. 7. Для пальца кривошипа в зависимости от скорости v значения A можно принять, как указано ниже:

v, *м/сек*	до 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12
A . . .	2,3	3	4	4,8	5,5	6,1	6,6	7,1	7,6	8	8,4	9,2

Принимая для начатого выше примера $A=1$, находим при $t_c=20^\circ$ рабочую t° смазки по формуле (11)

$$t_c=\sqrt[1,3]{\frac{0{,}375\cdot 91\,000\cdot 0{,}05\cdot 400}{17\cdot 476}}+20^\circ=$$

$$=\sqrt[1,3]{84{,}4}=30{,}3^\circ+20^\circ=50.3^\circ.$$

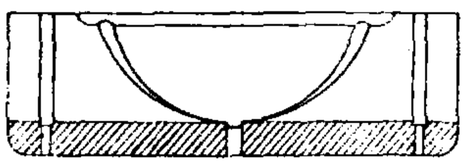
Табл. 7.— Значение коэфициента A по Фальцу.

Тип подшипника	Состояние среды		
	В спокойном воздухе	Вентиляция шкивом или маховиком с одной стороны	Вентиляция с обеих сторон
Подшипники малых размеров несложной конструкции; смазка капельной масленкой	0,7	1,5	2
Подшипники средних и крупных размеров—трансмиссионные, кривошипные; кольцевая смазка . .	1	2,5	3

Т. о. вязкость масла «машинное 2» вполне удовлетворяет давлению, скорости вращения вала и конструкции подшипника, т. к. $t_c<t_{max}$.

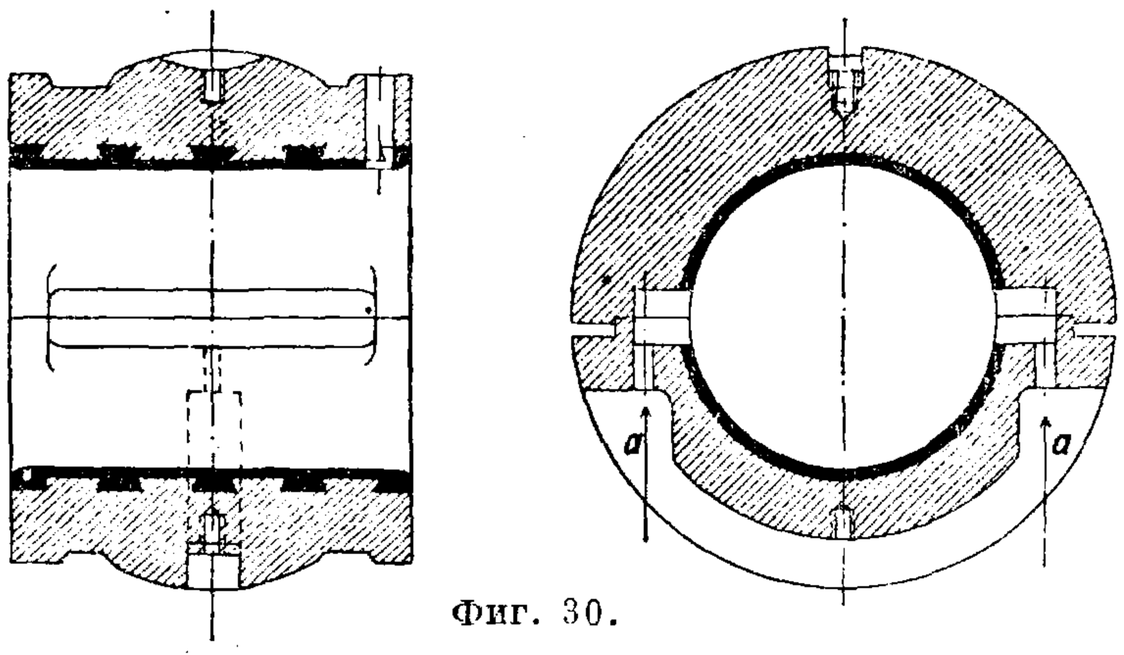
Для равномерного распространения и притока смазки к опорному вкладышу, т. е. для поддержки постоянства смазочного слоя, на внутренней поверхности вкладышей обычно устраиваются различного рода смазочные канавки. Наличие последних однако часто противоречит основам гидродинамич. теории трения и приводит к результатам, прямо противоположным назначению этих канавок. Для вращающегося шипа канавки на опорном вкладыше одинаково вредны, идут ли они продольно, диагонально или имеют кольцевое очертание. Т. к. они сообщают область повышенного давления с низким давлением, то они всегда способствуют понижению давления той части смазочного слоя, к-рая находится перед наиболее узким местом зазора, к-рая собственно и поддерживает шип на масляной подушке внутри подшипника. Понижение давления может привести к разрыву смазочного слоя, т. е. к полужидкостному трению, к-рое не м. б. устранено большим расходом смазочного масла. С этой

стороны особенно вредной является осевая канавка на опорном вкладыше с отверстием посредине для спуска смазки. Примером такого неправильного устройства опорного вкладыша является представленный на фиг. 29 подшипник, с которым производил свои опыты Штрибек.



Фиг. 29.

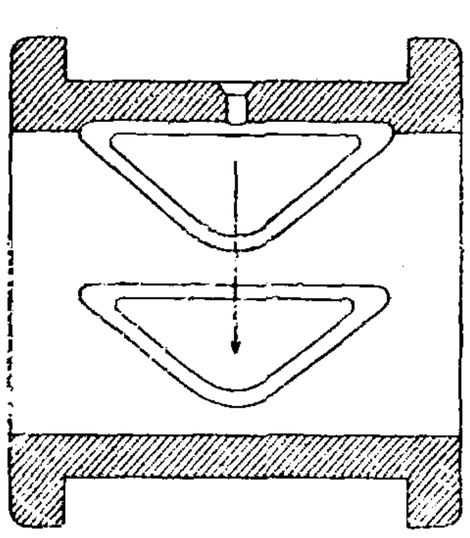
Смазка при вращающемся шипе должна подводиться или сверху со стороны ненагруженного вкладыша и оттуда уже увлекаться благодаря своему свойству «липкости» самим шипом в направлении его вращения или подводиться сбоку в боковые канавки. Последнее устройство применяется в турбинных подшипниках AEG (Берлин) (фиг. 30). Здесь смазка подводится под давлением с обеих сторон шипа, у a заполняет глубокие продольные канавки и радиальный зазор между шипом и подшипником, а выход ищет себе на ненагруженной стороне вкладыша в осевом направлении к обоим концам подшипника. Смазочные канавки на опорной поверхности вкладыша допустимы лишь при малых скоростях вращения, где все равно нельзя ожидать жидкостного трения.



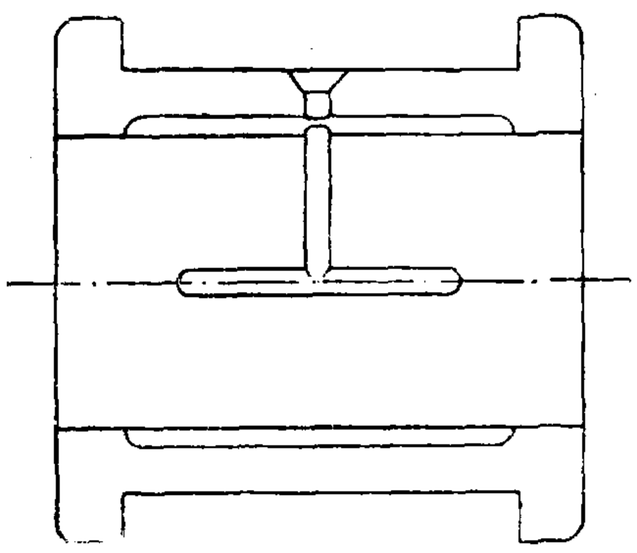
Фиг. 30.

В таком случае они должны сходиться под углом по направлению вращения шипа и не доходить до концов вкладыша, где давление в смазочном слое падает (фиг. 31). Такого же рода канавки допустимы при возвратно-вращательном движении шипа и на опорных направляющих и при возвратно-поступательном движении.

Чтобы канавки не соскребали смазки, они должны иметь плавно округленное очертание. Во вкладышах, где возвратно-поступательное

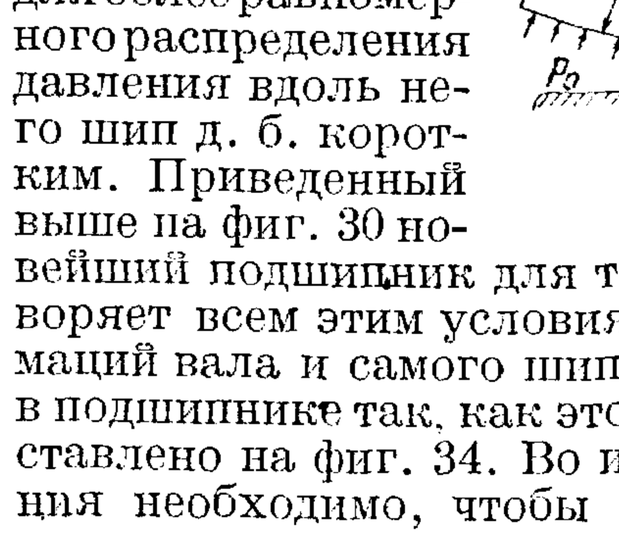


Фиг. 31.

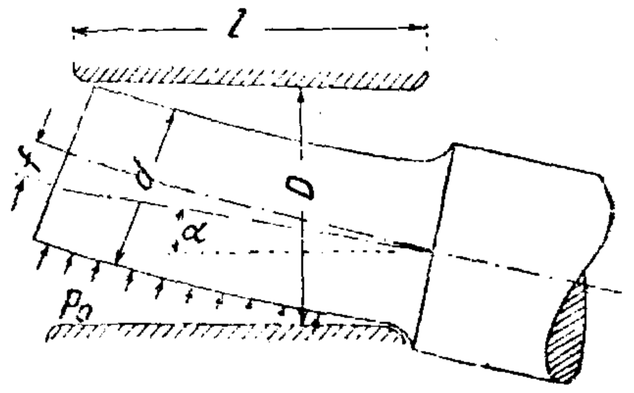


Фиг. 32.

движение шипа сопровождается переменой направления давления, например в подшипнике крейцкопфного болта, смазочный слой является буфером, смягчающим удары в мертвых положениях. Здесь смазка должна подводиться в короткие продольные канавки, расположенные на тех сторонах подшипника, где перемена давления вызывает наибольшее всасывание ее (фиг. 32). Продольные канавки соединяются полукружной средней канавкой. В качающихся подшипниках без перемены давления полное жидкостное трение невозможно, и чтобы обеспечить смазывание скользящих поверхностей, здесь необходимо на нагруженной стороне вкладыша иметь несколько продольных канавок, соединенных средней кольцевой (фигура 33). Радиальный зазор может быть доведен до нуля. Для того чтобы радиальный зазор при вращающихся шипах оставался по всей длине подшипника постоянным, необходимо, чтобы вкладыши последнего самоустанавливались. При больших нагрузках во избежание значительных деформаций шипа, для устранения перекосов, которые могут привести к сухому трению, и вообще для более равномерного распределения давления вдоль него шип д. б. коротким. Приведенный выше на фиг. 30 новейший подшипник для турбины AEG удовлетворяет всем этим условиям. Вследствие деформаций вала и самого шипа он устанавливается в подшипнике так, как это преувеличенно представлено на фиг. 34. Во избежание сухого трения необходимо, чтобы



Фиг. 33.



Фиг. 34.

$$D > d\cos\alpha + f\cos\alpha + l\,\mathrm{tg}\,\alpha,$$

где α—угол наклона, составленный касательной к концу оси вала с горизонталью, f—стрела прогиба шипа внутри подшипника. Это условие приводит к неравенству

$$\frac{D-d}{D} > \frac{f}{D} + \frac{l}{D}\,\mathrm{tg}\,\alpha.$$

При длине вала L и сосредоточенной нагрузке P посредине его

$$\mathrm{tg}\,\alpha = \frac{PL^2}{16EI_{\text{вала}}},$$

что через удельное давление на двух подшипниках выражается как

$$\mathrm{tg}\,\alpha = \frac{p_0 l d L^2}{8EI_{\text{вала}}}.$$

Прогиб шипа внутри подшипника равен

$$f = \frac{1}{8}\,\frac{p_0 l^4 d}{EI_{\text{шипа}}},$$

следовательно написанное выше неравенство переходит при $D = d + k$ в неравенство:

$$k > \frac{p_0 l^2}{8E}\left(\frac{l^2}{I_{\text{шипа}}} + \frac{L^2}{I_{\text{вала}}}\right)$$

и может служить к проверке выбранного относительного зазора k. При самоустанавливающихся подшипниках второй член суммы, стоящий в скобках, отпадает. В те моменты работы шипа, когда смазка вытесняется под большим удельным давлением, выступает роль материала вкладышей подшипника. Последние должны изготовляться из специальных антифрикционных сплавов, обладающих следующими свойствами: 1) малым коэфициентом сухого трения, 2) высокой теплопроводностью, 3) сопротивляемостью разъеданию и ржавлению, 4) проч-

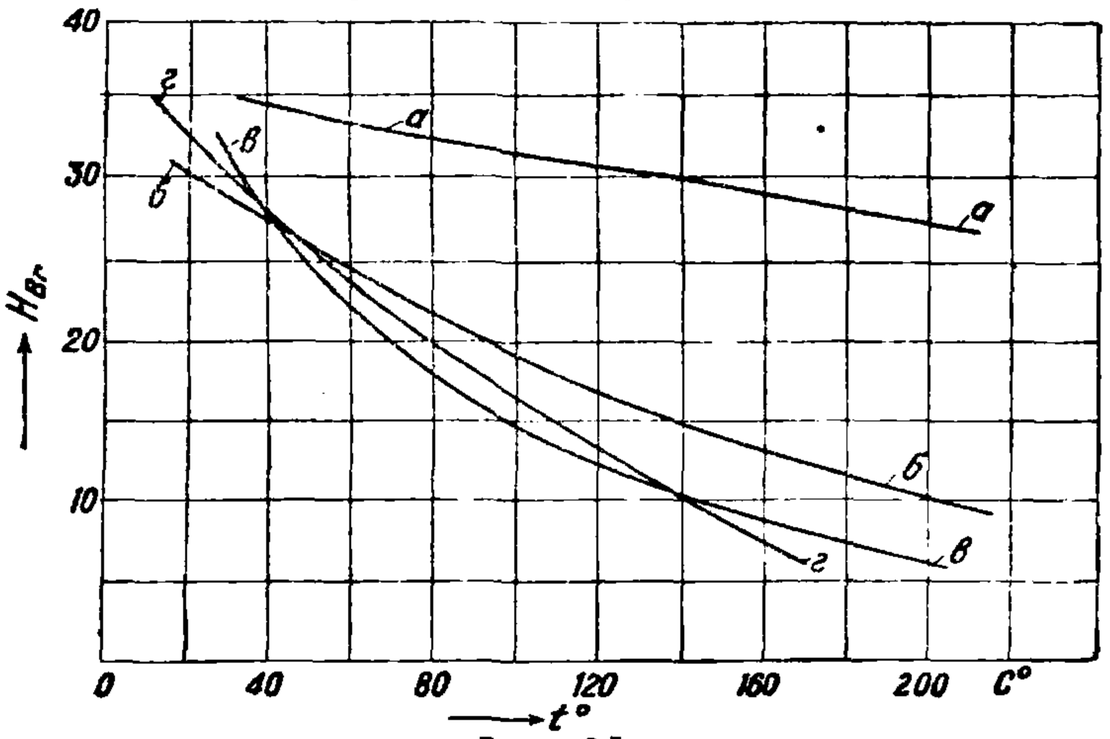
ностью, чтобы не сминаться и не разрушаться под давлением шипа, и 5) твердостью, чтобы сопротивляться износу. Твердость материала вкладыша д. б. однако менее твердости самого шипа, чтобы избежать износа последнего. Наиболее распространенными сплавами для вкладышей являются бронзы и баббиты. Состав оловянных бронз примерно следующий (в %):

Медь	85	82	82
Олово	13	15	10
Цинк	2	3	8

Более дешевыми являются бронзы свинцовые, к к-рым добавляется один процент никеля в целях равномерного распределения свинца в сплаве. Состав их следующий (в %):

Медь	69	65	60	Олово	8	9	5
Свинец	22	25	30	Никель	1	1	1

В фосфористых антифрикционных бронзах вместо никеля вводится от 0,1 до 0,3% фосфора. Антифрикционная бронза имеет предел упругости около 1 000 *кг/см²*. Твердость по Бринелю 60—80. Она труднее прирабатывается к шипу, развивая при этом более высокий коэф. трения, нежели баббиты, и следовательно дает более высокую рабочую *t°*. *Баббиты* (см.), представляя собою сплав олова, меди и сурьмы, дают пластическую основную массу, в к-рую вкраплены твердые частицы сурьмы. Последние воспринимают на себя нагрузку со стороны шипа и передают ее на весь вкладыш. В случае перегрузки твердые частицы вдавливаются в основную массу и тем выравнивают распределение давления. В условиях полужидкостного трения основная масса изнашивается быстрее твердых частиц, и шип оказывается поддерживаемым выступающими твердыми вкраплениями, между которыми может циркулировать смазка, вынося частицы износа и охлаждая поверхности скольжения. Помимо баббитов с оловянной основой последнее время находят большое применение сплавы с цинковой основой. Для образования твердых частиц вместо сурьмы здесь употребляются барий, кальций, натрий, калий, литий, магний, дающие в химич. соединении со свинцом и медью твердые структурные вкрапления. К таким сплавам относятся сплав Лурги, введенный в Германии во время войны (состав его: свинца 96,5%, бария 2,8%, кальция 0,4%, натрия 0,3%) и сплав Canmetall с составом: свинца 94,9%, кальция 1,75%, стронция 1,0%, бария 1,0%, меди 1,35%. В америк. пром-сти для подшипников употребляется сплав, содержащий ртуть; (состав его: свинца 96,75%, кальция 1,0%, ртути 0,25%). Пределы упругости при сжатии белых антифрикционных металлов таковы: оловянный баббит 200 *кг/см²*, свинцовый баббит 200 *кг/см²*, сплав Лурги 330 *кг/см²*. Твердость по Бринелю при комнатной температуре: оловянный баббит 30—34, свинцовый баббит 20—25, сплав Лурги 28—36.



Фиг. 35.

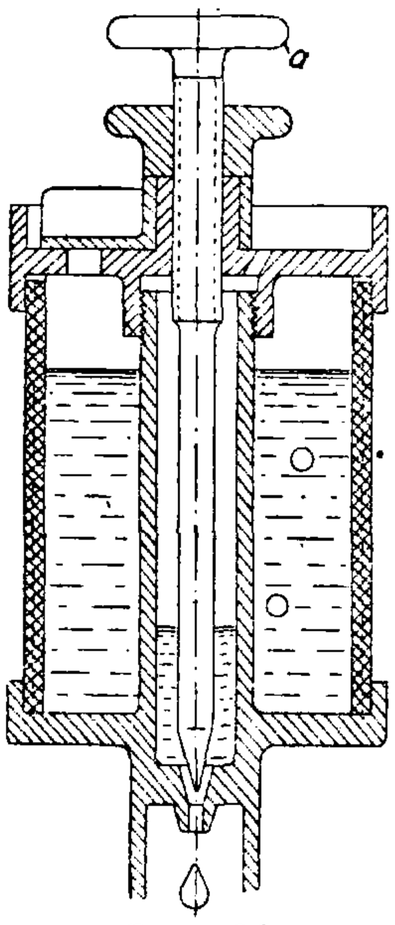
При *t°* в 100° твердость этих сплавов понижается на 30—50%. Зависимость твердости по Бринелю (H_{Br}) для различных сплавов от *t°* представлена на фиг. 35 (*а*—бронза, *б*—сплав Лурги, *в* — оловянный баббит, *г* — свинцовый баббит). Из других свойств антифрикционных металлов отметим нижеследующие: металлы, богатые оловом, обладают более высокой теплопроводностью, нежели содержащие в основе свинец. Бронза и сплавы, содержащие цинк, изнашиваются сильнее сплавов, богатых свинцом, но последние имеют более высокий коэф. трения. Стойкостью против разъедания маслами обладают сплавы, содержащие олово и сурьму. Меньшей стойкостью обладают железо и медь, а в особенности свинец и цинк. Вполне пригодным материалом для вкладышей является чугун. После обработки он дает твердую гладкую поверхность, в отношении к-рой масло проявляет хорошую прилипаемость. Вследствие пористого строения чугуна смазка пропитывает поверхность его на глубину нескольких *мм*. Чугун с равномерно рассеянными пластинками графита при перлитовой основе обладает большей сопротивляемостью износу, нежели бронза. Наиболее подходящим для вкладышей является чугун первого класса (ОСТ 265) следующего химсостава: углерода 3,00—3,3%, кремния 1,09—2,3%, марганца 0,5—0,8%, фосфора 0,8%, серы 0,08%. Твердость д. б. не менее 170 по Бринелю. Из специальных материалов, мало чувствительных к недостатку смазки в период сухого трения, следует отметить сплав белого металла с графитом и сплав из белого металла с залитыми кусками известняка и ракушника соответствующей твердости. Последние вкладыши, тщательно проточенные, хорошо полируют цапфу, впитывают в себя смазку, вследствие чего еще долгое время могут работать без значительного нагрева при прекратившемся притоке ее.

Системы смазки. При выборе системы смазки следует руководствоваться следующими общими требованиями: 1) смазка д. б. наиболее совершенной, т. е. жидкостной; 2) нужно стремиться к автоматичности подачи смазки и независимости от обслуживающего персонала; 3) устранять загрязнение смазки, предоставляя ей возможность движения по специально назначенным путям; 4) преследовать цели экономии в расходе ее, к-рые должны выражаться не в уменьшенной подаче ее, а в улавливании, очищении и в повторном использовании смазки, как это достигается в циркуляционных системах; 5) устраивать смазку наиболее простым и надежным способом; 6) сообразовывать систему смазки и смазочный материал с формой скользящих деталей, давлением, скоростями, *t°*, длительностью работы, уходом, окружающей средой и с особенностями того материала, для к-рого назначена машина или станок, напр. ткань в ткацких станках. Наиболее распространенным смазочным материалом является минеральное масло, которое употребляется в следующих системах смазки.

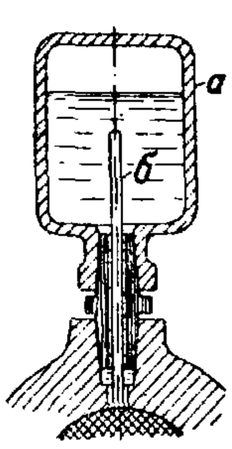
С м а з к а п р и п о м о щ и р у ч н о й м а с л е н к и. При этом способе, как и при других ниже рассматриваемых способах подачи смазки без давления, смазка попадает к

месту потребления самотеком под действием силы тяжести и благодаря прилипанию ее к скользящим поверхностям. Ручная смазка применяется в подшипниках тех машин, где малые скорости вращения и нагрузки или движение совершаются периодически с возвращением в состояние покоя, т. е. где жидкостное трение вообще невозможно. Этот род смазки применяется также при открытых скользящих поверхностях, легко доступных для ухода, или там, где машина находится под непрерывным наблюдением, напр. в станках по металлу.

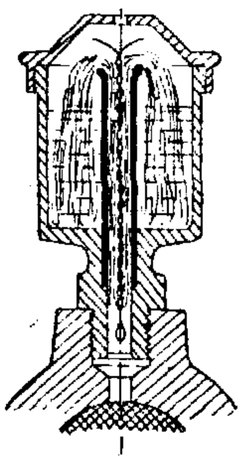
Капельная смазка применяется там, где ручная смазка является неудовлетворительной или неудобной по условиям обслуживания. Преимущество капельных масленок: они дают равномерное питание и допускают некоторую регулировку в подаче смазки. Недостатком их являются зависимость числа капель от $t°$ и уровня масла в масленке и необходимость неподвижной вертикальной установки их. По своему действию капельные масленки разделяются на несколько типов: а) В капельной масленке с отверстием (фиг. 36) количество капель в единицу времени регулируется винтом *а* путем открытия конич. отверстия. Постоянный уровень масла здесь поддерживается по принципу сообщающихся сосудов, находящихся под различным внешним давлением. Для исправности работы этой масленки смазка д. б. тщательно очищена от всяких механич. примесей. б) Штифтовая (бутылочная) масленка (фиг. 37) состоит из стеклянной опрокинутой масленки *а*, во внутреннем канале к-рой находится штифт *б*, опирающийся непосредственно на вал. Вибрация и толчки со стороны вала передаются игле, к-рая приходит в движение, способствуя стеканию масла по зазору в канале. Регулировка достигается подбором штифта большего или меньшего диаметра, что является способом довольно несовершенным. Достоинство этой масленки—ее автоматичность (она работает лишь при вращении вала) и полная защита масла от засорения. в) Фитильная масленка (фиг. 38) подает масло каплями на вал благодаря капиллярным свойствам фитиля. В качестве последнего применяется чистая шерсть. Фитиль не должен иметь узлов. Регулировка подачи масла в этой масленке весьма ограничена. К достоинствам ее надо отнести способность фильтровать масло и возможность установки на подвижных машинных деталях. г) Клапанные масленки доставляют масло в нужные моменты периодически при помощи толкателя, связанного с подвижной деталью; толкатель, действуя на клапан, выполняемый в форме шарика, открывает отверстие в масленке, создавая автоматически выход смазке. На фиг. 39 клапанная масленка применена к смазке дыропробивного пуансона. Тот же принцип м. б. применен к смазке крейцкопфного подшипника (фиг. 40). Здесь наклонная плоскость *а*, присоединенная к ползуну, открывает шаровой клапан *б*, снимает масло с шарика и позволяет ему стекать к месту подачи смазки. При передаче смазки от неподвижных масленок к вращающимся или качающимся деталям пользуются раздвижными трубками и коленчатыми трубками с полым шарниром, проводящим масло. Для смазки пальца кривошипа или шеек коленчатых валов целесообразно используется

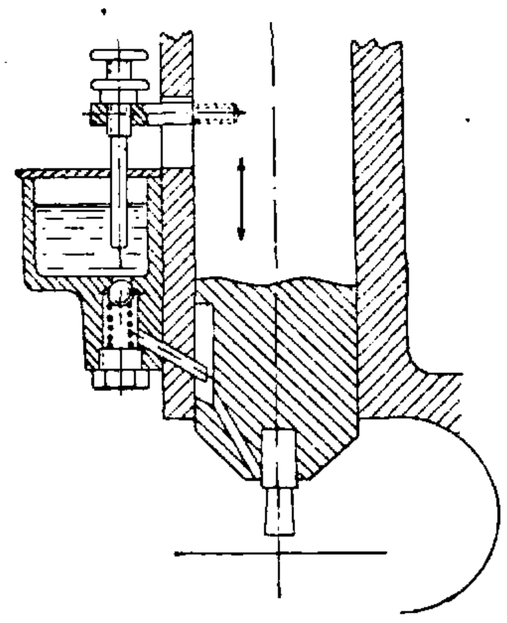


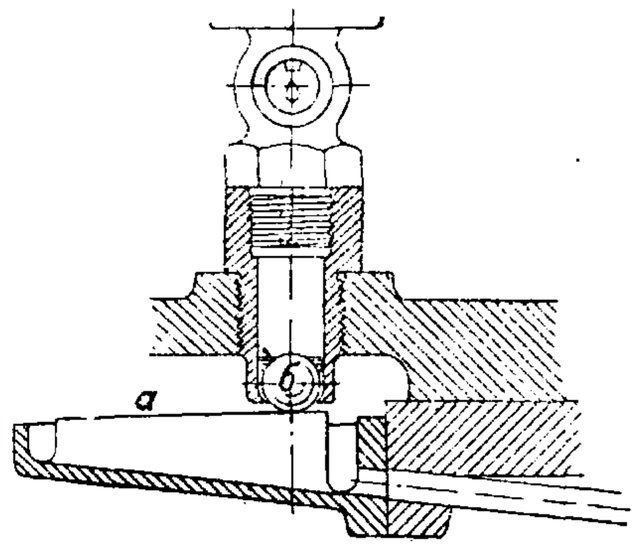
Фиг. 36.



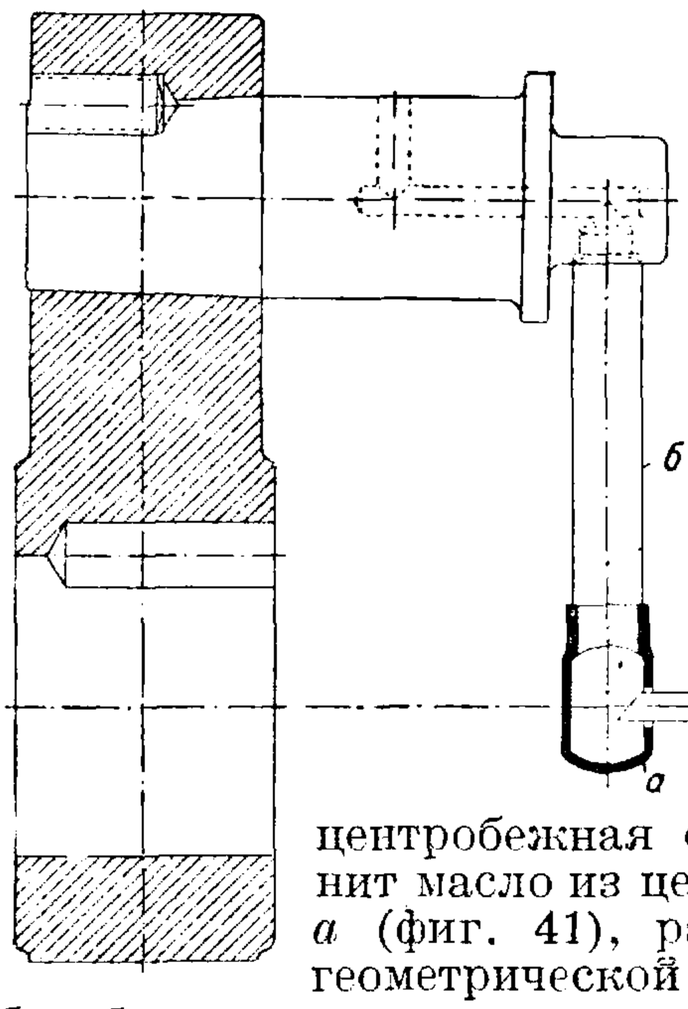
Фиг. 37.


Фиг. 38.


Фиг. 39.



Фиг. 40.



Фиг. 41.

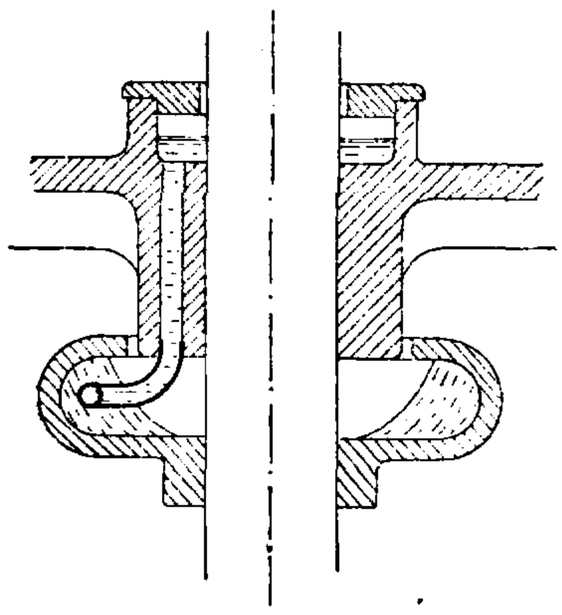
центробежная сила, которая гонит масло из центрального сосуда *а* (фиг. 41), расположенного на геометрической оси вала, по трубке *б* в канал пальца кривошипа, или применяют для *коленчатых валов* (см.) кольцевой жолоб, концентричный с осью коренной шейки коленчатого вала.

Центробежная смазка как самостоятельная система применяется в вертикальных валах при значительном числе оборотов (фиг. 42). Эта система относится к простейшим циркуляционным системам смазки.

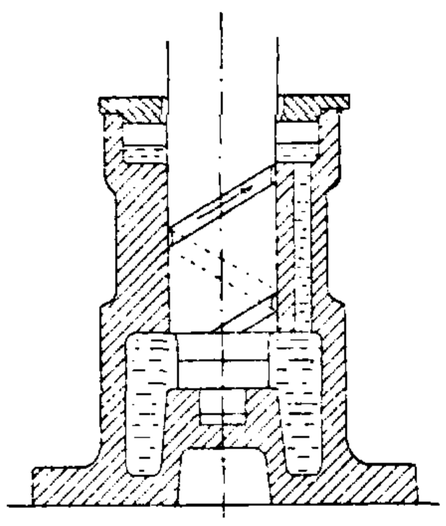
Винтовая смазка использует восходящее движение смазки по винтовой канавке на валу при вращении последнего (фиг. 43). Эта система используется в вертикальных валах, где осевая нагрузка преобладает над радиальной, т. к. при больших боковых удельных давлениях винтовая канавка препятствует образованию устойчивого смазочного слоя.

Смазка гребнем применяется для смазки направляющих в вертикальных поршневых машинах, в лесопильных рамах и т. п. Смазочный гребень *а* (фиг. 44), привернутый на конце возвратно движущейся детали *б*, погружается при каждом ходе в масленку *в* и смазывает поверхности скольжения. Избыток смазки стекает в ту же масленку вниз.

Смазка в масляной ванне применяется для компактных механизмов, расположенных в коробках или кожухах, непроницаемых для масла. Таковыми являются кривошипные механизмы маломощных моторов, зубчатые редукторы, червячные передачи, подпятники вертикальных валов, веретена прядильных машин и т. п. Смазка осуществляется путем периодич. погружения подвижной детали в ванну и дальнейшим разбрызгиванием масла или путем переноса смазки с одной погруженной в ванну детали на другие, соприкасающиеся с ней. Эта система смазки проста и не требует большого надзора. Разновидностью фитильной смазки и смазки в масляной ванне является смазка подушкой, к-рая с успехом применяется в тех подшипниках, где давление



Фиг. 42.

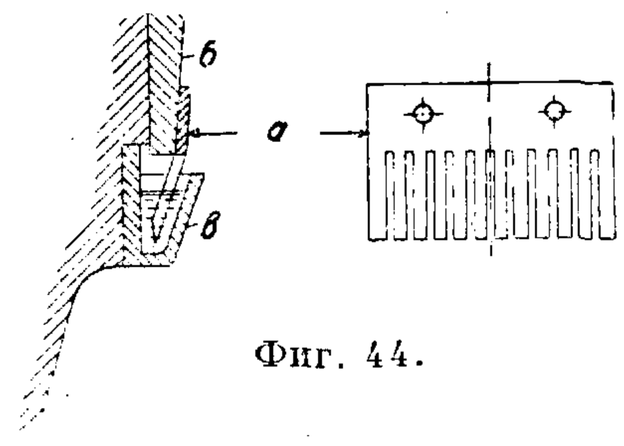


Фиг. 43.

передается на верхний вкладыш, напр. в осевых буксах городских и междугородных ж. д. (см. *Букса осевая*). Эта система работает надежно, не боясь толчков и сотрясений.

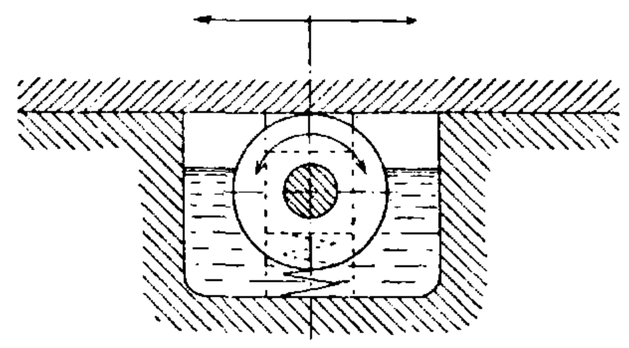
Роликовая смазка осуществляется путем постоянного соприкасания скользящей горизонтальной поверхности с роликами, погруженными в масляную ванну (фиг. 45). Пример применения—смазка длинных столов в строгальных металлообрабатывающих станках. Роликовая смазка применяется также и в буксах конструкции Хольторна.

Кольцевая смазка является одной из наиболее распространенных систем автоматич. циркуляционной смазки. Она проста и дешева, работает лишь во время вращательного движения вала, при достаточном числе оборотов обеспечивает жидкостное трение, предъявляет небольшие требования к уходу и поэтому может быть применена для тех *подшипников* (см.), которые мало доступны по своему расположению, напр. под потолком, в подвалах. Т. к. масло находится в избытке в масляной ванне, защищенной от засорения, то отпадает необходимость в очистке масла в течение длительного промежутка времени. В системе смазки со свободным кольцом последнее прорезает верхний подшипник, висит свободно на валу, погружаясь своей нижней частью в масляную ванну. Подача смазки зависит от сечения кольца, его размеров, числа оборотов вала, вязкости масла и липкости его. Сечение кольца в форме полукруга дает бо́льшую скорость вращения, нежели при прямоугольном сечении. Худшие результаты дает кольцо круглого сечения. При малых числах оборотов употребляют кольцо



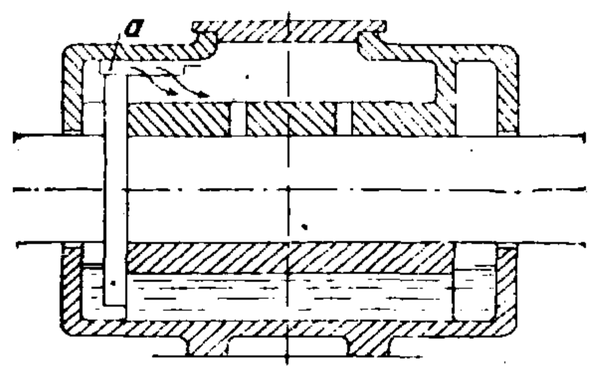
Фиг. 44.

с внутренней насечкой, а при большой вязкости смазки устраивают кольцо с внутренними зубцами, которые захватываются зубцами тонкого пружинного зубчатого кольца, охватывающего вал. По опытам Кранца при окружной скорости на валу в 7,5 *м/мин* и более диам. кольца следует брать равным 2 диам. вала. При меньших скоростях диам. необходимо увеличивать. Ширина кольца определяется по ф-ле: $b = \frac{D}{50} + 8$ *мм*; толщина 3—4 *мм*, ширина прореза во вкладыше больше на 1,5 *мм*. Недостатком свободного кольца является зависимость движения его от случайных причин (сгущение масла, неудовлетворительность сцепления с валом, толчки и сотрясения, застревание в прорезе). Все это устраняется при установке кольца, укрепленного на валу. При сравнительно меньшем числе оборотов такая система подачи смазки является вполне надежной. Недостатком же ее является перерезание нижнего загруженного подшипника, что может вызвать сомнение в образовании достаточно прочной пленки и давления внутри масляного слоя, уравновешивающего давление со стороны вала, т. е. эта конструкция противоречит основам гидродинамич. теории трения. Лучше перенести кольцо на конец вкладыша, установив над ним ковшик или пластинку *а*, снимающую масло и подающую его в каналы верхнего вкладыша (фиг. 46).



Фиг. 45.

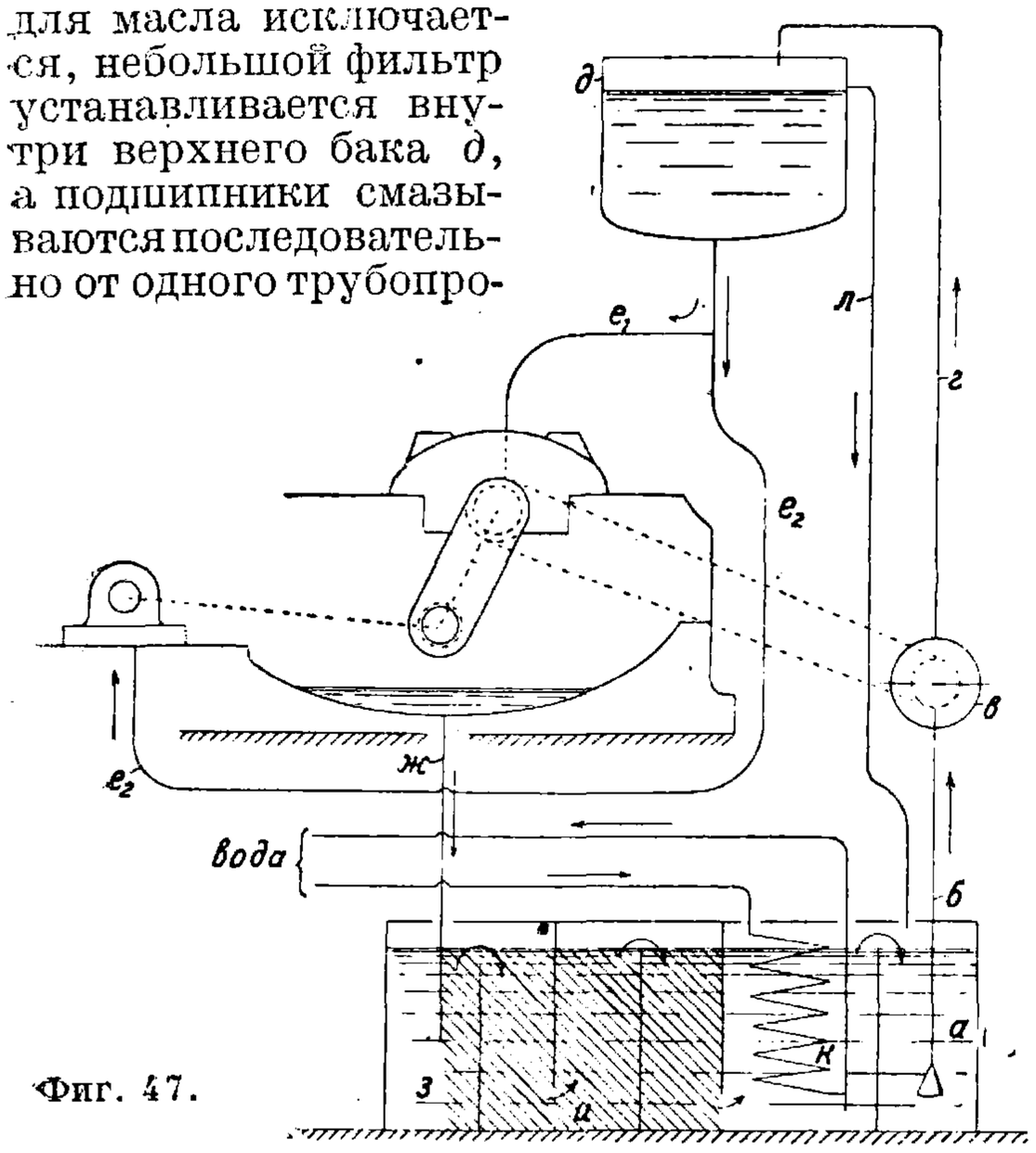
Принудительная смазка эксцентриковыми насосами и смазочными прессами (моллерупами или лубрикаторами), работающими с механическ. приводом от двигателя. Этими приборами смазка подается под давлением преимущественно к закрытым машинным частям и широко применяется в паровых машинах и паровозах, двигателях внутреннего сгорания, компрессорах и т. п., причем она может подаваться непосредственно или в распыленном состоянии. От каждого пресса масло должно подводиться лишь к одному месту смазки без разветвления. При нескольких смазочных местах удобнее пользоваться многонасосными агрегатами. Удобство прямой подачи масла с помощью пресса состоит в том, что при надобности подачу смазки можно значительно усилить. Для усиления смазки распыливанием применяют метод подачи в такт с движением смазываемой детали, напр. паровой поршень получает смазку в распыленном виде в тот момент, когда он проходит мимо смазочных каналов.



Фиг. 46.

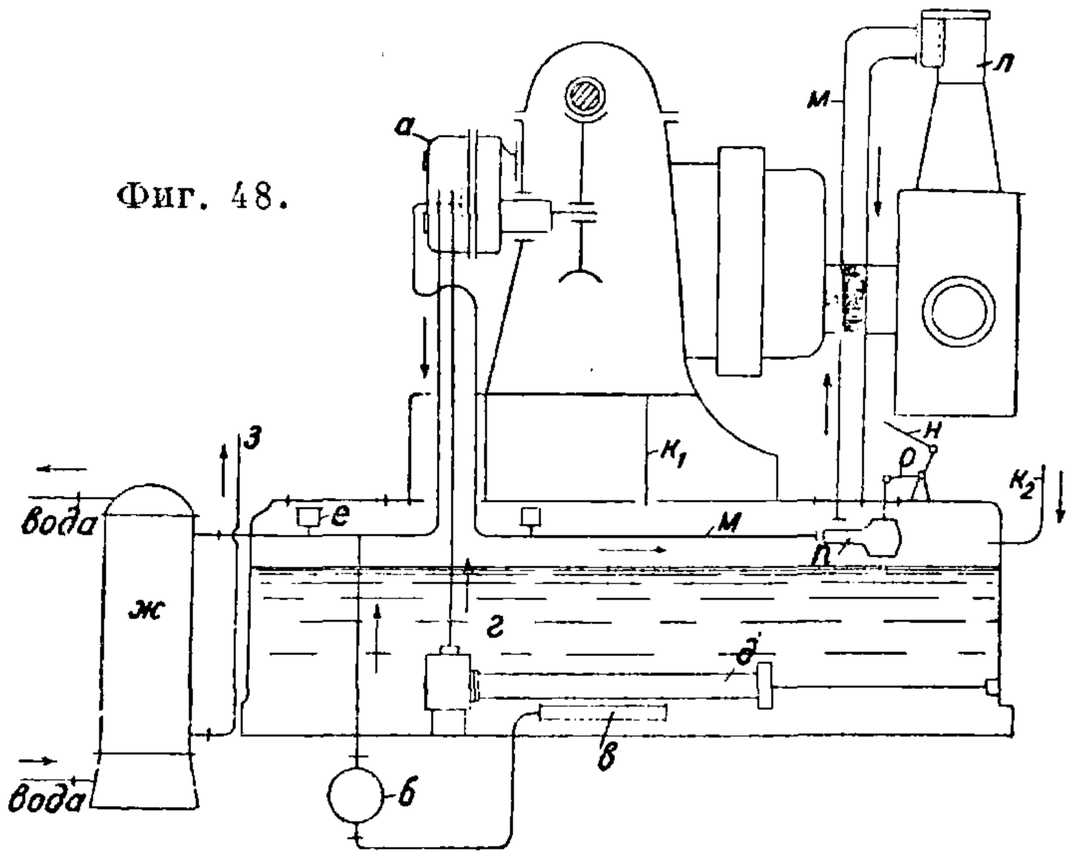
Циркуляционная самотечная смазка применяется преимущественно для стационарных тяжелых и сравнительно быстроходных машин. Эта система состоит (фиг. 47) из резервуара *а*, всасывающего трубопровода *б*, насоса *в*, нагнетательного трубопровода *г*, бака *д*, расположенного на известной высоте, трубопроводов e_1 и e_2, через к-рые масло подается к местам

смазки, стока *эс*, отстойника *з*, в к-ром осаждаются частицы, загрязняющие смазку, в том числе и частицы металлич. происхождения, камер *и*, в к-рых происходит фильтрация смазки, охладителя *к*, из к-рого масло поступает в резервуар *а*, совершив т. о. полный круговорот. Трубопровод *л*, сообщающий бак *д* с резервуаром *а*, поддерживает постоянный уровень масла. Эта схема м. б. несколько усложнена установкой насоса, работающего от электромотора независимо от двигателя, что необходимо для машины с длительным разбегом и остановкой. При многоцилиндровых машинах устанавливаются также параллельно работающие насосные агрегаты (лубрикаторы). Для маломощных машин при незначительном развитии тепла и малой засоряемости смазки схема может несколько упрощаться: холодильник для масла исключается, небольшой фильтр устанавливается внутри верхнего бака *д*, а подшипники смазываются последовательно от одного трубопровода, что сокращает его длину. Если несколько машин работает рядом, то их обслуживают одним баком, создавая гидростатич. давление столбом смазочного материала.

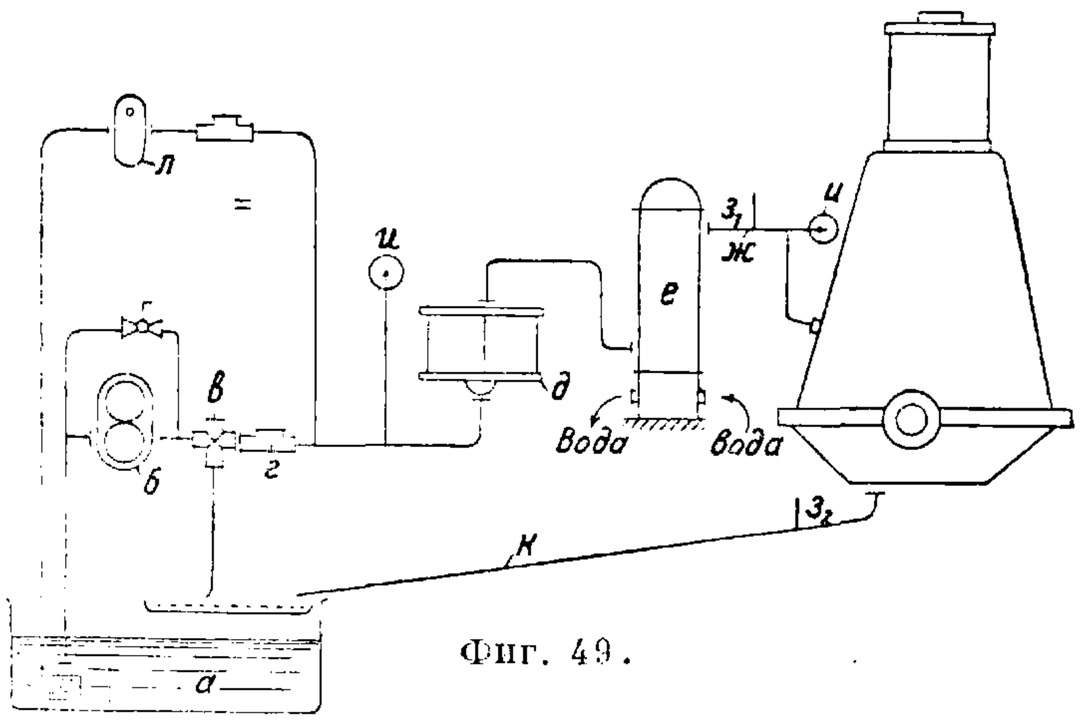


Фиг. 47.

Циркуляционная смазка под давлением употребляется там, где необходимо хорошее наполнение подшипников как в целях безусловной жидкостной смазки, так и в целях промывания их от продуктов износа, а гл. обр. для охлаждения подшипников в тех машинах, где развивается относительно высокая $t°$. Система смазки этого рода употребляется в двигателях внутреннего сгорания, в паровых турбинах, в судовых машинах с сильно нагруженными осевыми и упорными (гребенчатыми) подшипниками. Смазка под давлением может применяться лишь там, где подшипники совершенно закрыты; при этом должны приниматься меры к полному улавливанию стекающего масла. Давление в трубопроводах достигается при помощи зубчатого или ротационного насоса. В паровых турбинах главный масляный насос *а* (фиг. 48) соединен червячной передачей с валом турбины. Т. к. насос начинает подавать смазку под достаточным давлением лишь после достижения турбиной $^1/_3$ нормального числа оборотов, то в этой системе смазки необходим вспомогательный масляный насос *б* со своим вспомогательным фильтром *в*. Циркуляционный путь смазочного масла таков: из отстойного резервуара *г* через главный фильтр *д* масло поступает в главный насос *а*; оттуда по трубопроводу, на к-ром установлен редукционный клапан *е*, в маслоохладитель *эс*, из к-рого распределяется по подшипникам турбины и генератора по маслопроводу *з*. Масло возвращается в резервуар по трубам $к_1$ и $к_2$. В современных турбинах система смазки непосредственно связана с системой регулирования, к-рая управляет сервомотором, приводящим в движение дроссельный клапан турбины. При понижении давления в главной циркуляционной системе регулятор воздействует через трубопроводы системы регулирования на поршень сервомотора, к-рый, перемещаясь, прекращает доступ пара в турбину. Т. о. турбину невозможно будет пустить в ход, пока не установится достаточное движение в трубопроводах, распределяющих смазку по подшипникам, и тем самым устраняется всякая возможность повреждения их вследствие недостаточной подачи смазки к ним. На фиг. 48 сервомотор *л* связан трубой *м* с главным масляным насосом. Регулятор через тягу *н* и рычаг *о* воздействует на клапан *п*, к-рый выпускает масло из системы регулирования в том случае, когда давление в смазочной системе недостаточно; поршень сервомотора при этом перемещается, закрывая доступ



Фиг. 48.



Фиг. 49.

пара в турбину. Т. к. для управления сервомотором требуется сравнительно высокое давление (2,5—4 *atm*), то в нек-рых системах турбин устанавливают два насоса: один высокого давления, подающий масло в систему регулирования, другой—низкого, питающий систему смазки. В последней системе давление не должно превосходить удельного давления в осевых и упорных подшипниках турбогенератора. Циркуляционная система смазки под давлением для поршневого двигателя, рекомендуе-

мая Фальцем, указана на фиг. 49. Из маслоотстойного резервуара *а* масло засасывается зубчатой помпой *б*, снабженной перепускным краном, и направляется через предохранительный вентиль *в* и обратный клапан *г* к сдвоенному с переключением фильтру *д*, минуя к-рый смазка поступает в холодильник *е*. По трубе *жс*, по к-рой установлены термометр $з_1$ и манометр *и*, масло подводится к смазочным местам двигателя. Из картера масло стекает по трубе *к*, на к-рой поставлен термометр $з_2$, в масляный резервуар *а*. Для подачи масла в начале пуска устанавливается ручная помпа *л*. **Гутьяр.**

Лит.: Жуковский Н. и Чаплыгин С., О трении смазочного слоя между шипом и подшипником, М., 1904; Petroff N., Neue Theorie der Reibung, 1887; Reynolds O., «Philos. Trans. of Royal Soc. of London», L., 1886 (также Ostwalds Klassiker der exacten Wissenschaften, *218*, Lpz., 1927); Sommerfeld A., «Ztschr. f. Mathem. u. Physik», 1904; Michel, Die Schmierung ebener Flächen, ibid., 1905; Stanton T., Friction, L., 1923; Sommerfeld A., Zur Theorie der Schmierung, «Ztschr. f. techn. Physik», Lpz., 1921 (также Ostwalds Klassiker d. exacten Wissenschaften, *218*, Lpz., 1927); Duffing G., «Ztschr. f. angew. Math. u. Mech.», Lpz., 1924; Gümbel L., Reibung u. Schmierung im Maschinenbau, B., 1925; Stanton T., «Engineering», 1927, v. 124, p. 312; Hodgkinson Fr., ibid., 1929, v. 128, p. 690; Charnok G., ibid., 1929, v. 128, p. 801; Duffing G., Handbuch der physikal. u. techn. Mechanik, hrsg. v. F. Auerbach u. W. Hort, B. 5, p. 839, Lpz., 1931; Bradford, «Trans. of the Am. Soc. of Mechanical Eng.», N. Y., 1931, v. 53, *11*, p. 71; Kingsburg, ibid., 1931, *11*, p. 59; Lubrication Research Activities, ibid., 1931, *11*, p. 22 (обширный указатель литературы); Büche, «Z. d. VDI», 1932, *9*; Reye T., Zur Theorie der Za fenreibung, «Zivilingenieur», 1860, B. 6, p. 235—254; Stribeck R., Die wesentliche Eigenschaften der Gleit- u. Rollenlagen, «Z. d. VDI», 1902, B. 46, p. 1341, 1432, 1463; Lasche O., Die Reibungsverhältnisse in Lagern mit hoher Umfangsgeschwindigkeit, ibid., 1902, B. 46, p. 1881, 1932, 1961; Lasche O., Der Dampfturbinenbau der Allgemeinen-Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin, ibid., 1906, B. 50, p. 1355; Lasche O. u. Kieser W., Konstruktion u. Material im Bau von Dampfturbinen u. Turbodynamos, B., 1925; Charpy A., Versuche über die zur Verminderung der Reibung dieneden Metallegierungen, «Z. d. VDI», 1898, B. 42, p. 1300; Kammerer O., Entstehung der Lagerversuche, Mch., 1920; Ascher R., Die Schmiermittel, ihre Art, Prüfung u. Verwendung, B., 1922; Falz E., Grundzüge der Schmiertechnik, B., 1925; Pfarr A., Die Turbinen für Wasserkraftbetriebe, B., 1912; Lenz K., Die Schmierung schnellaufender Maschinen, «Z. d. VDI», 1907, B. 51, p. 855; Turk C., Walzenlagerung, «St. u. E.», 1927, p. 1437; Stribeck R., Kugellager für beliebige Belastung, «Z. d. VDI», 1901, B. 45, p. 73, 118; Stribeck R., Prüfverfahren für gehärteten Stahl u. Berücksichtigung der Kugelform, ibid., 1907, B. 51, p. 1445, 1500, 1542; Freudenreich, Untersuchungen an Lagern, «BBC Mitteilungen», 1917, H. 1—4; Tower B., Experiments on the Oil Pressure in a Bearing, «Eng.», 1884, v. 58, p. 434; Kutzbach K., Forschritte u. Probleme der mechanischen Energieumformung, «Z. d. VDI», 1921, B. 65, p. 673, 1301, 1376.

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ, наука, изучающая физич. и химич. процессы в их взаимной связи, а также процессы физико-химические, относительно к-рых трудно, а иногда и невозможно решить, относится ли их изучение к области физики или химии. Являясь наиболее типичной и весьма совершенной пограничной научной дисциплиной, связывающей физику с химией, Ф. х. приобрела тем самым исключительно большое прикладное значение во всех естественных, технологич. и медицинских науках. Широко пользуясь методами, выработанными физикой (точным, строго количественным экспериментом и математич. методами исследования), Ф. х. полностью охватывает весь обширнейший материал минеральной, органич. и биологич. химии, перерабатывая его, открывая новые количественные закономерности, являющиеся руководящими во всех областях технологии. Ф. х. стремится количественно объяснить процессы, исходя из современных представлений о строении вещества, прочно обоснованных экспериментально. Т. о. почти все отделы физики используются Ф. х., а в значительной мере и переходят в нее. Таковы термодинамика (физико-химич. процессов), физич. оптика, молекулярная физика, учение о диэлектриках, проводниках, диа- и парамагнитных телах и т. д. Лишь общие отделы физики, имеющие преимущественно значение вспомогательного математич. аппарата (области физич. механики, геометрич. оптика, акустика, электростатика с электродинамикой), не стоят в непосредственной связи с Ф. х. Однако, прилагая эти «отвлеченные» области физики к изучению вещества, к реальным физич. телам, мы сейчас же переходим в область Ф. х., т. к. одна из основных ее задач заключается в установлении связи между физич. свойствами тел и химич. составом и строением образующих их веществ. Указанная выше огромная роль Ф. х. в современной науке и ее пограничное объединяющее значение выражаются в том, что Ф. х. часто называют химической физикой или физико-химией. Последний термин наиболее жизнеспособен и интересен, т. к. указывает на единение обеих основных наук о природе. Ф. х. изучает все простейшие виды движений материи в их взаимной связи и в переходах из одного вида в другой—механические движения тел и их элементов как целого, молекулярно-тепловые движения, характерные для молекулярных сомножеств, и наконец химич. движения, наиболее резко выявляющие качественные превращения вещества. Все физико-химич. явления, происходящие в живых организмах и имеющие в их жизни столь большое значение, составляют особую и сложную ветвь Ф. х., физико-химическую биологию, составляющую приложение Ф. х. к физиологии, биологии, медицине.

Ф. х. можно определить как науку, изучающую: 1) законы физич. процессов, связанных с химич. реакциями (напр. законы взаимного превращения различных форм энергии при химич. реакциях); 2) законы физико-химич. процессов, лежащих на грани между физикой и химией; 3) течение химич. реакций путем исследования их физич. методами, куда относятся: а) экспериментальные методы—измерение физич. величин (констант), изменяющихся в ходе реакции, и б) теоретич. методы—применение физич. статистики и представлений о строении вещества; 4) связь физич. свойств тела (наблюдаемых физич. явлений) с химич. составом и строением веществ, что особенно важно для всех областей материаловедения. Физико-химич. минералогия, геология и кристаллография, являясь прикладными отраслями Ф. х., служат в значительной мере фундаментом для указанных наук. Т. о. современную Ф. х. можно считать основанием каждой из наук о природе и каждой области технологии. В связи с совершенно своеобразной молекулярной структурой и своеобразными свойствами поверхностных слоев на границе двух любых соприкасающихся тел выделилась особая отрасль Ф. х., их изучающая,—физико-химия поверхностных явлений—область, имеющая особенно большое значение в физико-химии коллоидов, систем с сильно развитой поверхностью соприкосновения обоих образующих их тел (фаз) благодаря сильному измельчению одного из них в среде другого. С ярко выраженными особенностями и своеобразием поверхностных явлений тесно связано их ог-

ромное значение в самых разнообразных областях современной технологии и науки: все процессы обмена веществ между двумя соприкасающимися фазами, т. е. все гетерогенные физико-химические процессы и химические реакции [растворение и коррозия, конденсация, испарение, кристаллизация, установление электродных потенциалов, многие явления при электролизе, явления гетерогенного катализа (контакта), явления фотоэффекта и термоэлектронные явления в катодных лампах и т. д.], определяются по крайней мере в их кинетике, т. е. в их скорости, природой и особыми свойствами структуры поверхностных пограничных слоев. Т. к. огромное большинство процессов химич. технологии, технологии металлов и строительных материалов составляют процессы гетерогенные, протекающие с участием двух или большего числа соприкасающихся фаз, значение физико-химии поверхностных явлений во всех указанных областях исключительно велико. В виду необычайного разнообразия областей, охватываемых Ф. х., из нее выделился постепенно ряд дисциплин, являющихся теперь уже вполне самостоятельными науками. Таковы по степени их значения: физико-химия коллоидов, *электрохимия* (см.), фотохимия, термохимия (физико-химич. термодинамика), химич. кинетика и катализ, физико-химич. биология и др. Благодаря тому что Ф. х. развивалась в последнее время и является вполне современной наукой, в ней нельзя найти грани между «общими основаниями» и «техническими приложениями».

Моментом окончательного оформления Ф. х. как отдельной науки в научной литературе принято считать 1887 г.—год возникновения первого и основного, по существу международного, периодич. органа—«Zeitschrift für physikalische Chemie»,—основанного В. Оствальдом, Вант-Гоффом и С. Аррениусом. Журнал этот (а также и появившиеся впоследствии франц. и англо-америк. одноименные журналы) чрезвычайно разросся, а в последнее время—с 1929 г.—разделился на две серии «А» и «В», гл. обр. в связи с тем, что новые области Ф. х., включающие исследования, наиболее непосредственно и тесно связанные с вопросами строения вещества и с физико-химич. статистикой, чрезвычайно разрослись (они были выделены в серию «В» журнала и часто объединяются термином химическая физика). С этого же времени в Германии и других странах начался быстрый рост исследовательских ин-тов—лабораторий по общей Ф. х. и ее различным областям, сначала при университетах и других высших учебных заведениях, а затем—в виде самостоятельных организаций, приобретавших обычно большое технологич. и военное значение (напр. исследовательский ин-т по физич. химии и электрохимии в Берлине—Далеме—Kaiser Wilhelm Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie). На территории СССР особенно сильное развитие Ф. х. получила со времени Октябрьской революции. Если до этого исследовательская работа по Ф. х. велась только в скромных лабораториях высшей школы, то к настоящему времени СССР имеет ряд мощных физико-химич. исследовательских учреждений—центральные исследовательские ин-ты по Ф. х.: Институт Ф. х. имени Карпова в Москве, Институт химич. физики в Ленинграде, физико-химич. лаборатории в целом ряде других ин-тов (Академия наук, Институты прикладной минералогии и цветных металлов в Москве, Биохимический институт и другие учреждения в системе НКТяжпрома, НКЛегпрома, НКПроса, НКЗема и НКЗдрава). В 1930 г. обширная русская литература по Ф. х. получила свой периодич. орган—«Журнал физич. химии». Т. к. однако процентная доля советских работ по Ф. х., печатаемых в научных физико-химич. журналах за границей (особенно в «Ztschr. f. phys. Chemie», «Kolloid-Zeitschrift» и «Ztschr. f. Elektrochemie und angew. phys. Chemie»), стала за революционные годы весьма большой, в настоящее время в Москве создается (1934 г.) международный советский журнал по Ф. х., к-рый будет печатать работы на нем., англ. и франц. языках по примеру аналогич. харьковского физич. журнала «Physikalische Ztschr. d. Sowietunion», имеющего большой успех.

Лит.: Бродский А., Физич. химия, т. 1—2, Харьков—Днепропетровск, 1932—33; Котюков И., Физич. химия, 2 изд., т. 1, Томск, 1933; Песков Н., Физ.-хим. основы коллоидной науки, М.—Л., 1932; Вознесенский С. и Ребиндер П., Руководство к лабораторным работам по физ. химии, М.—Л., 1928; Nernst W., Theoretische Chemie, Stg., 1928—31; Jellinek K., Lehrbuch der phys. Chemie, B. 1—5, 2 Aufl.; Ostwald Wilh., Lehrbuch der allgem. Chemie, B. 1—2, Lpz., 1910—11; Freundlich H., Kapillarchemie, 4 Aufl., B. 1—2, Lpz., 1930—32. **П. Ребиндер.**

ФИЗИЧЕСКИЙ МАЯТНИК, см. *Маятник.*

ФИКСИРОВАНИЕ, процесс, при к-ром из светочувствительного фотографич. слоя удаляется бромистое серебро, не подвергшееся действию света. С его удалением в прозрачном желатиновом слое остается только выделившееся под действием света и *проявителя* (см.) серебро, и слой теряет свою светочувствительность. В настоящее время удаление AgBr производится путем растворения его в растворе серноватистокислого натрия $N_2S_2O_3$, называемого также тиосульфатом, или гипосульфитом. Химич. процесс протекает в три стадии:

I. $2AgBr+Na_2S_2O_3=Ag_2S_2O_3+2NaBr$,

II. $Ag_2S_2O_3+Na_2S_2O_3=Ag_2S_2O_3\cdot Na_2S_2O_3$ (двойная соль),

III. $Ag_2S_2O_3\cdot Na_2S_2O_3+Na_2S_2O_3=Ag_2S_2O_3\cdot 2Na_2S_2O_3$.

Образующаяся во второй стадии двойная соль серноватистокислого натрия и серебра малорастворима в воде, и, если прервать Ф. в этой стадии, много ионов серебра остается в слое. Со временем эта соль разлагается, выделяя желтое сернистое серебро, к-рое дает неудалимые пятна. Поэтому процесс фиксирования необходимо доводить до третьей стадии, где образуется легко растворимое соединение, вымываемое из слоя при промывке его в воде. Для этого требуется время, по крайней мере вдвое большее того, к-рое необходимо, чтобы пластинка почернела со стороны, обратной слою (это соответствует переходу AgBr в другие соединения серебра). В обычных фиксажных ваннах для полного Ф. требуется 15÷20 мин. Эти ванны содержат 10÷20% гипосульфита и имеют нейтральную или слабощелочную реакцию. В такой среде продолжается, хотя и с уменьшенной скоростью, процесс восстановления AgBr, что приводит к образованию желтых пятен или вуали. Для того чтобы быстро прервать процесс проявления и предупредить появление пятен и вуали, обычно подкисляют фиксажные ванны. Для этого пользуются не минеральными к-тами, которые выделяют из гипосульфита серу, а кислыми солями, обычно кислым сернистокислым натрием (бисульфитом натрия) $NaHSO_3$ или метабисульфитом калия $K_2S_2O_5$. Обычный рецепт фиксажной ванны: воды (дистилл.) 1 *л*, гипосульфита натрия безводного 125 *г* (или кристаллич. 250 *г*), метабисульфита калия 25 *г* или бисульфита натрия 50 *г*. Покупная «кислая фиксажная соль» содержит обычно безводный гипосульфит и метабисульфит калия. Прибавление к ванне хлористого аммония, дающего гипосульфит аммония, значительно ускоряет Ф. Появляющаяся иногда после Ф. дихроичная вуаль удаляется погружением тщательно промытого негатива в течение 2—5 мин. в ванну: воды 200 $см^3$, тиокарбамида 4 *г*, лимонной к-ты 2 *г*. За Ф. должна следовать промывка водой в течение 1—2 часов.

Лит.: Энглиш Е., Основы фотографии, 3 изд., М.—Л., 1931; Неблит К., Общий курс фотографии, 2 изд., кн. 2, М., 1933; Ангерер Е., Научная фотография, пер. с нем., Л., 1933. **А. Рабинович.**

ФИЛАНИРОВАНИЕ, один из видов *анимализации* (см.) растительных волокон, заключающийся в придании им шерстеподобных свойств: извитости, повышенного блеска, уменьшения теплопроводности и в общем уподоблении шерсти по внешнему виду. Изобретателем Ф. является Чарльз Шварц, запатентовавший

этот способ в Германии (Г. П. 389547 и дополнительные к нему 392122 и 392655), в Англии (Ан. П. 136568) и других странах. Ф. достигается обработкой тканей или пряжи раствором целлюлозы любого происхождения в азотной к-те, крепость к-рой не ниже 65%. Для приготовления такого раствора можно поступать напр. следующим образом: 30 *г* беленой древесной целлюлозы или хлопковых оческов быстро вводят при энергичном размешивании в 1 000 *г* 81%-ной азотной кислоты при 15—20° и после получения вязкого раствора добавляют при помешивании 112 *г* воды, охлажденной до 0°. При обработке целлюлозы указанными концентрациями азотной к-ты получается нитроклетчатка с 50—60% теоретически возможного азота, т. е. с 7—8,5% N, растворяющаяся в избытке азотной к-ты. Приготовленный вязкий раствор нитроклетчатки в азотной к-те следует сохранять на холоду. Для разных сортов хл.-бум. тканей рецептура приготовления раствора несколько варьируется. Обработка ткани этим раствором производится так, что ткань закладывается в него на 3—5 минут без натяжения. Продолжительность обработки может однако доходить до 30 мин., если $t°$ не превышает 20°. После извлечения из раствора ткань отжимается и промывается. При промывке и разбавлении азотной к-ты на волокне и в толще его выпадают мелкие частицы нитроклетчатки, чем и достигается в основном эффект «ошерстнения» ткани. Осаждение нитроклетчатки происходит быстрее и полнее, если перед промывкой пропустить при низкой $t°$ обработанную ткань через 10%-ный раствор смеси серной к-ты, аммиака, бисульфита и других солей. Кроме растворов нитроцеллюлозы в азотной к-те можно применять для Ф. слабо нитрованные крахмалы, разные гемицеллюлозы и пр. При Ф. ткань получает усадку по основе ок. 5%, по утку несколько больше. Кроме того происходит значительное увеличение прочности на разрыв. Повидимому эффект Ф. достигается не только осаждением на волокне нитроклетчатки, но и тем, что крепкая азотная к-та дает аналогичный мерсеризации эффект необходимого набухания волокна, к-рое проявляется также в повышенном сродстве к красителям. Если после Ф. подвергнуть ткань мерсеризации, она становится более жесткой и холодной наощупь, приобретая вид льняной ткани. В силу чрезвычайно больших трудностей, возникающих при работе в производстве с концентрированной азотной к-той, как с точки зрения аппаратуры, так и регенерации разбавленной к-ты Ф. возможно в большом масштабе лишь на больших химич. з-дах, производящих азотную к-ту и использующих ее для целого ряда других целей. Ф. сделало возможным достижение новых текстильных эффектов, напр. благодаря существованию прочных к Ф. кубовых красителей возможно изготовлять пестротканые товары с последующим Ф. Сильно рекламированное при своем появлении филанирование все же не нашло до сих пор значительного применения.

Лит.: Г. П. 389547, 392122 и 392655; Herzinger E., Die Veredelung d. Baumwollfaser durch Merzerisation u. Animalisierung, 2 Aufl., Wittenberg, 1926; Hess, Die Chemie d. Zellulose u. ihre Begleiter, p. 352—353, Lpz., 1928. **Л. Мирлас.**

ФИЛЬДЕКОС, филь д е к о с, хл.-бум. пряжа высоких номеров от № 100 и выше, крученая в несколько нитей, выделываемая из египетских и высших сортов американского хлопка. Нить после прядения подвергается отделке, например газированию, мерсеризации, крашению и пр. Ф. служит материалом для изготовления вязально-трикотажных изделий, вязания кружев и т. п.

ФИЛЬТРАЦИЯ, просачивание жидкости сквозь поры какого-либо тела (пласты грунта, тело плотины и пр.). Причиной Ф. является разность давлений в разных местах пути движения жидкости (напр. движение грунтовой воды к местам разбора воды—колодцам или просачивание воды через грунт из верхнего бьефа в нижний бьеф под фундаментом плотины и т. п.).

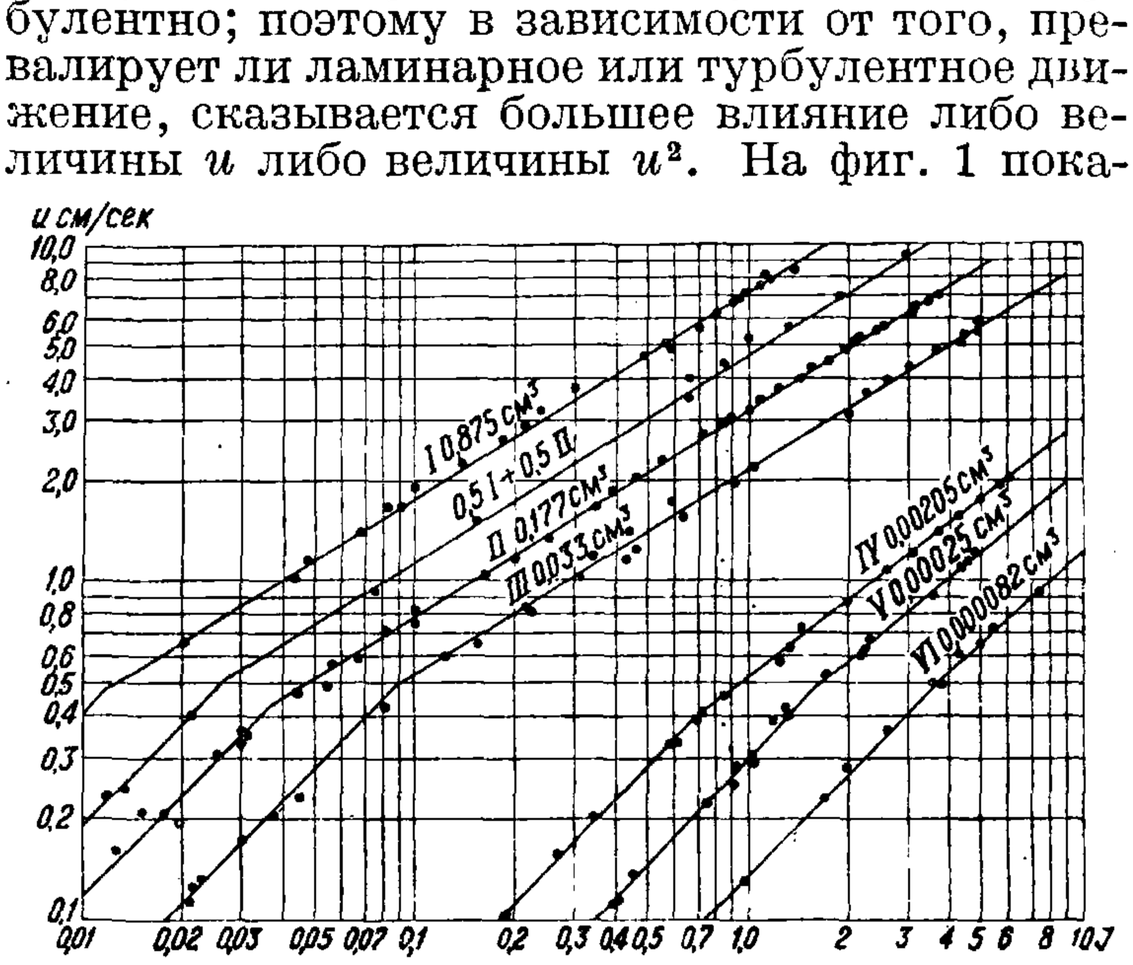
Скорость Ф. воды через почву м. б. выражена равенством

$$u = k \cdot J, \qquad (1)$$

где J означает гидравлич. уклон, а k—коэф. Ф. Указанная зависимость, известная под названием з а к о н а Д а р с и (Darcy), имеет место при ламинарном движении воды, в каковых условиях обыкновенно движутся грунтовые воды. Указанный закон однако не всегда имеет силу. Форхгеймер напр. нашел опытным путем следующую зависимость между гидравлич. уклоном и скоростью Ф. воды в песчаных грунтах:

$$J = \alpha u + \beta u^2, \qquad (2)$$

где α и β суть численные коэф-ты, различные для разных мест наблюдений. Это отличие ф-лы (2) от ф-лы (1) объясняется тем, что при более крупных зернах грунта в более широких порах ламинарное движение воды переходит в турбулентное, вследствие чего в одной части сечения фильтрационного слоя вода движется ламинарно, в то время как в другой части—турбулентно; поэтому в зависимости от того, превалирует ли ламинарное или турбулентное движение, сказывается большее влияние либо величины u либо величины u^2. На фиг. 1 показана на диаграммах зависимость между скоростью Ф. u и гидравлич. уклоном J, показывающая переход движения воды при определенных скоростях от ламинарного в турбулентное. На практике при расчетах можно руководствоваться законом Дарси, не делая при этом больших практически недопустимых ошибок. По Шокличу закон Дарси имеет силу и для Ф. воды через бетон и притом в условиях до наибольших на практике встречающихся гидравлич. уклонов.



Фиг. 1.

Надежнее определять степень Ф. для каждого отдельного случая путем непосредственного измерения и пробной откачки из колодца, имея в виду разнородность состава грунта в разных местах земной поверхности. Приводим значения

нескольких коэф-тов Ф. k, определенных непосредственным измерением (в *см/ск*): донный песок—0,02, песок со следами глины—0,08, речной песок (диам. зерен 0,1÷0,3 *мм*)—0,25, речной песок (диам. зерен 0,1÷0,8 *мм*)—0,88, мелкий гравий (диам. зерен 2,0÷4,0 *мм*)—3,00, средний гравий (диам. зерен 4,0÷7,0 *мм*)—3,51. Для насыпных грунтов, применяемых при возведении инженерных сооружений и подвертаемых в этих случаях трамбованию в слоях, степень Ф. может быть определена лабораторным путем. При этом пробами исследуемого грунта наполняют трубу прибора (фиг. 2), имеющую длину 1,5÷2,0 *м* и внутренний диам. 10÷30 *см*; пробы трамбуют тем же способом, к-рый намечен при возведении инженерного сооружения. В трубу с испытуемым составом грунта нагнетают воду, определяя потерю по пьезометрич. трубкам и расход воды Q при Ф.:

$$Q = F \cdot k \cdot J = F \cdot k \cdot \frac{h}{l}, \qquad (3)$$

где F есть площадь сечения пробы грунта, помещенного в трубу испытательного прибора. Для удаления воздуха из всех пор проб испытуемого состава грунта в приборе пропускают через него в течение суток воду, используя лучше всего отстоявшуюся воду, из к-рой нельзя ожидать выделения более или менее значительного количества газов.

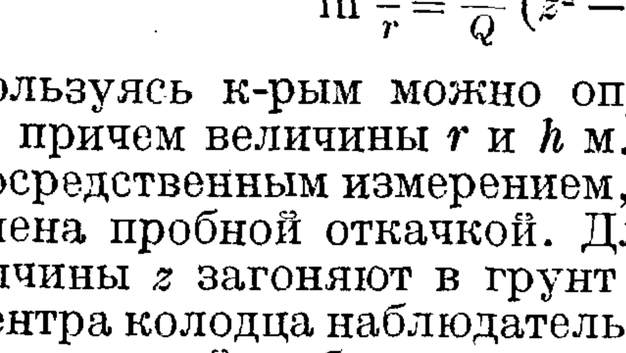
Если для определения Ф. через грунт соорудить колодец, доведя его до водонепроницаемого слоя грунта, то с обозначениями на фиг. 3 будем иметь ур-ие:

$$\ln \frac{x}{r} = \frac{\pi k}{Q}(z^2 - h^2), \qquad (4)$$

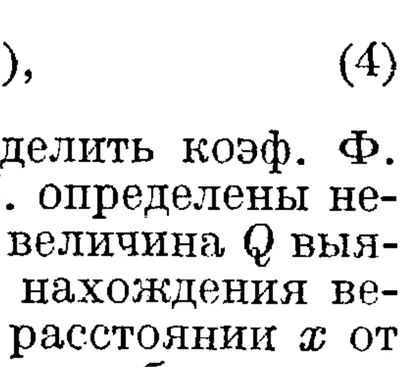
пользуясь к-рым можно определить коэф. Ф. k, причем величины r и h м. б. определены непосредственным измерением, а величина Q выявлена пробной откачкой. Для нахождения величины z загоняют в грунт в расстоянии x от центра колодца наблюдательную трубу, при помощи к-рой м. б. определено понижение s уровня воды в расстоянии x от центра колодца при пробной откачке воды из него. Зная s, можно определить $z = H - s$. Все измерения величин h и z д. б. произведены после откачки воды из колодца в продолжение нескольких дней, когда Ф. воды через поры грунта по направлению к колодцу станет б. или м. постоянной.

Когда колодец не доходит до водонепроницаемого слоя грунта и положение этого слоя неизвестно, то приходится расположить две наблюдательные трубы I и II в нек-рых расстояниях от колодца (фиг. 4).

В этом случае производят две



Фиг. 2.



Фиг. 3.

пробные откачки, дающие количества воды Q_1 и Q_2. Если уровень воды между двумя наблюдательными трубами принять горизонтальным, то для соответственных гидравлич. уклонов получим следующие выражения:

$$\left.\begin{aligned} J_1 &= \frac{h_1}{l} = \frac{Q_1}{2\pi x z_1 k} \\ J_2 &= \frac{h_2}{l} = \frac{Q_2}{2\pi x z_2 k} \end{aligned}\right\}, \qquad (5)$$

из которых имеем

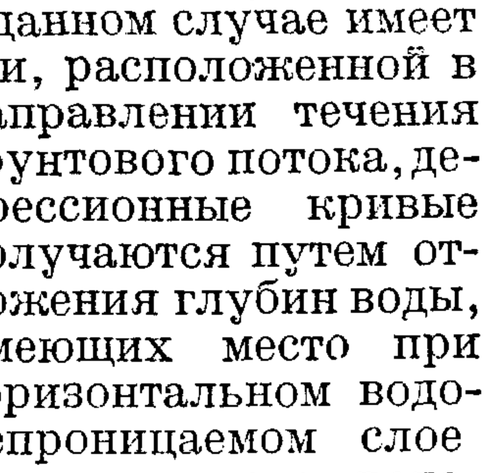
$$z_1 - z_2 = \Delta = \frac{1}{2\pi x k}\left(\frac{Q_1}{J_1} - \frac{Q_2}{J_2}\right), \qquad (6)$$

откуда

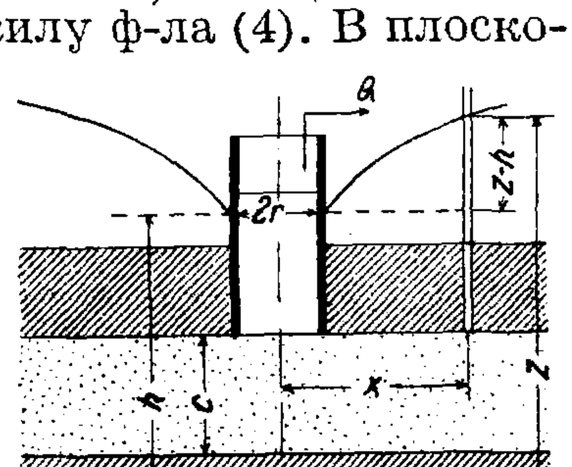
$$k = \frac{1}{2\pi x \Delta}\left(\frac{Q_1}{J_1} - \frac{Q_2}{J_2}\right). \qquad (7)$$

Подставляя величину k в одно из ур-ий (5), получим глубину грунтового потока в расстоянии x от колодца.

Ф-ла (4) выведена в предположении, что водонепроницаемый слой горизонтален. При наклонном расположении последнего (фиг. 5) м. б. легко определено положение уровня воды в двух вертикальных плоскостях, из к-рых одна расположена в направлении движения грунтового потока, а другая—перпендикулярно к этому направлению. В последней плоскости депрессионные кривые имеют то же положение, что и при горизонтальном водонепроницаемом слое, вследствие чего в данном случае имеет силу ф-ла (4). В плоскости, расположенной в направлении течения грунтового потока, депрессионные кривые получаются путем отложения глубин воды, имеющих место при горизонтальном водонепроницаемом слое от наклонного водонепроницаемого слоя, как показано на фиг. 5.



Фиг. 4.



Фиг. 5.

Фиг. 6.

При откачке воды из колодца, питаемого напорной грунтовой водой из маломощного водопроницаемого слоя (фиг. 6), скорость Ф.

$$u = \frac{Q}{2\pi x c} = k\frac{dz}{dx}, \qquad (8)$$

откуда

$$dz = \frac{Q}{2\pi k c}\frac{dx}{x} \qquad (9)$$

или

$$z - h = \frac{Q}{2\pi k c}\ln\frac{x}{r}. \qquad (10)$$

В колодце с водонепроницаемой стенкой, но с водопроницаемым дном в виде полушария (фиг. 7), расположенном в водопроницаемом слое значительной неопределенной толщины, перекрытом водонепроницаемым слоем, грунтовая вода притекает к колодцу в радиальных направлениях. Скорость Ф. при этом будет

$$u = -k\frac{dh}{dR} = \frac{Q}{2R^2\pi}. \qquad (11)$$

Потеря напора будет поэтому равна

$$dh = -\frac{Q}{2R^2\pi k}dR, \qquad (12)$$

понижение уровня воды

$$s = H - h = \int_{\infty}^{R} dh = \frac{Q}{2\pi k R}, \qquad (13)$$

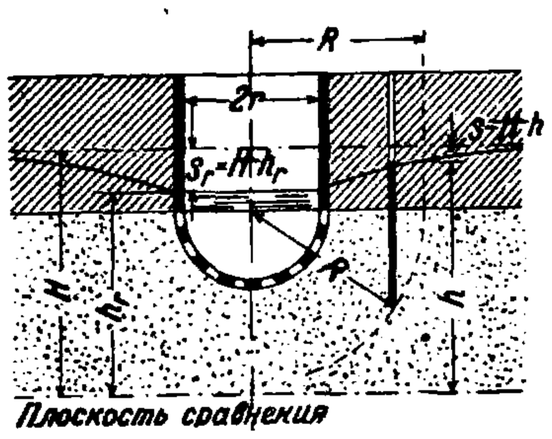
а величина

$$s_r = \frac{Q}{2\pi kr}. \qquad (14)$$

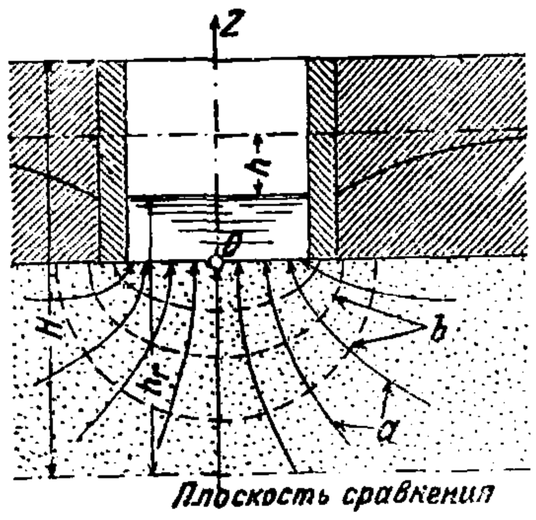
Если при тех же условиях колодец имеет плоское дно, то

$$s_r = \frac{Q}{4kr}, \qquad (15)$$

и вода фильтруется не в радиальных направлениях к колодцу, а по гиперболам (фиг. 8), фокусы которых лежат в подошве колодца у внутренней поверхности его стенки. В подошве колодца расположены также фокусы эллипсоидов вращения, представляющих собой поверхности равных пьезометрич. напоров. На фиг.: *a*—линии потока, *b*—линии равного напора (потенциальные). Ур-ия (14) и (15) приближенно верны еще тогда, когда перекрывающий слой водопроницаем, а стенки колодца не



Фиг. 7.



Фиг. 8.

пропускают воду, или когда водонепроницаемые стенки колодца незначительно погружены в водопроницаемый слой.

Если колодец находится вблизи реки на пути Ф. грунтовой воды в последнюю, причем расход воды на каждый *м* длины берега равен q_0, то с обозначениями на фиг. 9 будем иметь

$$z^2 - h_0^2 = \frac{2q_0}{k} y_0 - \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{S}{R}. \qquad (16)$$

Для определения положения уровня воды в колодце принимаем

$$R = r,\ S = 2a,\ y_0 = a,\ z = h,$$

где r—радиус колодца, и получаем

$$h^2 - h_0^2 = \frac{2q_0}{k} a - \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{2a}{r}, \qquad (17)$$

а так как

$$H^2 - h_0^2 = \frac{2q_0}{k} a, \qquad (18)$$

то имеем также

$$H^2 - h^2 = \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{2a}{r}. \qquad (19)$$

Для сечения, перпендикулярного к направлению берега и проходящего через ось колодца, будет иметь место ур-ие

$$z^2 - h_0^2 = \frac{2q_0}{k} y_0 - \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{a+y}{a-y}. \qquad (20)$$

Диференцируя это выражение, получим

$$2z \frac{dz}{dy_0} = \frac{2q_0}{k} - \frac{Q}{\pi k} \left(\frac{1}{a+y_0} + \frac{1}{a-y_0} \right).$$

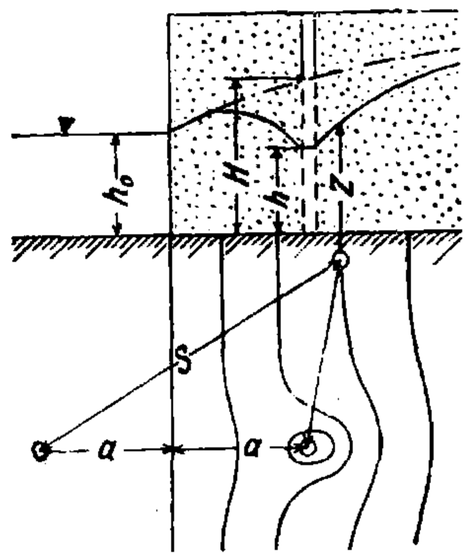
Для вершины уровенного сечения, где $\frac{dz}{dy_0} = 0$, будем иметь

$$y_0 = \sqrt{a^2 - \frac{aQ}{\pi q_0}}. \qquad (21)$$

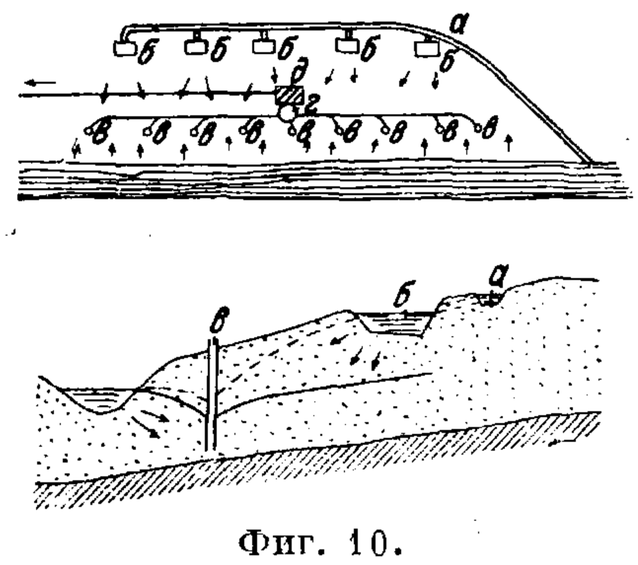
Для того чтобы речная вода не могла профильтроваться в колодец, необходимо соблюсти условие:

$$y_0 > 0 \quad \text{или} \quad a > \frac{Q}{\pi q_0}. \qquad (22)$$

При несоблюдении условий, выраженных ур-иями (17) и (22), происходит Ф. воды из рек в каптирующие сооружения. При достаточной длине фильтрационного пути речная вода приобретает свойства грунтовой воды. Этим пользуются для водоснабжения искусственной грунтовой водой. Идея такого устройства (фиг. 10) заключается в следующем: самотечный канал *а* доставляет воду из верхнего течения реки в открытые бассейны *б*, дно к-рых расположено выше естественного уровня грунтовых вод. Фильтрующаяся через дно бассейна вода поднимает уровень грунтовых вод, движется по направлению движения грунтового потока и каптируется нижерасположенными колодцами *в* (или галлереями), передающими ее сборному колодцу *г*, из к-рого вода насосами станции *д* подается к местам потребления. Линии, по к-рым располагаются бассейны и каптажные колодцы (или галлереи), д. б. параллельны водным горизонталям потока. Когда деривационного (самоточного) канала нельзя провести, то речную воду накачивают в бассейны насосами первого подъема, устанавливаемыми в здании *д*, где расположены насосы второго подъема, нагнетающие



Фиг. 9.



Фиг. 10.

воду в сеть. Дно бассейнов по мере загрязнения очищается с заменой верхнего слоя свежим песком. Длина фильтрационного пути при этом принимается обыкновенно равной 100—200 *м* за исключением тех случаев, когда грунт сильно пропускает воду. В последнем случае длина фильтрационного пути д. б. увеличена. На Франкфуртских опытных сооружениях (в Германии) фильтрационный путь в 100—130 *м* вода из р. Майн проходит в 190—250 суток, превращаясь в хорошую грунтовую воду, могущую быть использованной для целей водоснабжения. В Готебургских сооружениях (в Швеции) вода проходит путь от бассейнов с речной водой до каптажных колодцев в течение 3 месяцев со скоростью 2,2 *м* в сутки, т. е. со скоростью, принятой для Ф. на англ. фильтрах. Уклон линии пьезометрич. уровня между бассейнами и колодцами при среднем взаимном расстоянии в 200 *м* (в действительности 150÷250 *м*) будет 0,01. Нек-рые колодцы вначале давали железистую воду, а затем это явление исчезло.

В тех случаях, когда вода при маломошном водоносном слое каптируется галлереями (фиг. 11), при поступлении воды в последние с одной (продольной) стороны мы будем иметь ур-ие:

$$Q_1 = \frac{kL}{2B} (H^2 - h^2), \qquad (23)$$

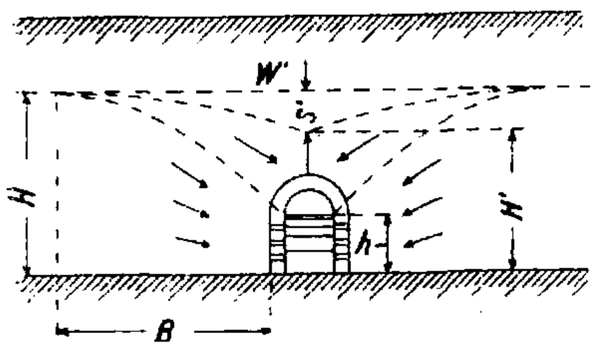
где L означает длину водосборного канала. Если водосборный канал питается водой с двух сторон, то $Q_2 = 2Q_1$. При гравелистой почве в пределах водоносного слоя количество воды определяется по ф-ле:

$$Q_1 = k_{sm} L \left[(H^{5/2} - h^{5/2}) : 2{,}5B \right]^{2/3}, \qquad (24)$$

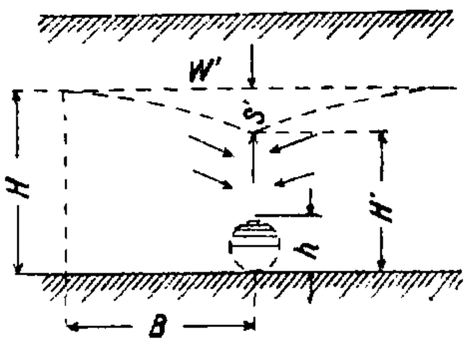
где коэфициент фильтрации (по Смрекеру)

$$k_{sm} = \frac{u}{J^{2/3}}.$$

Если понижение первоначального уровня воды W' (в водоносном слое) от питания водосборного канала (фиг. 11) происходит, как при расположении водосборной трубы (фиг. 12), лишь на



Фиг. 11.



Фиг. 12.

величину S', то количество воды, воспринимаемое и водосборным каналом и водосборной (дырчатой) трубой, будет равно

$$Q_2 = \frac{\pi L}{B}(H^2 - H'^2). \qquad (25)$$

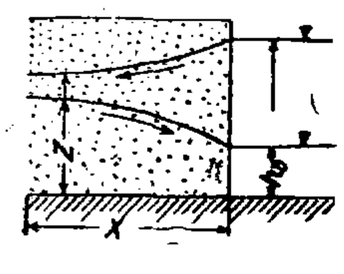
С уменьшением длины галлереи (величины L) увеличивается приток воды в таковую с лобовых (поперечных) сторон, и мы имеем тогда

$$Q_1 = \pi k \frac{H^2 - h^2}{\ln(2B : L)}. \qquad (26)$$

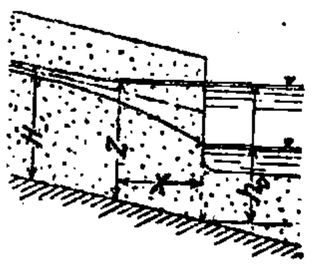
Если водосборная галлерея длиною L перехватывает весь подземный поток, то количество поступающей в нее воды получится из ур-ия:

$$Q = kLHJ. \qquad (27)$$

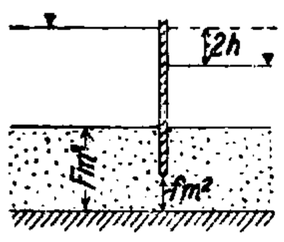
Когда грунтовые воды притекают к открытому водоему, профильтровываясь сквозь грунт, то в зависимости от уровня воды в водоеме об-



Фиг. 13.



Фиг. 14.



Фиг. 15.

разуются, как и в открытых потоках, линии подпора или спада (фиг. 13). При горизонтальном положении водонепроницаемого слоя с обозначениями на фиг. 13 мы получим для рассматриваемого случая ур-ие:

$$z^2 - h_0^2 = \frac{2q}{k}x, \qquad (28)$$

причем в зависимости от глубины h_0 воды в водоеме получается приток воды к последнему ($+q$) или фильтрация из него ($-q$). При наклонном расположении водоносного пласта (фиг. 14) с падением i в сторону реки скорость Ф. выразится ур-ием

$$u = k\left(i + \frac{dz}{dx}\right), \qquad (29)$$

и на ширину 1 *м* берега будет профильтровываться в ск. следующее количество воды:

$$q = u \cdot z \cdot 1 = k\left(iz + \frac{z\,dz}{dx}\right). \qquad (30)$$

Преобразованием последнего выражения мы в конечном результате получим

$$z - h_0 = H \ln \frac{H - h_0}{H - z} - ix. \qquad (31)$$

Когда в водоносный слой забита шпунтовая стенка (фиг. 15), то вследствие сужения поперечного сечения грунтового потока происходит потеря напора, выражающаяся разностью уровней воды по обе стороны шпунтовой стенки. Если указанная разность равна $2h$, то по Форхгеймеру $q = k_F \cdot kh$; значения k_F для различных значений отношения $f : F$ даны ниже:

$f : F$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
k_F	0,49	0,62	0,74	0,86	1,00	1,16	1,35	1,62	2,06

Величина q относится к 1 погонному метру длины шпунтовой стенки.

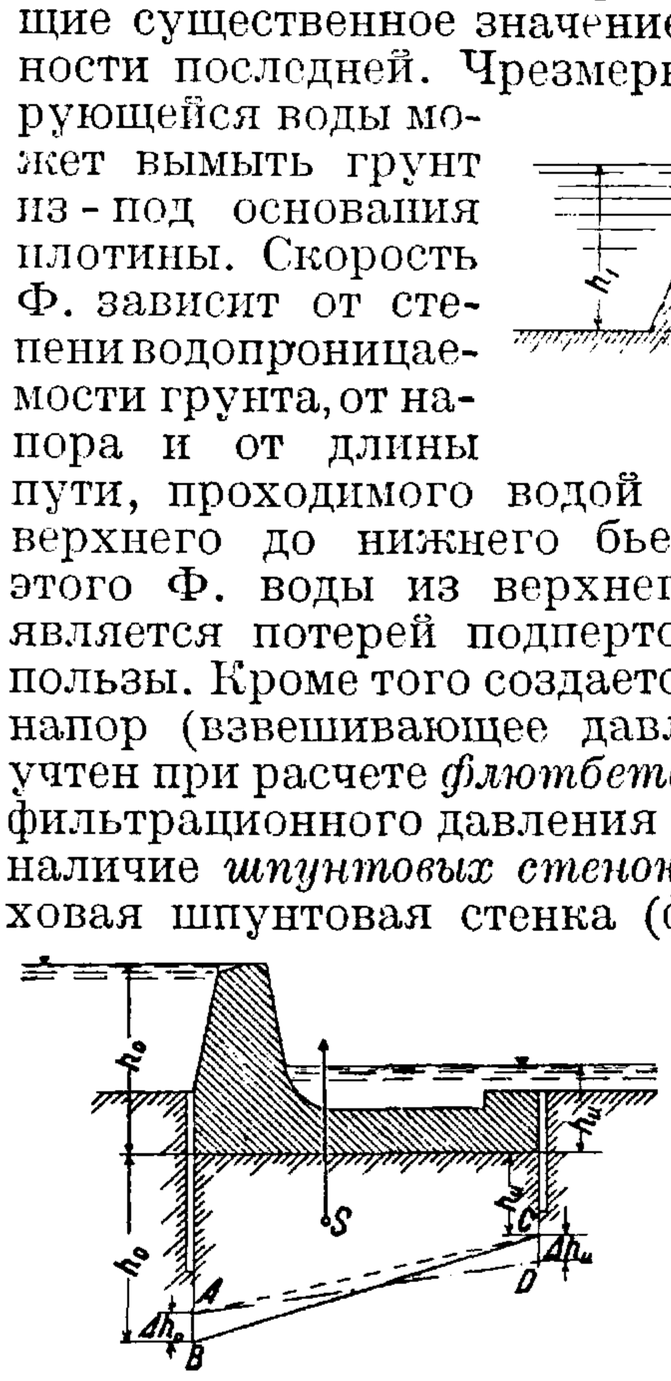
Рассматривая Ф. воды через тело плотины (фиг. 16), мы можем написать следующее ур-ие скорости Ф. поперек плотины:

$$u_x = -\frac{k}{2h} \cdot \frac{h_1^2 - h_2^2}{x_2 - x_1}. \qquad (32)$$

Количество воды, просачивающееся через плотину, считая на 1 *м* длины ее, выразится тогда ур-ием:

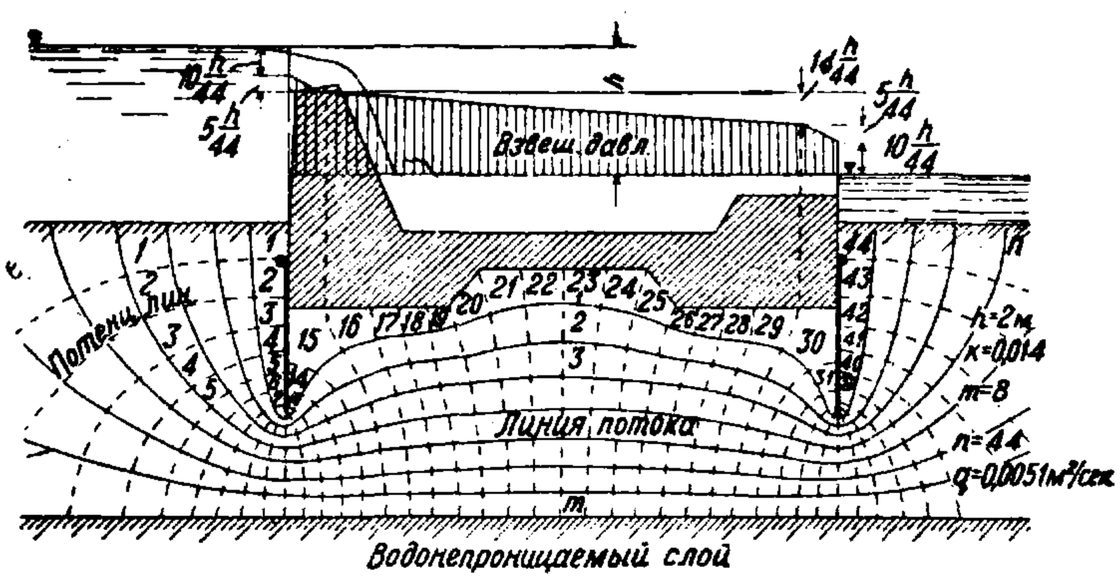
$$Q = hu_x = \frac{k}{2} \cdot \frac{h_1^2 - h_2^2}{x_2 - x_1}. \qquad (33)$$

Ф. воды под плотиной порождает явления, имеющие существенное значение в отношении прочности последней. Чрезмерная скорость фильтрующейся воды может вымыть грунт из-под основания плотины. Скорость Ф. зависит от степени водопроницаемости грунта, от напора и от длины пути, проходимого водой в толще грунта от верхнего до нижнего бьефа. Независимо от этого Ф. воды из верхнего бьефа в нижний является потерей подпертой воды без всякой пользы. Кроме того создается подфундаментный напор (взвешивающее давление), к-рый д. б. учтен при расчете *флютбета* (см.). На величину фильтрационного давления существенно влияет наличие *шпунтовых стенок* (см.), причем верховая шпунтовая стенка (фиг. 17) уменьшает



Фиг. 17.

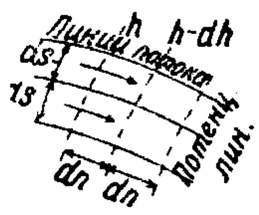
это давление на некоторую величину Δh_0, а низовая шпунтовая стенка увеличивает это давление на величину Δh_u. Это увеличение фильтрационного давления оказывает вредное влияние на прочность плотины, вследствие чего Франциус считает более правильным взамен нижнего шпунтового ряда применять двойной ряд свай. При наличии лишь верховой шпунтовой стенки взвешивающее давление охарактеризуется линией AC, а при наличии лишь низовой шпунтовой стенки (случай, едва ли встречающийся на практике) фильтра-



Фиг. 18.

ционное давление выразится примерно линией BD. Как велики получаются величины Δh_0 и Δh_u, трудно предсказать. После возведения плотины возможно произвести наблюдение над величиной фильтрационного давления под флютбетом при помощи заложенных во время постройки пьезометрических трубок. На фиг. 18 показан

графический метод определения фильтрации под плотиной, предложенный Форхгеймером и развитый Шокличем. С этой целью в водоносном грунтовом слое между составными частями плотины и поверхностью водонепроницаемого слоя наносят сетку, как показано на фиг. 18. При ширине плотины, равной 1, площадь между двумя фильтрационными линиями $df = 1 \cdot ds$ (фиг. 19), а потеря напора



Фиг. 19.

$$dh = \frac{h}{n}, \qquad (34)$$

где h означает число площадок в одной полосе между двумя фильтрационными линиями. Отсюда гидравлич. уклон получится равным

$$J = \frac{dh}{ds} = \frac{h}{nds}. \qquad (35)$$

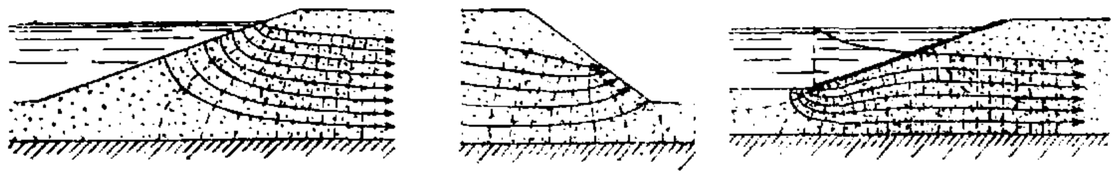
Количество профильтровывающейся через одну такую полосу воды будет следовательно равно

$$dq = u\,df = k\,\frac{h}{n\,ds}\,ds = k\,\frac{h}{n}. \qquad (36)$$

Общий расход фильтрационной воды на единицу длины плотины выразится величиной

$$Q = m\,dq = \frac{mkh}{n}, \qquad (37)$$

где m есть число указанных выше полос сетки. Между каждыми двумя начерченными потенциальными линиями (линиями равного давления) потеря напора одна и та же. На фиг. 20 показаны фильтрационные линии в теле плотины и на фиг. 21—то же у водной стороны плотины при водонепроницаемом покрытии водного откоса. Линии потока—сплошные, потенциальные линии—пунктиром.


Фиг. 20.

Фиг. 21.

Ф. пользуются для очистки воды, для получения искусственной грунтовой воды, для очистки *сточных вод* (см.) искусственным путем на различных установках и естественным путем на *полях орошения* (см.) и на полях Ф. Последние отличаются от полей орошения тем, что при этой системе не производится с.-х. использования земли, орошаемой сточными водами. Почва служит только для очистки сточных вод, напускаемых на специально сооружаемые для этой цели почвенные фильтры (фиг. 22), состоящие из бассейнов a для напуска сточных вод, окружающих эти бассейны валов b, защитных затворов c, сборного дренажа d, колодцев e для установки в них задвижек и каналов f для спуска профильтрованной воды. Отдельные участки (бассейны) затопляются водой попеременно, через определенные промежутки времени, необходимые для регенерации фильтрующего материала. Основной задачей является обеспечение возможности быстрой и безостановочной Ф. воды и проникания в почву воздуха. Если подпочва не обладает достаточной пропускной способностью, то устраивают *дренаж* (см.). При помощи Ф. через почву выделяется бóльшая часть микроорганизмов (по опытам до 98%). На полях Ф. можно при рациональном их устройстве и эксплоатации обработать в 10 раз большее количество воды, чем на полях орошения.

Фиг. 22.

Лит.: Павловский Н., Теория движения грунтовых вод под гидротехнич. сооружениями и ее основные приложения, П., 1922; Сурин А., Водоснабжение, ч. 1 (Вода и водосборные сооружения), Л., 1926; Гефер Г., Подземные воды и источники, М., 1925; Бем Б., Промышленные сточные воды, пер. с нем., М., 1932; Франциус О., Гидротехнические сооружения, пер. с нем., М., 1929; Фидман А., Об измерении гидравлич. давления под фундаментами плотин, «Труды инженеров транспорта», М., 1927, вып. 6; М., 1928; Darcy H., Les fontaines publiques de la ville de Dijon, P., 1856; Forchheimer Ph., Hydraulik, 3 Aufl., Lpz., 1930; Smreker O., Die Wasserversorgung d. Städte, Handb. d. Ing., 5 Aufl., T. 3, B. 3, 1914; Franzius O., Der Grundbau, B., 1927; Böhm B., Gewerbliche Abwasser u. ihre Reinigung, B., 1928; Bach H., Die Abwasserreinigung, Mch., 1927; Schoklitsch A., Der Wasserbau, B. 1—2, W., 1930; Prinz E., Handb. d. Hydrologie, 2 Aufl., B., 1923; Schoklitsch A., Graphische Hydraulik, Lpz., 1923; Flügel K., Kritische Untersuchung über die Theorie d. Grundwasserbewegung u. s. w. (Diss.), Karlsruhe, 1928; Hagen G., Handb. d. Wasserbaukunst, T. 1, B. 1—2, 3 Aufl., B., 1869—70, T. 2, B. 1—4, 3 Aufl., B., 1871—74, T. 3, B. 1—4, 2 Aufl., B., 1878—81; Terzaghi K., Erdbaumechanik auf Badenphysikalischer Grundlage, Lpz.—W., 1925; Ramann E., Bodenkunde, 2 Aufl., B., 1905; Lamb H., Hydrodynamics, 3 ed., Cambridge, 1906; Sichardt W., Das Fassungsvermögen von Rohrbrunnen, B., 1928; Maillet E., Essais d'hydraulique souterraine et fluviale, P., 1905; Weber H., Die Richtweite von Grundwasserabsenkungen mittels Rohrbrunnen, B., 1928; Schultze J., Die Grundwasserabsenkung in Theorie u. Praxis, B., 1924; Lueger-Weyrauch, Die Wasserversorgung d. Städte, B. 1—2, Lpz., 1914—16; Smreker O., Das Grundwasser, seine Erscheinungsformen, Bewegungsgesetze u. Mengenbestimmung, Lpz., 1914; Richert J., Die Grundwasser, Mch., 1911; Bánki D., Energie-Umwandlungen in Flüssigkeiten, B. 1, B., 1921; Gross E., Handb. d. Wasserversorgung, Mch., 1928; Lummert R., Neue Methoden d. Bestimmung wasserführender Bodenschichten, Brschw., 1917; Keilhack K., Lehrbuch d. Grundwasser- u. Quellenkunde, B., 1912; Brinkhaus P., Anlagen zur Gewinnung natürl. u. künstl. Grundwasser, B., 1920; Smreker O., Das Widerstandsgesetz bei d. Bewegung d. Grundwassers, «Journ. f. Gasbeleuchtung u. Wasserversorgung», 1915; Slichter Ch., Field Measurements of the Rate of Movement of Undergroundwaters, «19 Ann. Rep. of the W. S. Geol. Survey», Wsh., 1897—98; Smreker O., Das Widerstandsgesetz bei d. Bewegung d. Grundwassers, «Journ. f. Gasbel. u. Wass.», H. 32, 1915; Smreker O., Bestimmung d. Durchflussmenge von Grundwasserströmen, «Journ. f. Gasbel. u. Wass.», H. 26, 1918; Thiem G., Hydrologische Methoden, «Journ. f. Gasbel. u. Wass.», 1906; Thiem G., Die künstliche Erzeugung von Grundwasser, «Journ. f. Gasbeleuchtung u. Wasserversorgung», 1898; Scheelhaase, Beitrag zur Frage d. Erzeugung künstlichen Grundwasser aus Flusswasser, ibid., 1911; Schimrigk F., Die Vorarbeiten f. die Erweiterung des Wasserwerks d. Stadt Weimar, «Gas- u. Wasserfach», Mch., 1926; Smreker O., Entwicklung eines Gesetzes f. den Widerstand bei d. Bewegung des Grundwassers, «Z. d. VDI». 1878.

С. Брилинг.

ФИЛЬТРЫ, аппараты для разделения—при помощи различного рода пористых тел или перегородок—механич. смеси жидких и твердых веществ. Процесс разделения смеси на составные части называется фильтрованием, или фильтрацией; полученная после фильтрования жидкая часть смеси называется фильтратом, а твердая—осадком. В более широком смысле Ф. называются также аппараты для выделения из газов примеси различных твердых и жидких частиц, напр. Ф. для очистки воздуха от пыли—пылеуловители (см. *Вентиляция*, *Пылеуловители*), Ф. для выделения из газов твердых или жидких частиц при помощи электричества, т. н. *электрофильтры* (см.), Ф. для улавливания тонко раздробленных твердых веществ или в виде готовых продуктов производства, напр. *сажи* (см.), или с целью создания санитарно-гигиенич. условий труда и нормальной работы машин и аппаратов, напр. в мукомольном производстве (см. *Аспирация мельничных машин*) и т. д.

Величина и количество твердых частиц, находящихся в фильтруемой смеси, колеблются в очень широких пределах: начиная от очень тонкой, едва заметной на-глаз мути, имеющей коллоидную структуру с величиной частиц 0,4—0,2 μ и менее, до грубых суспензий с большим количеством осадка. Поэтому фильтрование может преследовать различные цели: 1) удалить из жидкости твердые примеси и получить совершенно прозрачный фильтрат, например при очистке питьевой воды, вина, плодового сока, при рафинировании масел и т. д.; 2) отделить от жидкости ценные твердые вещества, например флотационные концентраты в металлургии, различные химические соединения: красящие вещества, соли и т. д. Фильтрование иногда применяется также с целью удаления из жидкостей различных примесей, обусловливающих дурной вкус или запах, красящих веществ, сообщающих жидкости тот или иной нежелательный оттенок, нек-рых растворенных солей и т. д., напр. в винокуренном производстве при очистке спирта, в сахарном производстве при очистке и обесцвечивании сиропов, при очистке сточных вод и т. д. Во всех этих случаях фильтрование заключается не в механич. разделении двух фаз, а в адсорбции растворенного вещества из раствора, причем адсорбентом служит материал Ф.

Теория фильтрования. Пористые тела или перегородки, применяемые для фильтрования, называются фильтрующей средой, или фильтрующим материалом. По своей структуре фильтрующие материалы содержат большое число капиллярных каналов, имеющих неправильное извилистое направление и отличающихся между собою по длине и поперечному сечению. Минимальная длина канала равняется толщине фильтрующего слоя; что же касается поперечного сечения, то для каждого фильтрующего материала оно м. б. определено эмпирически, как нек-рая средняя величина, на основании измерения скорости прохождения жидкости через Ф. Поперечное сечение каналов м. б. меньше или больше, чем величина твердых частиц, содержащихся в фильтруемой массе. В первом случае фильтрующий материал действует наподобие сита. Однако явления, происходящие при фильтрации, более сложны, чем при механич. разделении измельченных твердых тел. В процессе фильтрования твердые частицы, задерживаясь на поверхности перегородки, образуют осадок, во многих случаях более плотный, чем сам фильтрующий материал. Поэтому последний выполняет в этом случае роль опоры, на к-рой вырастает новый фильтрующий слой, от свойств к-рого и зависит гл. обр. задерживающая способность Ф. В технике такого рода осадки получают на фильтрующем материале иногда искусственным путем. Например перед началом работы пропускают через Ф. тонкую суспензию какого-нибудь инертного вещества (например кизельгура), которая образует на фильтрующем материале слой, обеспечивающий получение прозрачного фильтрата. В некоторых производствах, напр. в виноделии (см. *Плодовое виноделие*) и в пивоваренном производстве, применяют волокна асбеста, целлюлозы и т. д., к-рые вводят непосредственно в первые порции фильтруемой смеси, пропускают через Ф. и, после того как на фильтрующем материале получится определенной толщины слой, дающий совершенно прозрачную жидкость, приступают собственно к фильтрации. На этом принципе основано устройство Ф. сист. Зейтца (см. ниже). Подобным же образом получают пленку при помощи коагулянтов в быстродействующих (американских) Ф. Во втором случае, когда твердые частицы имеют меньшую величину по сравнению с размерами каналов, они отчасти проникают через фильтрующий слой, отчасти задерживаются в нем, заполняя и постепенно уменьшая каналы до величины, меньшей, чем размер самих твердых частиц. Этим обстоятельством объясняется, почему вначале мутный фильтрат через нек-рое время становится совершенно прозрачным. Т. о. и в данном случае задерживающая способность фильтрующего материала не остается постоянной, а приобретает новые свойства. Однако в практике стремятся к тому, чтобы фильтрующие материалы по возможности менее засорялись осадком, т. к. это связано с необходимостью их очистки и уменьшением продолжительности срока службы. Чем уже каналы фильтрующего слоя, тем сильнее сказывается влияние адсорбции, электрокапиллярности и других поверхностных сил. Поэтому материалы с очень мелкими порами применяются не только для отделения механич. примесей, но также для разделения коллоидных систем, эмульсий и т. п. смесей (см. *Ультрафильтрование*). Большую роль при этом играет также и природа фильтрующего материала; наиболее значительными адсорбционными свойствами обладает уголь (см. *Животный уголь*).

При прохождении через фильтры жидкости приходится преодолевать сопротивление фильтрующего материала и сопротивление осевшего на нем осадка. Кроме того оказывают влияние и свойства самой жидкости, в особенности ее вязкость. Для преодоления этих сопротивлений применяется больший или меньший напор (давление) фильтруемой массы. Количество жидкости, проходящей в единицу времени через единицу поверхности фильтра, выражается уравнением

$$Q = \frac{P}{\Sigma r}, \qquad (1)$$

где P—давление жидкости, а Σr—сумма сопротивлений движению массы. Т. о. чем больше давление на фильтрующую поверхность и чем меньше ее сопротивление, тем больше производительность Ф. Если принять, что капиллярные трубки расположены параллельно, то давление P (по ф-ле Пуазеля) для среднего диам. капилляра равно:

$$P = \frac{32\,\mu L u}{g D^2}, \qquad (2)$$

где L—длина капилляра, D—его диаметр, u—линейная скорость жидкости, μ—абсолютная вязкость, g—коэфициент, зависящий от взятых единиц измерения. Чем толще фильтрующий слой и чем мельче его поры, тем большее сопротивление оказывает он движению жидкости. Сопротивление осадка R—переменная величина, зависящая от толщины Ф. L (к-рая постепенно увеличивается во время процесса фильтрования) и от его свойств:

$$R = \frac{rL}{A}; \qquad (3)$$

r—удельное сопротивление осадка, A—площадь фильтрующей поверхности; т. к.

$$L = \frac{v \cdot Q}{A}, \qquad (4)$$

где v—содержание твердого вещества в единице объема жидкости, Q—объем профильтрованной

жидкости, то

$$R = \frac{r \cdot v \cdot Q}{A^2}. \quad (5)$$

Исходя из ф-лы

$$Q = \frac{P}{R + \frac{\varrho}{A}}, \quad (6)$$

где R—сопротивление осадка, ϱ—сопротивление фильтрующего материала на единицу поверхности, получим для скорости фильтрации следующее ур-ие:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{PA^2}{rvQ + \varrho A}. \quad (7)$$

В виду того что толщина слоя осадка во время фильтрации постепенно увеличивается, скорость фильтрования при одном и том же давлении падает. Поэтому для поддержания во время работы постоянной скорости необходимо повышать давление. Ур-ие (7) применимо только к несжимаемым осадкам, напр. грубозернистым и кристаллическим, как песок, $CaCO_3$, $NaHCO_3$ и др. В большинстве случаев осадки при увеличении давления уплотняются (сжимаются), вследствие чего их поры уменьшаются, удельное сопротивление возрастает и скорость фильтрации уменьшается. Величина давления, применяемая в различных Ф., находится в зависимости от устойчивости и механической прочности фильтрующих материалов. Для каждого материала существует максимальное допускаемое давление, при превышении к-рого материал легко забивается осадком, быстро изнашивается или подвергается механич. повреждениям, напр. в тканях образуются дыры, разрывы и т. д. При повышении $t°$ вследствие уменьшения вязкости скорость фильтрации возрастает. Для вязких жидкостей, например масел, жиров и т. д., применяется горячее фильтрование; жидкости, содержащие легколетучие растворители, фильтруются при охлаждении. Очень важное значение для правильной работы Ф. имеет однородность фильтруемой массы; с этой целью последняя перед подачей на Ф. или в самом Ф. перемешивается при помощи мешалок или других приспособлений. Для увеличения производительности Ф. иногда предварительно отделяют часть осадка от жидкости путем отстаивания или жидкость осветляют при помощи добавки к ней опилок, глины, асбеста и т. п. веществ. В настоящее время для этой цели получили широкое применение в технике т. н. уплотнители Дорра (см. *Сода*, фиг. 11). Осадки, получаемые в фильтрах, подвергаются промывке с целью использования содержащейся в них жидкости или с целью получения осадка в более чистом виде. Промывание производят в самом Ф. или в особом резервуаре, после чего смесь отстаивают и фильтруют.

Ф и л ь т р у ю щ и е м а т е р и а л ы и т и п ы Ф. Фильтрующие материалы м. б. разбиты на следующие группы: 1) волокнистые, 2) зернистые, 3) пористые, 4) сетки, 5) мембраны, или коллоидальные пленки. 1) В о л о к н и с т ы е м а т е р и а л ы м. б. растительного, животного и минерального происхождения: а) непроклеенная бумага, вата, шерстяной или джутовый войлок, верблюжий волос, картон, асбест, стеклянная вата и др.; б) ткани: хлопчатобумажные, джутовые, шерстяные и др. Тканые фильтрующие материалы, наиболее часто применяемые в технике, изготовляются специально для целей фильтрования в виде полотна, мешков, чулков и т. д., имеющих различную прочность и плотность. Для увеличения механич. прочности в тонкие ткани вплетается каркас из более толстых нитей или металлич. проволоки. Ткани, применяемые для Ф., кроме прочности должны обладать стойкостью к химич. воздействиям. Достоинства тканых материалов—большая фильтрующая поверхность и возможность придавать им самую разнообразную форму. Материалы минерального происхождения (асбест, стеклянная вата и др.) могут применяться для фильтрования крепких растворов к-т. 2) З е р н и с т ы е м а т е р и а л ы естественного и искусственного происхождения (песок, гравий, инфузорная земля, шлак, кокс, уголь и др.) употребляются в виде кусков, зерен или порошка различных размеров для т. н. з е р н и с т ы х, или с ы п у ч и х, Ф. Наиболее часто применяются п е с о ч н ы е Ф. [для очистки воды (см. *Вода*) и др. жидкостей] с небольшим содержанием механических примесей. Обычно в нижней части Ф. помещают куски или более крупные зерна шлака, кокса, гравия и т. д., на к-рых располагаются слои крупного и мелкого песка. Зернистые фильтрующие материалы отличаются доступностью и дешевизной, стойкостью к различным реагентам, способностью регенерироваться и т. д. Костяной и древесный угли благодаря сильно выраженной адсорбции удаляют из жидкостей не только взвешенные, но также коллоидные и растворенные вещества, не задерживаемые при помощи песка и тканей. 3) П о р и с т ы е м а т е р и а л ы естественного или искусственного происхождения (песчаник, кизельгур, кокс, уголь, керамич. плитки и др.) применяются в виде пластин, цилиндров и другой формы поверхностей для т. н. п о р и с т ы х Ф. Искусственные материалы для Ф. обычно получаются путем цементирования и обжига до спекания (но не плавления) различных зернистых материалов; т. о. приготовляют перегородки любой формы, состава и химич. свойств: пластины с выпуклой или волнистой поверхностью, с различной величиной пор (посредством добавки органич. примесей) и т. д. Ф., имеющие форму полого цилиндра, называются с в е ч а м и, или с в е ч н ы м и Ф., напр. с в е ч и Ч е м б е р л е н а, изготовляемые из спекшейся, но не остеклившейся белой фарфоровой глины, т. н. б и с к в и т а (ф а р ф о р о в ы е Ф.), с в е ч и Б е р к е ф е л ь д а из кизельгура (см. *Минеральные воды*). К е р а м и ч е с к и е Ф. из кислотоупорной глины служат для фильтрования к-т (за исключением плавиковой). Угольные пористые перегородки изготовляются путем обжига смеси измельченного угля, графита и т. д. с цементирующим веществом, б. ч. пеком. Они отличаются стойкостью к щелочам и к-там. Пористые фильтрующие материалы применяются гл. обр. для фильтрования небольших количеств жидкости; они имеют б. ч. мелкие поры, дают очень чистые фильтраты, удобны в обращении, но фильтруют очень медленно и требуют повышенного давления; применяются также для фильтрования сильно нагретых жидкостей. 4) С е т к и делятся на: а) дырчатые фильтровальные поверхности (решета, цедила, сита), состоящие из металлич. листов или пластин фарфора, дерева, камня и т. д., с различной формы отверстиями (овальными, круглыми, прямоугольными, щелевидными и т. п.); применяются самостоятельно для отделения грубых частиц, напр. в пивоваренном производстве при отделении сусла от дробины, в дрожжевом и т. д., или в качестве

опоры для других фильтрующих материалов; б) металлич. ткани или сетки, изготовляемые в виде полотна, состоящего из переплетенных металлич. нитей или проволок. В настоящее время вырабатывают сетки с очень большим числом отверстий на 1 *см*²—до 4 900 и более. В качестве материала применяют различные стойкие к химич. реагентам и действию воздуха сплавы: медноникелевые (монель), фосфористую бронзу и др. Сетки применяются б. ч. в комбинации с другими фильтрующими материалами, например с тонким слоем минерального или органич. осадка. Металлич. фильтрующие материалы отличаются механич. прочностью, большой фильтрующей поверхностью, легкостью очистки. Они д. б. стойкими к действию щелочей и слабых к-т, а также обладать противокоррозийными свойствами. 5) Мембраны, или коллоидные пленки, получаются путем осаждения на фильтровальной бумаге, ткани и т. д. желатины, нитроклетчатки и т. п. веществ. Обладают очень тонкими порами. Применяются в мембранных или ультрафильтрах для разделения коллоидных суспензий самого тонкого строения. В практике нередко применяют комбинации различных фильтрующих материалов, напр. пористые пластинки или сетки с сыпучими или волокнистыми материалами. При этом первые служат б. ч. опорой для вторых. Такого рода комбинированные материалы дают возможность заменить более дорогие бумажные или шерстяные ткани и в то же время избавиться от свойственных им недостатков (напр. загрязняемости, трудности очистки, недостатка прочности и т. д.). Очистка фильтрующих материалов после фильтрации производится различными способами: волокнистые материалы моют в специальных машинах, сыпучие промывают водой при перемешивании мешалкой или с продуванием пара; сетки и пористые плитки очищают щетками и т. д. Выбор того или другого фильтрующего материала зависит от характера и свойств фильтруемой массы, требований, предъявляемых к фильтрату и осадку, механич. прочности, величины фильтрующей поверхности, способности сопротивления различным химич. воздействиям, цены, конструкции Ф. и др.

По величине применяемого давления различают следующие типы Ф.: 1) Ф. с малым давлением фильтруемой массы, в к-рых напор создается или посредством самой жидкости, образующей слой большей или меньшей высоты над фильтрующей поверхностью (открытые Ф.), или при помощи насоса. 2) Ф. с отсасыванием или разрежением воздуха, т. н. нуч-фильтры, вакуум-фильтры, в к-рых напор создается при помощи разрежения с внутренней стороны фильтрующего слоя (Ф. с наружной фильтрующей поверхностью) или с наружной (Ф. с внутренней фильтрующей поверхностью). Разрежение применяется порядка 100—150 *мм*; во всяком случае давление на фильтрующую поверхность у этого типа Ф. не может превышать 1 *atm*. 3) Ф. с высоким давлением фильтруемой массы, получаемым искусственно при помощи насосов или сжатого воздуха, напр. фильтр-прессы. Для разделения твердых и жидких веществ кроме собственно Ф. применяются: 1) фильтровальные центрифуги (см. *Центрифуги*), в к-рых напор жидкости на фильтрующую поверхность получается благодаря действию центробежной силы; 2) гидравлические и винтовые прессы (см. *Прессы*), в к-рых материал, помещенный в мешки или салфетки между плитами пресса, подвергается сильному сжатию, достигающему в гидравлич. прессах нескольких сот *atm*.

По роду работы различают периодически работающие и непрерывно действующие Ф. В Ф. первого рода фильтрующий материал после б. или м. продолжительной работы покрывается значительным слоем осадка, вследствие чего производительность фильтра падает и дальнейшая работа становится экономически невыгодной; поэтому Ф. останавливают, а фильтрующий материал подвергают очистке или полной регенерации. У непрерывно действующих Ф. эти недостатки отсутствуют, т. к. отделение жидкости, промывка осадка, удаление его с фильтрующего материала и промывка последнего производятся последовательно во время рабочего цикла Ф.

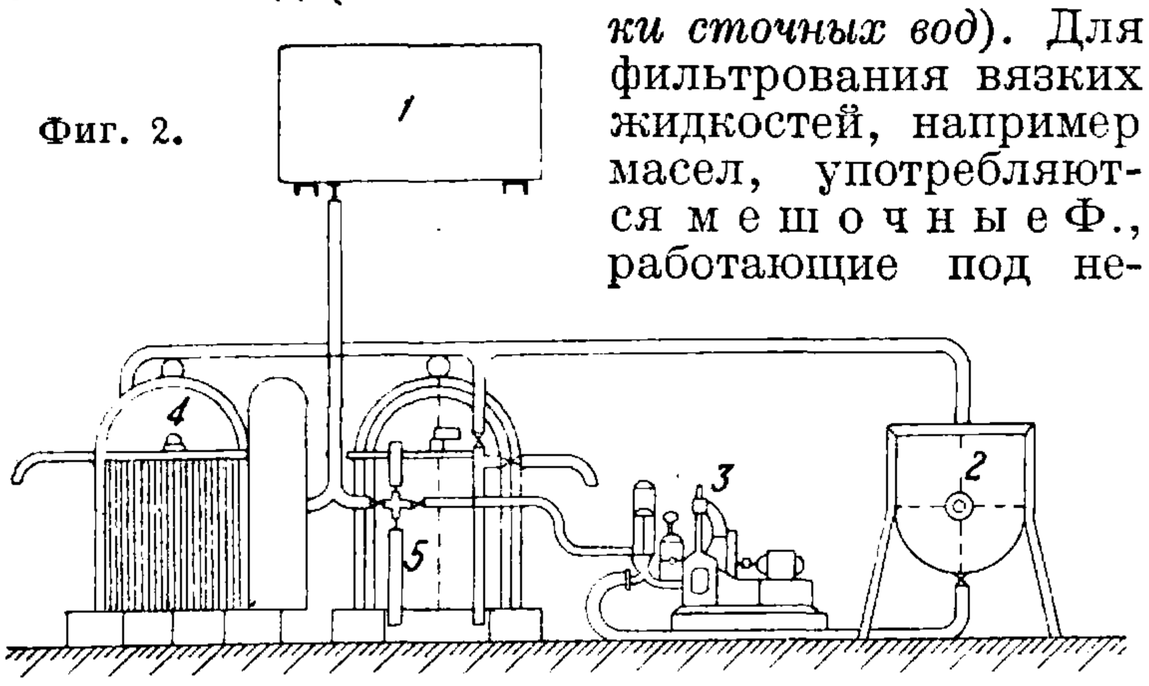
Ф. с малым давлением. Лабораторный Ф. (фиг. 1), применяемый в химич. лабораториях и мелких производствах,

Фиг. 1.

состоит из сложенного вчетверо кружка фильтровальной бумаги *1*, помещенного в воронке *2*. Во время фильтрования осадок *3* собирается на дне воронки, а фильтрат *4* в подставленный под нею приемник, напр. стакан *5*. Воронка поддерживается при помощи кольца *6*, укрепляемого на штативе *7*. Фильтровальную бумагу смачивают в воронке небольшим количеством воды или фильтруемой жидкости, чтобы она плотно прилегала к стенкам воронки и не пропускала вместе с фильтратом пузырьков воздуха; для аналитич. целей бумага должна состоять почти из чистой целлюлозы (не содержать золы и крахмала). Для увеличения производительности Ф. применяют воронки с ребристой или волнистой поверхностью или же сложенные наподобие гармоники кружки бумаги (т. н. плоеный Ф.). В кустарной пром-сти употребляются стеклянные, металлические, фарфоровые и другие воронки емкостью до 5 *л*. Вместо бумаги может применяться ткань или другой волокнистый материал. В химич. пром-сти часто применяются фильтровальные рамки, т. е. Ф., состоящие из деревянной прямоугольной рамки с натянутой на нее тканью; их помещают над чаном или другим сосудом; они служат для отделения и промывки солей, красок и т. п. соединений. Сюда же относятся Ф., состоящие из круглых или четырехугольных сосудов с дырчатым дном, на к-ром помещают слой зернистого или волокнистого материала: песка, ткани, войлока и т. д. Фильтрат собирается в пространстве между дырчатым и нижним дном сосуда, из к-рого выпускается при помощи крана. Для очистки больших количеств питьевой воды служат песочные английские и американские Ф. (см. *Вода*). Америк. (механи-

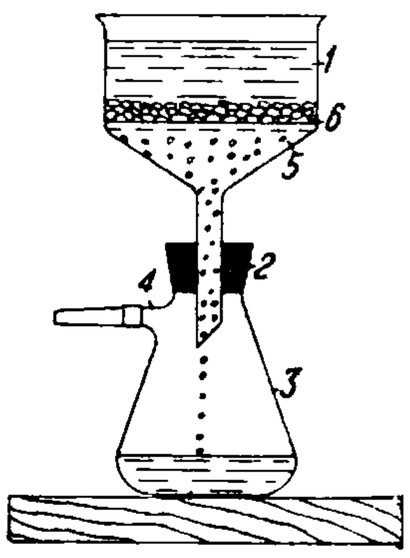
ческие) Ф. с повышенным давлением и различные Ф., состоящие из железных цилиндров, наполненных песком, цеолитом и т. п. материалами, применяются для очистки воды, идущей на различные производственные цели, для питания паровых котлов и т. д. Ф. с известняком, коксом, щебнем применяются для очистки сточных вод (см. *Биологический способ очистки сточных вод*). Для фильтрования вязких жидкостей, например масел, употребляются мешочные Ф., работающие под не-

Фиг. 2.



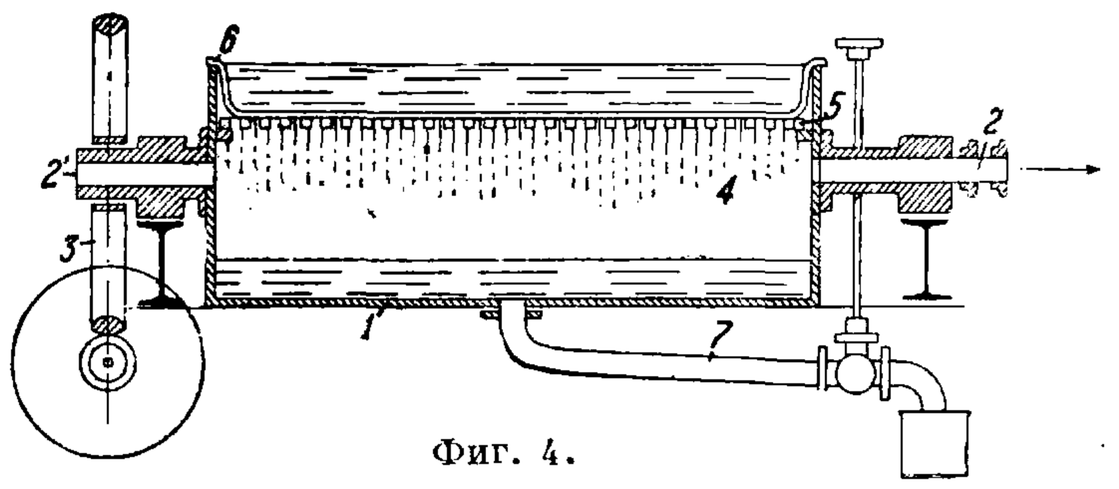
большим давлением из напорного бака или непосредственно от насоса, напр. Ф. сист. Филиппа (см. *Рафинация* масел). Широкое применение благодаря удобству работы получили т. н. заливные Ф., напр. Ф. сист. Зейтца. Установка последнего (фиг. 2) состоит из питательного резервуара *1*, мешалки *2*, насоса *3* и фильтра *4* (вид спереди при открытой крышке; *5*— тот же фильтр сзади). Ф. состоит из ящика с тонкими металлич. сетками, через к-рые при помощи насоса *3* из мешалки *2* нагнетается эмульсия фильтруемой массы с тонко раздробленным асбестом до тех пор, пока на сетках не получится слой толщиною с бумажный лист, после чего приступают к фильтрованию массы из резервуара *1*. Нормальный напор жидкости 0,2 *atm*, максимум 0,5 *atm*. Использованный фильтрующий слой заменяется через нек-рое время свежим.

Ф. с отсасыванием или разрежением (нуч-фильтры, вакуум-фильтры). Простейшим представителем этого рода Ф. является лабораторный нуч-фильтр (фиг. 3),



Фиг. 3.

состоящий из фарфоровой воронки Бюхнера *1*, плотно соединенной при помощи каучуковой пробки *2* с толстостенной стеклянной конич. колбой *3*. Для получения вакуума колба соединяется посредством тубулуса *4* и каучуковой трубки с воздушным насосом. Фильтрование производится след. образом: на дырчатое дно *5* воронки помещают бумагу, ткань, асбест или другой фильтрующий материал *6*, после чего пускают в работу насос и наливают в воронку фильтруемую массу. Осадок распределяют по всей поверхности фильтрующего материала и, если нужно, промывают водой. По окончании фильтрования насос выключают, и воронку осторожно отделяют от колбы. Нуч-фильтр, или нуч-аппарат, применяемый в пром-сти (фиг. 4), состоит из горизонтального сваренного железного ящика *1*, установленного на полых цапфах *2*, *2'*, около которых он может поворачиваться (для более легкого удаления осадка) при помощи червячной передачи *3*. Ящик имеет двойное дно, образующее камеру *4*, из к-рой насосом отсасывают воздух через полую цапфу *2*. Верхнее дно ящика устраивается из металлич. сетки или решетки *5*, на к-рой помещается фильтрующий материал, напр. ткань, *6*. Вместо насоса для разрежения иногда применяется инжектор Кертинга, присоединяемый непосредственно к стенке ящика. Фильтрат, собирающийся в камере *4*, отводится при помощи насоса или барометрич. спуска по трубе *7*. Для нуч-фильтра небольшого размера употребляются керамич. чашеобразные сосуды, у которых верхняя часть с находящимся в ней фильтрующим материалом может отделяться от нижней и по мере накопления осадка заменяться новой. Преимущество нуч-фильтра перед Ф., работающими под собственным давлением жидкости, состоит, помимо увеличения скорости фильтрования, в возможности более полного удаления из осадка жидкости и промывных вод, благодаря чему фильтраты получаются более концентрированными. Нуч-фильтры обычно применяются для смесей, содержащих большие количества осадков, гл. обр. кристаллич. строения. В настоящее время они вытесняются непрерывно действующими вращающимися *вакуум-фильтрами* (см.). Последние в зависимости от формы фильтрующей поверхности делятся на барабанные, дисковые и плоские Ф. Из них наиболее часто применяются барабанные вакуум-фильтры (Полизиуса, Вольфа, Оливера, Доррко и др.), работающие

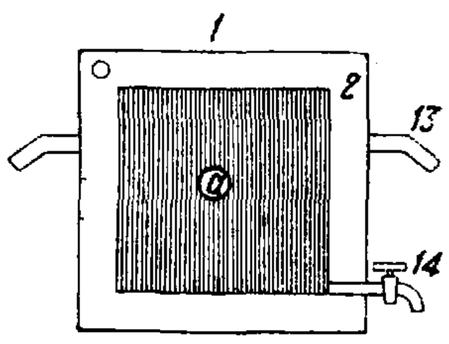


Фиг. 4.

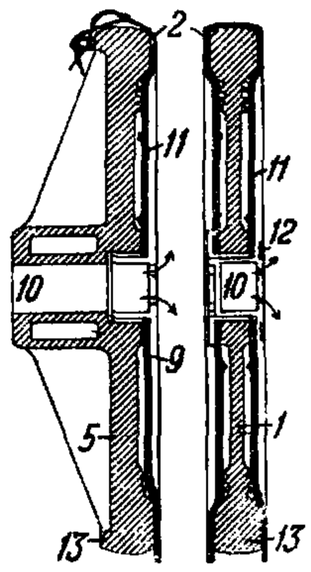
в самых разнообразных отраслях пром-сти: в металлургии, в основной химич. пром-сти, красочной, целлюлозной, керамической (см. ниже Ф. в керамической промышленности) и т. д. Плоские, или тарелочные, вакуум-фильтры состоят из горизонтальной вращающейся тарелки, под к-рой расположены по кругу плоские горизонтальные камеры, отделенные от дна тарелки металлич. сетками, обтянутыми фильтровальной тканью. При вращении тарелки отдельные секторы ее проходят под камерами, содержащими вакуум или сжатый воздух: в первом случае происходит отсасывание жидкости, во втором— взрыхление осадка, к-рый затем при помощи особого скребка автоматически удаляется с тарелки. После взрыхления осадка, если требуется промывка, м. б. пущена вода, удаляющаяся из осадка при следующем вакууме. Преимущество этого Ф. заключается в возможности взрыхления осадка и получения его на фильтрующем материале в виде слоя значительной толщины, т. к. сила тяжести при этом устройстве Ф. способствует удалению из осадка жидкости. Употребляется гл. обр. для фильтрования тестовидных (полужидких) масс и грубых осадков.

Фильтр-прессы и другие Ф. высокого давления. Фильтр-прессы принадлежат к аппаратам, работающим периодически под давлением б. ч. до 6—8 *atm*; в более редких случаях давление повышается до 10—12 *atm* и более. Различают 2 системы фильтр-

прессов: к а м е р н ы е и р а м о ч н ы е. Камерный фильтр-пресс дан на фиг. 5б (схематич. разрез фильтрующих элементов), фиг. 5а—внешний вид плиты в уменьшенном масштабе; фиг. 6—внешний вид фильтр-пресса; он состоит из ряда плит *1*, снабженных по краям пришлифованными выпуклыми бортами *2*, благодаря к-рым между каждыми двумя соединенными друг с другом смежными плитами образуется герметич. фильтровальная камера. Плиты снабжаются приливами (лапами) *13*, при помощи которых они навешиваются перпендикулярно к оси Ф. на горизонтальные бруски *3*, укрепленные в станине *4*; плиты зажимаются между заключительными головными плитами, из

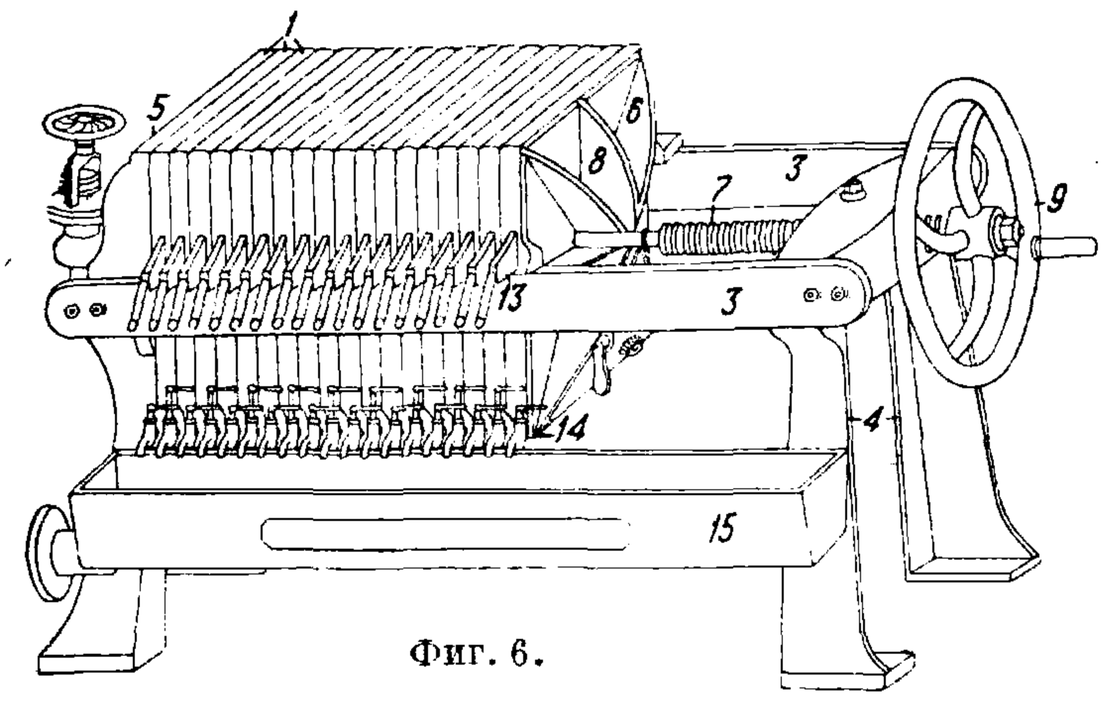


Фиг. 5а.



Фиг. 5б.

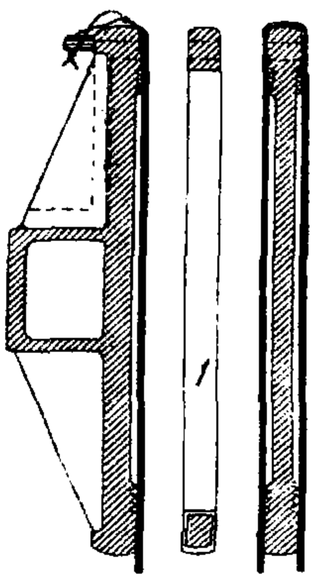
которых задняя *5*—неподвижна, а передняя *6* при помощи винта *7*, упирающегося с одной стороны в гнездо *8*, а с другой имеющего маховичок *9*, может передвигаться взад и вперед (в больших фильтр-прессах вместо маховичка и винта для передвижения плиты и стягивания пресса применяется гидравлич. пресс или компрессор). Плиты камерного фильтр-пресса имеют посредине отверстие *а;* при стягивании плит эти отверстия образуют центральный канал *10*, в к-рый при помощи насоса подается фильтруемая масса, распределяющаяся затем по отдельным фильтровальным камерам. Фильтрующим материалом служит хл.-бум. или другая ткань (салфетки); ткань *11* сшивается в виде



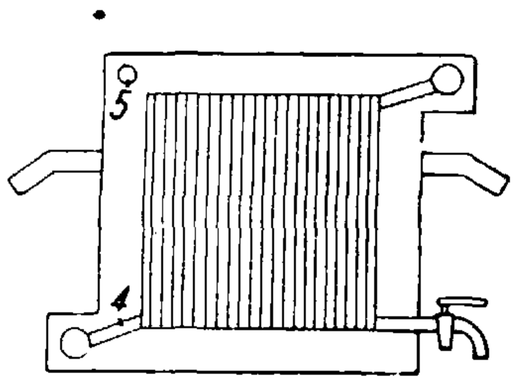
Фиг. 6.

плоского мешка, к-рый натягивается на плиту, после чего края вырезов против центрального канала плотно прижимаются к плите при помощи муфт с фланцами *12* (движение фильтруемой массы показано стрелками). При проходе через фильтрующую ткань осадок задерживается в камере, а фильтрат стекает по рифленой поверхности плит вниз и удаляется из фильтр-пресса при помощи кранов *14* в общий жолоб *15*.

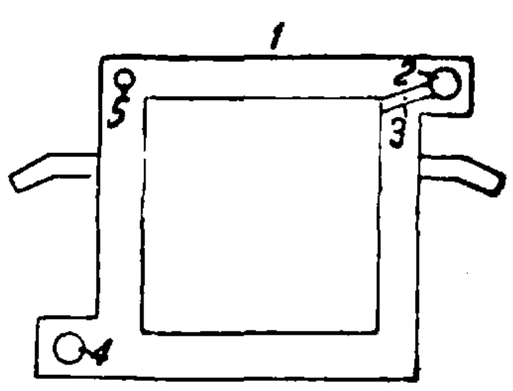
У рамочных фильтр-прессов (фиг. 7—схематич. разрез фильтрующих элементов; фиг. 7а—внешний вид плиты и фиг. 7б — внешний вид рамы в уменьшенном масштабе) между смежными плитами помещается полая рама *1*, имеющая сечение и размеры, одинаковые с плитой. В рамочных фильтр-прессах укрепление салфеток производится значительно легче. Для этого отрезают полосу ткани, длиною несколько превышающую двойную высоту плиты, вырезают в соответствующих местах отверстия и обтягивают этой полосой плиту. Подача фильтровальной массы в рамочных прессах производится по каналу *2*, расположенному в борту пресса или в специально приделанных к нему карманах, из которого она через соответствующие ответвления *3* поступает затем в полые рамы. Кроме питательного канала плиты и рамы имеют еще отверстия для подачи воды *4* и отвода воздуха *5*, а в случае горячей фильтрации устраиваются также обогревательные каналы, через которые пропускают горячую воду или пар. После фильтрации осадок (лепешки) промывают водой, после чего фильтр-пресс разбирают, очищают от осадка и, если нужно, сменяют салфетки. Фильтр-прессы имеют большею частью квадратное или прямоугольное сечение; размер плит и рам обычно ок. 700—1 000 *мм* в стороне, при 20—30 *мм* толщины. Число камер находится в зависимости от величины фильтр-пресса, б. ч. равно 30—42, но употребляются также фильтр-прессы и более крупных размеров. Материа-



Фиг. 7.



Фиг. 7а.

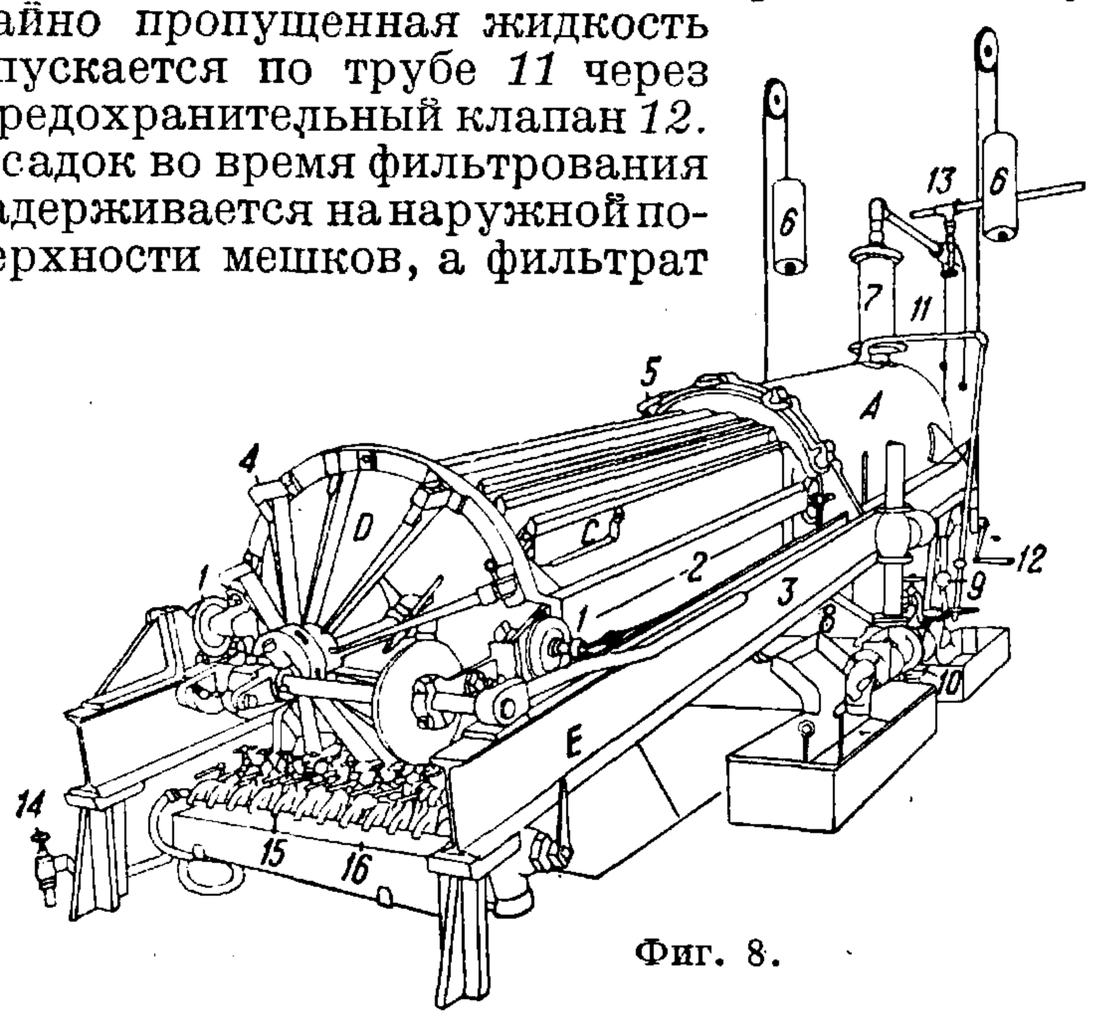


Фиг. 7б.

лом служит чугун или дерево, в нек-рых случаях употребляется также освинцованное или обтянутое резиной железо, эбонит и др. Фильтр-прессы обладают следующими преимуществами: 1) большой фильтрующей поверхностью при малом размере занимаемой площади, 2) возможностью применения различных давлений, 3) способностью разделять смеси с различным содержанием твердых веществ, 4) производить фильтрование горячих жидкостей, 5) достаточно хорошей промывкой осадка, 6) доступностью контроля и осмотра. К недостаткам их следует отнести: 1) прерывность работы, 2) расход, связанный с заменой салфеток, которые после определенного срока службы становятся негодными к употреблению, 3) затрата работы и времени на сборку и разборку фильтр-пресса. Камерные фильтр-прессы применяются при относительно незначительном количестве осадка; при большом содержании последнего целесообразнее применять рамочные фильтр-прессы, дающие возможность получения также и более совершенной промывки. Конструкция камерных фильтр-прессов проще, кроме того они имеют более широкий питательный канал и не так легко засоряются, как узкие каналы рамочных прессов. Благодаря большей плотности и надежности соединения частей камерные фильтр-прессы более пригодны для работы при высоких давлениях; зато закладка салфеток по сравнению с рамочными прессами производится у них более сложно.

Кроме фильтр-прессов в настоящее время применяются специальные конструкции Ф., работающие под внешним давлением (Ф. системы

Келли, Свитланда и др.). Ф. сист. Келли (фиг. 8) состоит из горизонтального пустотелого цилиндра *A* с крышкой *D*, к которой прикреплены параллельно оси Ф. 6÷12 фильтровальных элементов *C*. Каждый элемент состоит из проволочной рамки, на к-рую натянут мешок из фильтровального полотна. Крышка *D* вместе с рамками и сдерживающими брусками *2* уравновешена при помощи противовесов *6* и может вкатываться и выкатываться из цилиндра *A* на колесах *1* по рельсам, укрепленным на балках *E*. Для плотного затвора крышки *D* в цилиндре служат стержни *4*, входящие при повороте ключа *3* в соответствующие проушины *5*. Фильтруемая масса подается в цилиндр при помощи насоса через вентиль *10*. Регулятор *7*, служащий для отвода воздуха, после наполнения цилиндра автоматически закрывается. Случайно пропущенная жидкость спускается по трубе *11* через предохранительный клапан *12*. Осадок во время фильтрования задерживается на наружной поверхности мешков, а фильтрат



Фиг. 8.

проникает внутрь и отводится при помощи трубок наружу, где сливается через краны *15* в общий приемник *16*. Когда на мешках накопится большое количество осадка, смесь (а также и промывные воды) выпускается из котла через краны *9*. Затем в цилиндр впускают по трубе *13* сжатый воздух для вытеснения остатка жидкости, после чего промывают осадок водой в том же направлении, в каком производилась и фильтрация. После сушки осадка крышка *D* освобождается и выкатывается из цилиндра, и осадок удаляется с мешков при помощи сжатого воздуха, подаваемого через специальный вентиль *14*, в сборную воронку *8*. Ф. системы Келли по сравнению с фильтр-прессами обладают следующими преимуществами: требуют крайне мало ручной работы, дают бо́льшую производительность на 1 *м*² фильтрующей поверхности, расходуют меньше воды на промывку, сокращают перерывы в работе и меньше изнашивают фильтрующую ткань при достаточно высоком давлении. Поэтому Ф. сист. Келли быстро привились в сахарной, фосфатной, глиноземной, содовой и других отраслях пром-сти, а также для выщелачивания руд. Еще большими достоинствами отличается Ф. сист. Свитланда, у к-рого фильтрующие элементы подвешиваются внутри цилиндра перпендикулярно к его оси и остаются в нем в продолжение всей работы фильтра. Для удаления осадка нижняя половина цилиндра откидывается вниз, вращаясь около шарнира, благодаря чему фильтр занимает при большой фильтрующей поверхности очень малую площадь.

Лит.: К и р о в А., Аппаратура и основные процессы химической технологии, М.—Л., 1927; К л и м о в Б., Достижения герм. техники в области производства химич. аппаратуры, М., 1929; Я м п о л ь с к и й Л., Фильтровальная аппаратура, Л., 1932; Ф о к и н Л., Методы и орудия химической техники, ч. 2, Обработка жидкостей, Л., 1925; Ф о к и н Л. и П а в л о в К., Методы расчета типовой химической аппаратуры, 2 изд., Л., 1932; L i d d e l D., Handbook of Chemical Engineering, N. Y., 1922; B ü h l e r F., Filtern u. Pressen, Lpz., 1921; K i e s e r A., Handbuch d. chemisch-technischen Apparate, Lpz., 1932; W a l k e r W., L e w i s W. u. M c A d a m s W., Principles of Chemical Engineering, N. Y., 1927; W r i g h t A., Industrial Filtration, N. Y., 1923; Ullm. Enz., 2 Aufl., B. 5, 1930; S c h r ö d e r U., Die chemischen Apparate, Lpz., 1920; W o l l a s t o n T., Filtration, L., 1922; B u c h n e r, «Achema», Jg. 1925—30; S t o l l e n w e r k W., Neues über Filtration, «Ztschr. f. angew. Chem.», Lpz., 1927, p. 203; W o l f R., Die Zellenfilter-Saugtrockner, «Technische Warte», B., s. a.; W ü r t h K., Über die Verwendung von Zentrifugen an Stelle von Filterpressen, «Ztschr. f. angew. Chem.», 1926, p. 688; B l o c k B., Gedanken zur stetigen Filtration, «Zentralblatt für die Zuckerindustrie», Magdeburg, 1928, Jg. 36, *42—44*; Dorrco-Filter, «Die chem. Fabrik», B., 1928, p. 218; E g g e r F., Vergleichende chemische Untersuchungen über die Wirkung v. Langsam- u. Schnellfilteranlagen, «Chem.-Ztg», 1927, p. 94; H ü t t i n g G. u. K ü k e n t h a l H., Quarzgeräte mit filtrierenden Böden, ibid., 1925, p. 716; L u d w i g F., Über Bau u. Betrieb v. Filterpressen, «Chem. Apparatur», Lpz., 1916, p. 117, 127; P o l l a k F., Filterplatten aus Glaswolle, «Chem.-Ztg», 1927, p. 43; Z s i g m o n d y R., Über feinporige Filter u. neue Ultrafilter, «Ztschr. f. angew. Chem.», Lpz., 1926, p. 398; G e i s l e r K., Neuere ununterbrochen arbeitende Filter für schlammige Massen, «Z. d. VDI», 1928, B. 72, p. 1089—1092; G e i s l e r K., Late Developments in Continuous Filtering Machines for Sludges, «Eng. Progress», 1929, *2*, p. 36—39; R a b e, Moderne Filtrierapparate, «Chem.-Ztg», 1921, p. 501, 532. **П. Черенин.**

Ф. водопроводные. Для очистки воды при водоснабжении городов и поселений применяют медленно действующие (английские) Ф. и быстро действующие (американские) Ф. (см. *Вода*). Для определения размеров Ф. надо задаться количеством воды, которое профильтровывается в единицу времени через единицу песчаной поверхности Ф., что определяется для каждого случая предварительным опытом.

При расчете а н г л и й с к и х Ф. можно при общих соображениях принять, что при полной толщине фильтрующего слоя в 1,4 *м* и при глубине фильтруемой воды над Ф. в 1 *м* процеживается в сутки при нормальных условиях на 1 *м*² 1,5 ÷ 2,5 *м*³, или в среднем 2 *м*³, причем скорость протекания принимается равной 6—10 *см/ч*. Если Q *м*³ есть суточный расход воды, то полезная площадь Ф. (в *м*²)

$$S = \frac{Q}{q},$$

где q есть скорость фильтрации, выраженная в *м*³ профильтрованной воды, получаемой с одного *м*² поверхности фильтрующего слоя в сутки. Эту площадь разбивают на n равных частей, по числу отделений Ф., и прибавляют 1 или 2 запасных отделения на случай чистки и ремонтных работ. Число n не д. б. велико, т. к. чрезмерное дробление удорожает устройство несмотря на относительное уменьшение добавочной площади для запасного отделения при увеличении n. Берут n для малых городов от 3 до 4, для больших городов от 6 до 7, за исключением конечно больших столичных городов, к-рые могут иметь до 12 отделений, имея в виду большую потребность в воде и что от уменьшения числа отделений таковые получались бы чрезмерно большими. Наивыгоднейшая длина l отделений Ф. при ширине каждого отделения b, числе отделений Ф. n—действующих и m—запасных и площади Ф. $S = nbl$ будет

$$l = \sqrt{\frac{2S(n+m)}{n(n+m+1)}};$$

ф-лу эту получают по следующим соображениям.

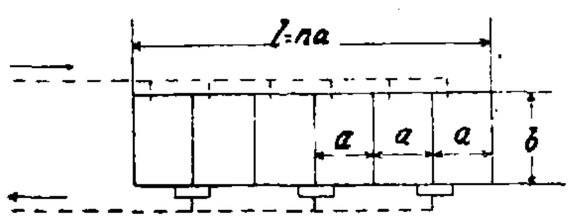
Общая длина ограждающих отделения стенок

$$L = l(n + m + 1) + 2b(n + m).$$

Для отыскания L_{min} приравниваем нулю производную от L по l. Тогда получим

$$\frac{dL}{dl} = (n + m + 1) - \frac{2S(n+m)}{nl^2} = 0,$$

откуда и определяется величина l. Вторая производная от L по l покажет, что при полученном l (положительном) стоимость стенок Ф.получится наименьшей. Форма отделений Ф. обыкновенно прямоугольная с отношением сторон 1 : 2 или 1 : 3. При вычислении рабочей площади Ф. не следует забывать о площади, отнимаемой столбами сводов, располагающимися в расстояниях 3—4 *м* один от другого. По фиг. 9 имеем



Фиг. 9.

$$l = na; \quad S = (n - m)ab,$$

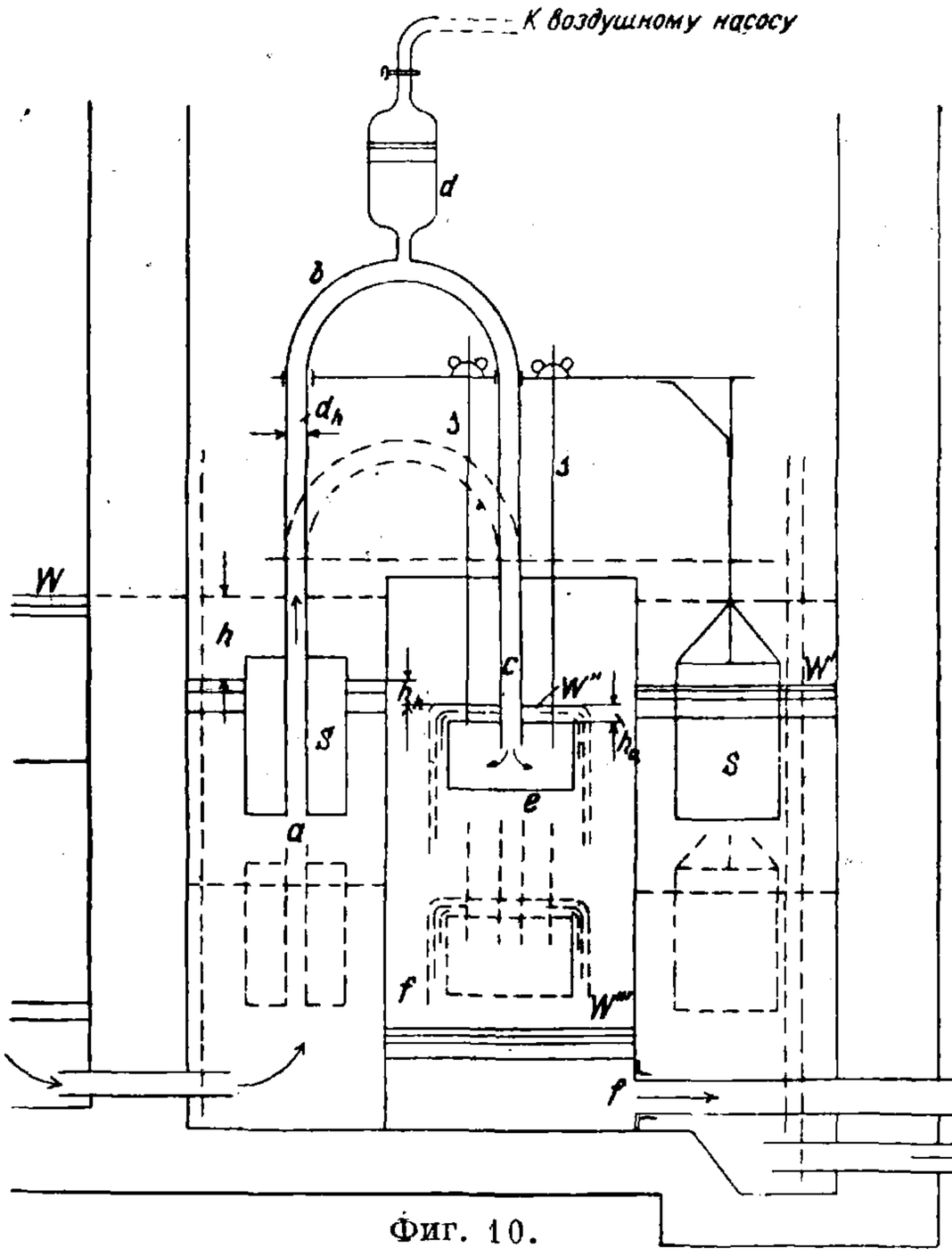
где n—полное число отделений и $(n - m)$—число действующих отделений. Наивыгоднейшее соотношение размеров отделений Ф. выразится сл. обр.:

$$\frac{a}{b} = \frac{n+1}{2n}.$$

Из последних двух выражений получим:

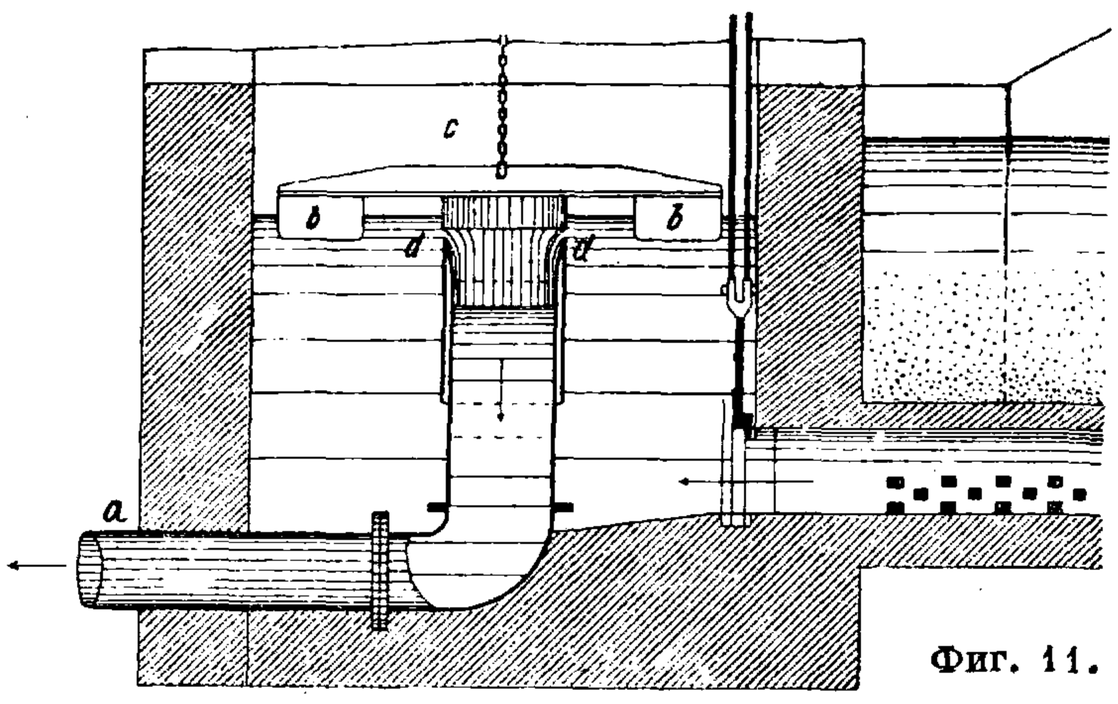
$$b = \sqrt{\frac{2nS}{(n-m)(n+1)}}.$$

Все рационально устроенные Ф. должны гарантировать постоянство скорости фильтрации независимо от потери напора в Ф. С этой



Фиг. 10.

целью каждый Ф.снабжают регулятором скорости. Для регулирования скорости фильтрации м. б. использован поплавковый регулятор (фиг. 10), к-рый при всяком положении Ф. подает в единицу времени постоянное количество фильтрата. Этот прибор отличается большой точностью. Со дна Ф., в к-ром уровень непрофильтрованной воды находится в положении W, фильтрат проходит через трубу в регулировочную камеру. На трубе поставлена задвижка, допускающая выключение камеры. В период действия камеры уровень воды в ней находится в положении W'. Уровень W' расположен на величину h ниже уровня W. Разность этих уровней воды не должна превосходить 0,6 *м*. В воде, находящейся в регулировочной камере и имеющей уровень W', находится поплавок SS, несущий сифон abc; к верхней части последнего присоединен сосуд d, из к-рого воздушным насосом высасывается воздух, благодаря чему сифон приводится в действие. Высасывание воздуха из сосуда d повторяется лишь тогда, когда вода в последнем опустится до верхнего края сифона. Ниспадающее колено сифона погружено в переливной сосуд e, подвешенный к сифону. Из этого сосуда фильтрат переливается при уровне воды W'' в изолированное от остального помещения регулировочной камеры отделение f. При опускании сифо-



Фиг. 11.

на на наибольшую величину дно сосуда e не затрагивает поверхности W''' воды. Разность h_h высот уровней W' и W'' представляет собой потерю напора в сифоне. Производительность Ф. выражается величиной

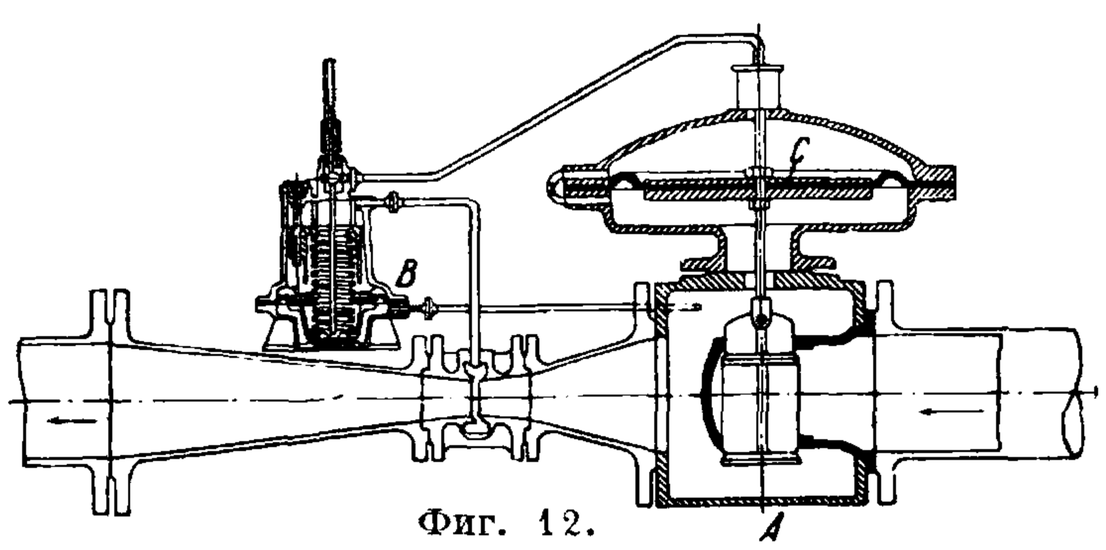
$$Q_{h_1} = S_{h_1} \cdot v_f,$$

где S_{h_1}—поверхность песчаного слоя Ф., обслуживаемого рассматриваемым регулятором скорости, а v_f—скорость фильтрации. В сифонной трубе с диам. d_h скорость фильтрации м. б. принята равной $v_h = 0{,}7$ *м/сек*. Определенная расчетом величина h_h является лишь приближенной в виду ненадежности величин коэф-тов сопротивления. Поэтому действительное количество переливающейся воды д. б. сначала определено опытным путем, а переливной сосуд д. б. при помощи подвесных тяг s установлен так, чтобы перелив отвечал требуемой величине Q_{h_1}.

На фиг. 11 показан прибор, регулирующий скорость фильтрации по Линдлею и Гетце. На вертикальный патрубок, прикрепленный к отводящей трубе a, надет стальной штуцер, снабженный сальником, позволяющим штуцеру свободно перемещаться по вертикали без пропуска воды. К верхней части штуцера прикреплено коромысло, опирающееся на два поплавка b, b; коромысло подвешено на цепи c и уравновешено грузом. В верхней части штуцера имеются четыре прямоугольных отверстия, закрываемых регулировочной задвижкой. Штуцер, плавая на поплавках, всегда погружен поэтому на одинаковую глубину, независимо от уровня воды в приемном (для профильтрованной воды) отделении Ф.—резервуаре, вследствие чего количество воды, вытекающей по трубе a, остается всегда при определенном открытии задвижки постоянным. Поплавки b, b, регули-

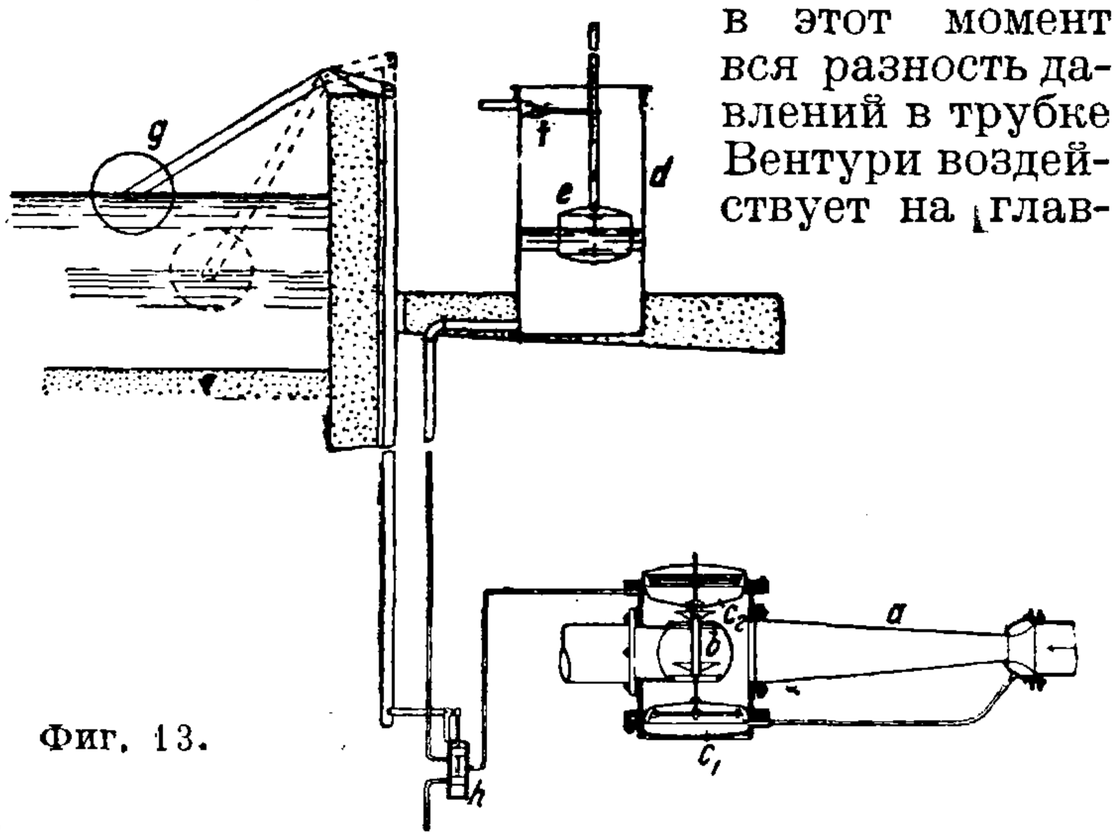
рующие впуск одинакового количества воды через отверстия d, d, делаются медными, полыми. Цепь c идет к противовесу, устанавливающему спуск количества воды.

Фиг. 12 изображает регулятор скорости сист. Бамаг (BAMAG). Он состоит из регулировочного вентиля A и регуляторного приспособления, приводимого в действие трубкой Вентури. Когда жидкость в этой трубке находится в покое, происходит при помощи соединительных трубок выравнивание давления в помещениях выше и ниже мембраны B, а также выше и ниже мембраны C регулировочного аппарата. Вследствие выравнивания давления пружина регу-



Фиг. 12.

ляторного приспособления теряет свое напряжение и находящийся в последнем стержень опускается, а вместе с ним и помещающийся в верхней части этого приспособления шаровой клапан. Благодаря подвешенному к мембране регулировочного аппарата противовесу эта мембрана продолжает опускаться и открывает регуляторный вентиль. При движении воды в водоводе регуляторный вентиль остается открытым до тех пор, пока разность давления перед трубкой Вентури и в наиболее узком ее месте достигнет такой величины, к-рая будет в состоянии преодолеть загрузку (силу пружины) мембраны регуляторного приспособления, приподнять мембрану и открыть шаровой клапан. Благодаря этому полость над мембраной C регулировочного аппарата соединяется с наиболее узким местом трубки Вентури, т. ч. в этот момент вся разность давлений в трубке Вентури воздействует на главную мембрану C, причем так, что под ней будет действовать большее давление перед трубкой Вентури, а над ней—меньшее давление в наиболее узком месте трубки Вентури.



Фиг. 13.

На фиг. 13 представлен регулятор скорости сист. Вентури, где a—трубка Вентури, b—регулировочный вентиль, c_1 и c_2—мембраны, d—поплавковый сосуд, e—поплавок с перестановочной штангой, f—вентиль, g—поплавок в фильтре, h—поршневая задвижка. Действие этого регулятора ясно из сказанного выше.

При расчете американских фильтров можно принять скорость фильтрации равной 5—6,5 *м/ч*. Считаясь с возможностью выключения m отделений на ремонт из числа n отделений Ф., можно определить величину расчетной скорости из условия

$$n \cdot v = (n - m) \cdot 6{,}5,$$

откуда

$$v = \frac{(n-m)}{n} \cdot 6{,}5.$$

Необходимая фильтрующая площадь установки может быть вычислена (в $м^2$) по приближенной ф-ле

$$S = \frac{1{,}05 \cdot Q}{24\,v},$$

где Q—суточная потребность в фильтрованной воде (в $м^3$), v—часовая скорость фильтрации (в *м*), 1,05—коэф., учитывающий расход воды на промывку и простой фильтров. Более точно необходимая площадь рассматриваемых Ф. может быть определена (в $м^2$) по ф-ле

$$S = \frac{QT}{24\,tv - 86{,}4wx},$$

где Q—чистая суточная потребность фильтрованной воды, T—минимальная продолжительность одного цикла работы одного Ф. от начала одной промывки до начала другой (нормально можно принять $T = 12$ час.), t—продолжительность полезной работы одного Ф. за один такой цикл (обыкновенно $t = 11{,}5$ час.), w—интенсивность промывки (5—6 *л/ск* для мешалочных Ф. и 10—12 *л/ск* для безмешалочных), x—максимальная продолжительность промывки в долях часа (0,13—0,17 ч. для мешалочных и 0,08—0,010 ч. для безмешалочных). Напор промывной воды определяется сопротивлением в песке, гравии, в отверстиях дренажа и пр.; кроме того необходимо предусмотреть 1—2 *м* на начальную потерю в загрязненном песке. Сопротивление песка, выраженное в *м* вод. столба, м. б. определено по ф-ле

$$h = [0{,}83 + 0{,}008\,(w - 2{,}5)]\,H,$$

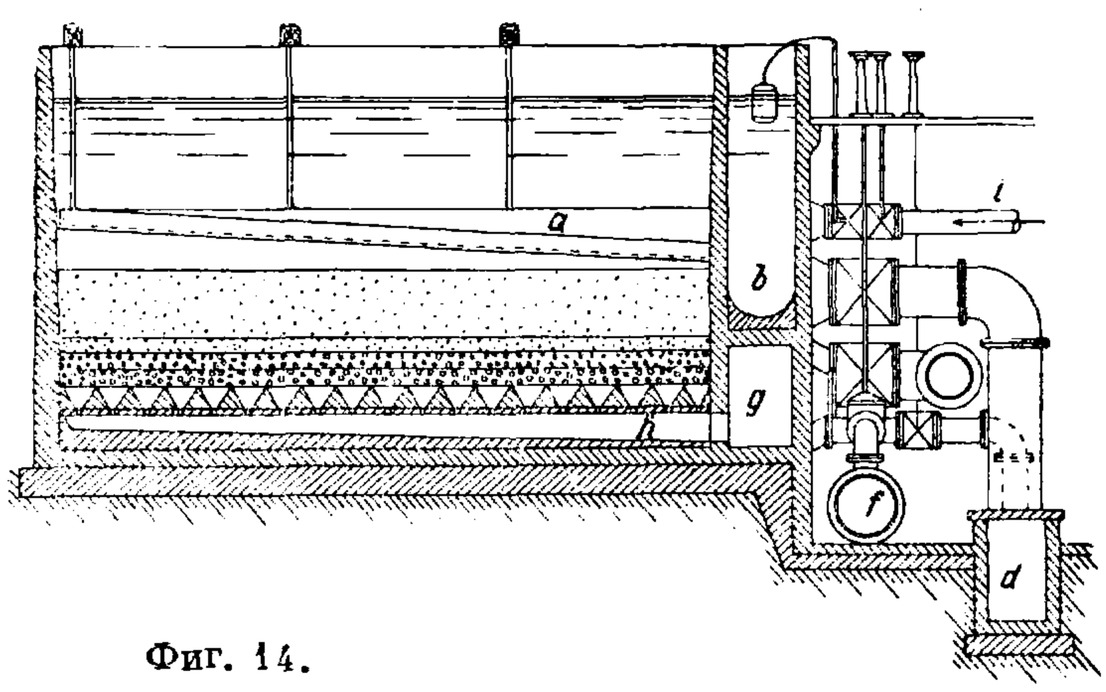
где w—интенсивность промывки в *л/ск* на 1 $м^2$, H—высота песка в *м*. Сопротивление в поддерживающих слоях гравия получится из ур-ия

$$h_1 = 0{,}022\,Hw,$$

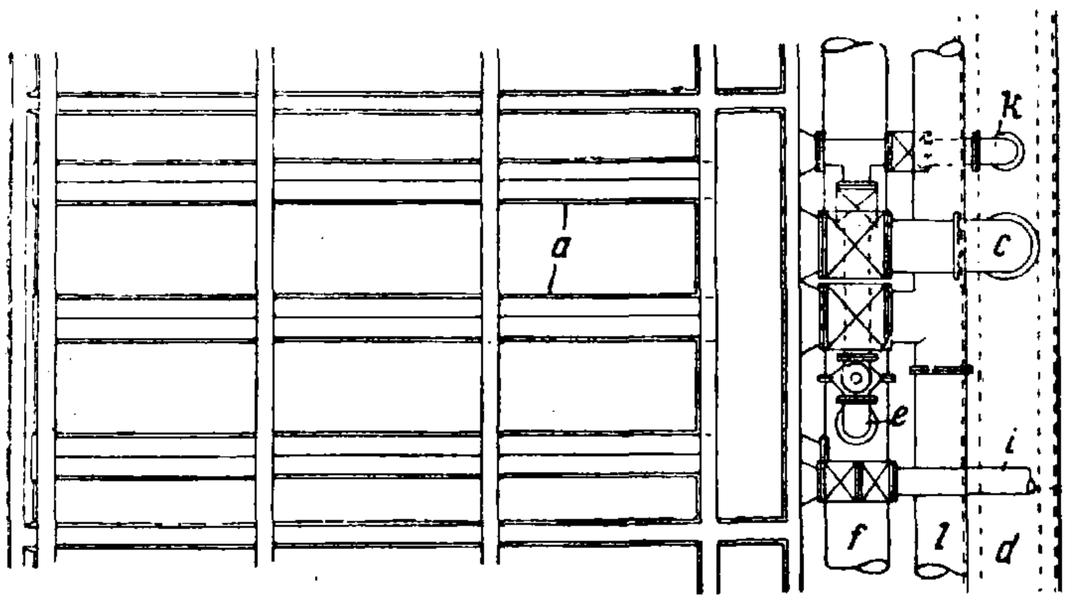
где H и w имеют те же значения, что и выше.

С увеличением размеров очистных станций круглая форма америк. Ф. (Джуэла, Бреда и др.), наиболее экономичная при небольших их размерах, становилась неудобной. При больших установках более выгодны прямоугольные Ф., к-рые представляют неудобство в отношении применения грабель. Опытным путем было выяснено, что применение мешалок становится излишним, если повысить интенсивность промывки до 10 *л/ск* на 1 $м^3$ Ф., причем продолжительность промывки м. б. при этом сокращена до 4—6 мин. Эти два обстоятельства способствовали осуществлению идеи безмешалочных Ф., отличающихся от мешалочных Ф. прямоугольной формой, отсутствием мешалок и иным устройством для сбора и отведения промывной воды. На фиг. 14 показано устройство такого безмешалочного Ф., где a—желоба для сбора грязной промывной воды, b—боковой канал, принимающий воду из желобов, c—труба, отводящая промывную воду в сточный канал d, e—регулятор скорости, f—труба, отводящая фильтрованную воду, g—коллектор, h—дренаж, i—труба, подающая воду на Ф., k—труба для спуска первого фильтрата и пол-

ного опорожнения Ф., *l*—напорная труба промывной воды. Безмешалочные Ф. более удобны для крупных установок как вследствие отсутствия механических частей, так и по причине меньших размеров потребного здания. Но зато,



Фиг. 14.



с другой стороны, эти фильтры требуют большей внимательности при эксплоатации и в частности при промывке.

Прямоугольные безмешалочные Ф. устраиваются исключительно с навесными отводящими желобами. Потребное поперечное сечение *f* одного жолоба у его выходного конца в $м^2$ м. б. подсчитано по приближенной ф-ле:

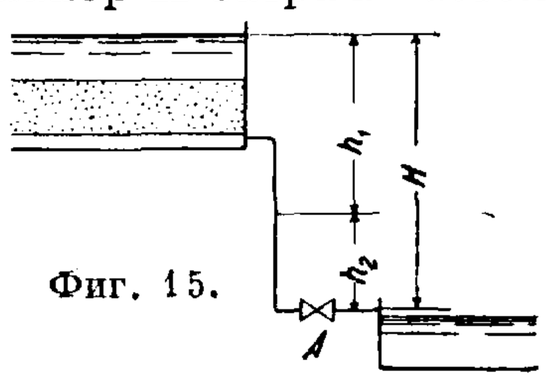
$$f = \frac{\omega \cdot w}{600\, n},$$

где ω—площадь одного Ф., w—интенсивность промывки, n—число желобов в Ф. Наибольшая длина жолоба равна 5,3 *м*; расстояние между осями двух смежных желобов берется в пределах 1,8÷2,6 *м*; примерная высота кромок желобов над поверхностью песка равна 0,5—0,6 *м*; эта высота зависит от крупности песка, высоты его слоя и интенсивности промывки.

Наиболее ответственной частью быстродействующих Ф. является их дренаж—большого и малого сопротивления. Устройством дренажа большого сопротивления достигается выравнивание по площади Ф. неравномерностей в распределении давлений в дренаже вследствие скоростного напора промывной воды. Дренажи большого сопротивления бывают различных систем, напр. сосунковый дренаж в Ф. Джуэла или шаровой дренаж Уилера. При сосунковом дренаже в трубы, расположенные на дне Ф., ввертываются бронзовые коробочки-сосунки диам. ок. 40 *мм*. На 1 $м^2$ Ф. приходится 43 сосунка. Сосунки перекрываются слоем гравия толщиной 150—200 *мм*. К недостаткам этого дренажа относятся: высокая стоимость, засоряемость, выскакивание сосунков из гнезд. При шаровом дренаже бетонное дно Ф. имеет углубления в форме опрокинутых пирамид со стороной основания в 238 *мм* и глубиной 150 *мм*. В пирамиду закладывается 5 цементных шаров диам. 75 *мм* и 9 шаров диам. 32 *мм*, на дне пирамиды—бронзовая втулочка с отверстием в 19 *мм*. Действие шаров основано на подсасывающем, удерживающем действии выбивающихся из втулок струй промывной воды. Поверх шаров насыпан слой гравия в 300 *мм*. К достоинствам этого типа дренажа относятся: простота конструкции, минимум металлич. частей, большой размер отверстий. Недостатком является истирание шаров. В качестве примера дренажа малого сопротивления можно указать на деревянный дренаж, состоящий из брусков высотой 0,2 *м* и уложенных по ним колосников из ряда досок толщиной 25 *мм* и шириной 20 *см*; между досками оставлены зазоры в 25 *мм*. Бруски укладываются над сплошным дном Ф. на высоте 0,5—0,6 *м*. Над колосниками размещают слой гравия толщиной до 800 *мм*.

Фильтры м. б. расположены в один и в два ряда. Первое расположение более удобно для небольших установок, имея в виду возможность централизации всех трубопроводов и их задвижек в одном проходе. Расположение Ф. в два ряда более целесообразно применять для средних и больших установок, имея в виду возможность укорочения длины трубопроводов. Система труб и каналов рационально спроектированного Ф. должна допускать следующие операции: а) наполнение Ф. сырой водой сверху, б) наполнение Ф. профильтрованной водой снизу, под загрузку (после опорожнения фильтра для перегрузки или ремонта), в) опорожнение Ф. до уровня желобов для промывки, г) спуск промывной воды, д) опорожнение Ф. снизу насухо, е) выпуск фильтрованной воды через регулятор скорости в резервуар чистой воды, ж) спуск негодного (первого) фильтрата в водосток после загрузки, чистки, промывки, ремонта, з) промывку Ф. фильтрованной водой. Высота слоя песка на Ф. варьирует в пределах 0,6÷0,9 *м*; нормальная высота—0,75 *м*. По америк. нормам песок должен иметь эффективную величину 0,35÷0,45 *м* и коэф. однородности не более 1,8 (желательно 1,6). Высота стояния воды над песком берется 0,66÷1,30 *м*. При малом слое входящие на Ф. струи воды мешают образованию пленки, и ускоряется появление разрежения (вакуума) в песке; при большом слое увеличивается потеря напора воды, спускаемой перед промывкой.

Ф. устанавливают на нек-рой высоте над уровнем воды в резервуаре чистой воды (фиг. 15). Получаемый при этом напор *H* затрачивается (в конце работы фильтра) на продавливание воды через пленку и загрязнившийся песок. Величина этого напора принимается в пределах 3,0÷3,6 *м*. В первое же время работы Ф. (когда пленка еще только образуется) для продавливания через Ф. всего потребного количества нужен меньший напор h_1. Избыток напора $H - h_1 = h_2$ д. б. поглощен для того, чтобы скорость фильтрации не превзошла установленной нормы. Это поглощение осуществляется грубо вручную при помощи задвижки *A* или посредством автоматич. регулятора.



Фиг. 15.

Лит.: Брилинг С., Краткое руководство по водоснабжению, 2 изд., М., 1928; Гениев Н., Краткий курс водоснабжения, М., 1931; Зимин Н., Американский способ очищения воды, М., 1905; его же, Американские фильтры, М., 1913; См. также литературу к статьям: *Вода*, Очищение воды, и *Водоснабжение*; Weyrauch R., Wasserversorgung d. Städte, Lpz., 1916; Weyrauch, Die Wasserversorgung d. Ortschaften,

B., 1921; Smreker O., Die Wasserversorgung d. Städte, B., 1914; Ziegler P., Schnellfilter, ihr Bau u. Betrieb, Lpz., 1919; Gross E., Handbuch d. Wasserversorgung, Mch., 1928; Thiem G., Die Wasserversorgung, Kalender f. d. «Gas- u. Wasserfach», Mch., 1927; Gargweiler L., Die neue Schnellfilteranlage d. Stadt Remscheid, «Gas- u. Wasserfach», Mch., 1916, B. 59; Link E., Schnellfilteranlage von 30 000 m³ Tagesleistung für das Neckarwasserwerk, Berg d. Stadt Stuttgart, ibid., 1924, B. 67; Meyer A., Erfahrungen beim Betrieb von Sandfiltern, «Ztschr. f. Wasserversorgung», 1919, *23*, *24*; Minder L., Zur Theorie über die Wirkung d. Sandfilter, «Gas- u. Wasserfach», Mch., 1918, B. 61; Oesten G., Neuerungen in d. Konstruktion von Sandfiltern zur Wasserversorgung, ibid., 1909, B. 52; *Peters, Ergebnisse d. Filterreinigung nach dem* Puech-Chabal-Verfahren beim Magdeburger Elbe-Wasserwerk, «Technisches Gemeindeblatt», 1911; Sattler G. u. Brüche R., Die Wasserreinigungsanlage Hardershof d. Stadt Königsberg, «Gas- u. Wasserfach», Mch., 1931, B. 74, H. 5; Henning K., Regeleinrichtungen bei Schnellfilteranlagen, ibid., 1930, B. 73, H. 5; Sprung O., Das neue Wasserwerk d. Stadt Potsdam bei Eiche, ibid., 1931, B. 74, H. 46; Link E., Erfahrungen auf dem Gebiet d. Trunkwasserreinigung, ibid., 1931, B. 74, H. 38; Hilgers W. u. Lauter L., Untersuchungen über die Wirkung der Langsamfiltration, «Gesundheits-Ingenieur», München, 1921.

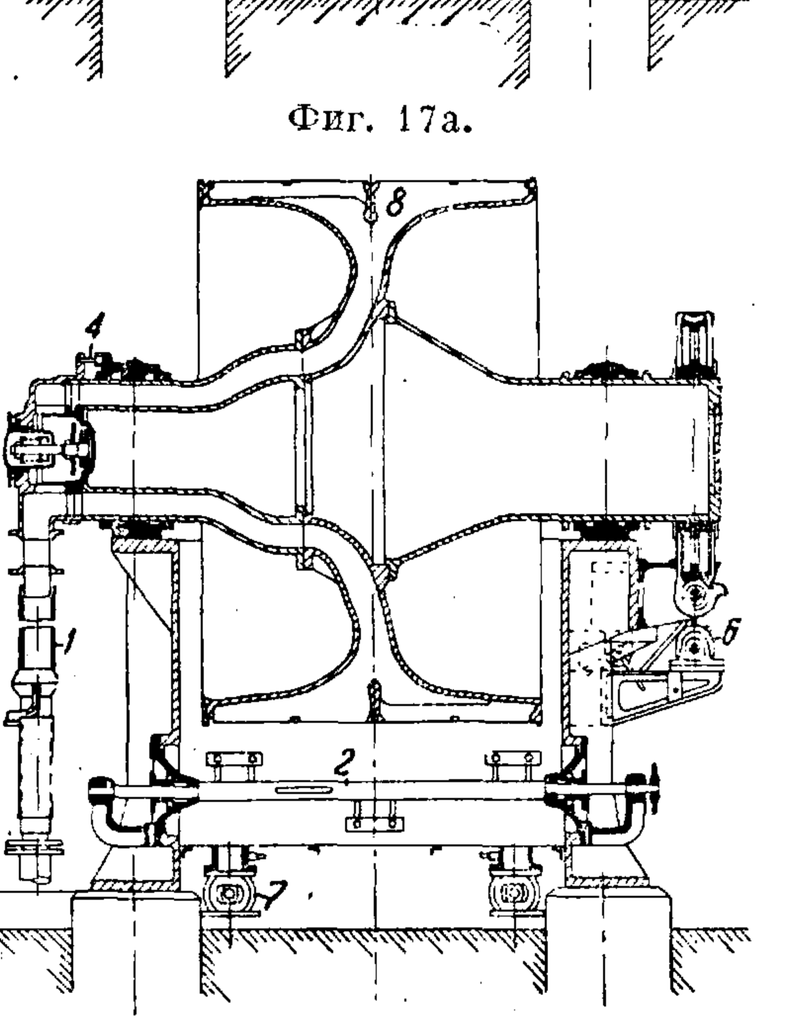
С. Брилинг.

Ф. в металлургии и горном деле. Фильтрование (обезвоживание) на обогатительных ф-ках и при *цианировании* (см.) производится в осветительных чанах, или сгустителях, и на фильтр-прессах. Главнейшие факторы, влияющие на работу и производительность фильтр-прессов, следующие: 1) содержание жидкости в фильтруемой пульпе, 2) $t°$ пульпы, 3) физическое состояние твердого материала, 4) наличие гранулированного и кристаллического материала в пульпе, 5) содержание в пульпе тонких илов и коллоидного, трудно фильтруемого материала.

Ф. применяются как непрерывного, так и периодич. действия. К первым принадлежат Ф. сист. Оливера, Вольфа, Доррко, америк. дисковый Ф. и Ф. сист. Бутлера; ко вторым принадлежат Ф. сист. Мура, Беттерса и др. (см. *Вакуум-фильтры*).

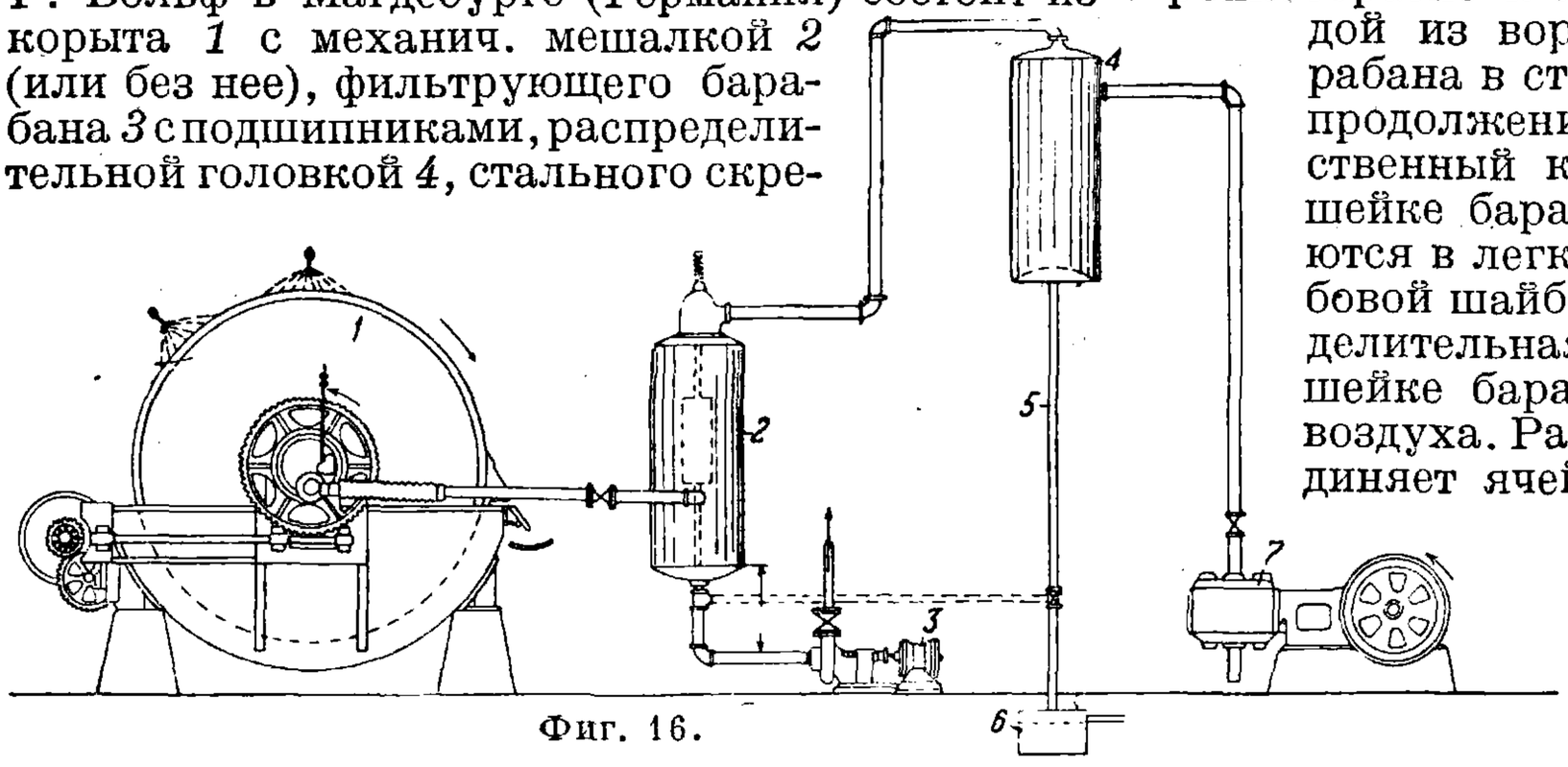
Схема установки вакуум-фильтра Оливера приведена на фиг. 16, где *1*—вакуум-фильтр, *2*—приемник (вакуум-котел) для фильтрата, *3*—центробежный насос для откачивания фильтрата из приемника, *4*—водоотделитель с барометрич. трубкой *5* и водяным затвором *6*, *7*—воздушный вакуум-насос.

Ф. системы Вольфа (фиг. 17а, 17б). Вакуум-фильтр машиностроительного завода Р. Вольф в Магдебурге (Германия) состоит из корыта *1* с механич. мешалкой *2* (или без нее), фильтрующего барабана *3* с подшипниками, распределительной головкой *4*, стального скребка *5* для снятия отфильтрованного вещества и привода *6*. Корыто служит для приема смеси, подлежащей фильтрованию. На нем же монтированы подшипники барабана и привода. Корыто состоит из двух чугунных стенок с ножками и из средней части, изготовленной из котельного железа и соединенной со стенками корыта болтами. Корыто снабжается переливной трубой и спускными отверстиями *7*. Средняя часть корыта имеет чаще полукруглую форму. Мешалка получает колебательное и маятниковое движения. Фильтрующий барабан радиальными стенками разделен на многочисленные ячейки *8*. Эти ячейки направлены воронкообразно к середине барабана. Устье каждой из воронок отклоняется внутри барабана в сторону и имеет выход в канал, продолжением к-рого является соответственный канал в привинченной сбоку шейке барабана. Эти каналы оканчиваются в легко удаляемой и сменяемой лобовой шайбе, к к-рой примыкает распределительная головка, прижимаемая к шейке барабана пружиной и давлением воздуха. Распределительная головка соединяет ячейки группами или каждую из них поочередно с подводящими и отводящими трубопроводами, которые, смотря по надобности, м. б. расположены различным образом. По стенке распределительной головки, разделенной на камеры с выходами, скользит прилегающая к ней шайба шейки барабана. Нормально распределительная головка имеет четыре камеры: две более крупные камеры находятся в соединении с отсасывающими трубопроводами, две другие камеры (давления и промывки) соединены с компрессором или с атмосферой. Твердые частицы



Фиг. 17а.

Фиг. 17б.

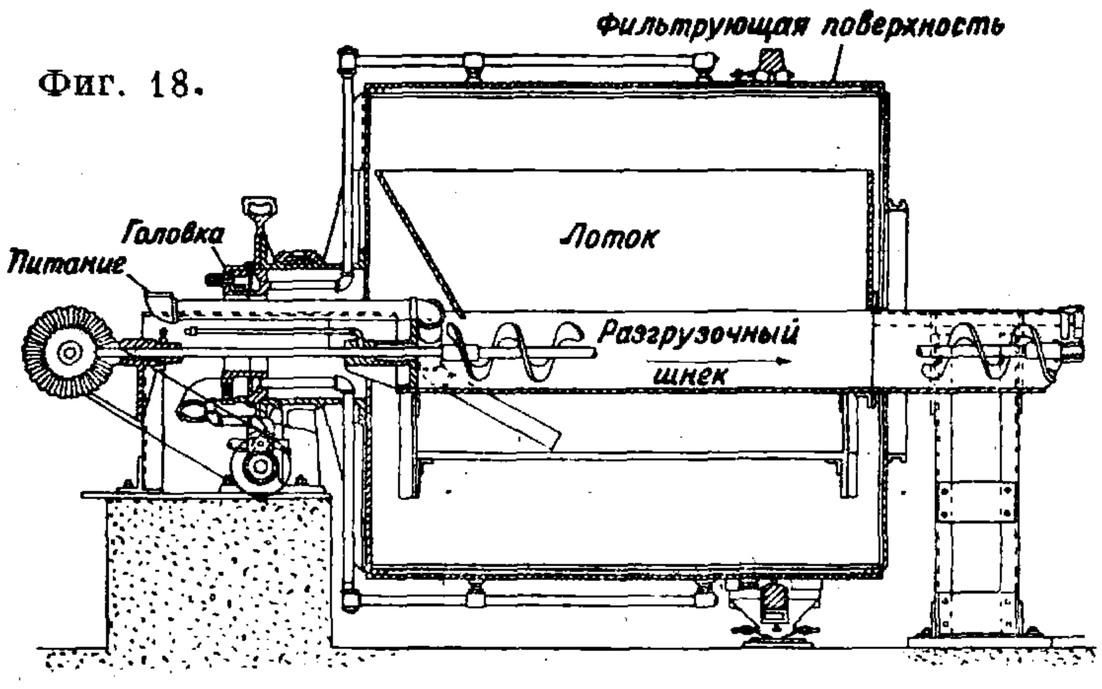


Фиг. 16.

пристают в виде слоя к фильтрующей поверхности барабана, а вода или иная жидкость вместе с разреженным воздухом вытекает в приемник через левый нижний отводный патрубок распределительной головки. После того как данные ячейки при дальнейшем движении выходят из корыта, жидкость, находящаяся в слое отфильтрованного материала, с силой отсасывается. При дальнейшем движении барабана те же ячейки достигают второй камеры, и отсасывание продолжается дальше через другой патрубок. В третьей, узкой, камере происходит поочередно всасывающее действие каждой ячейки. После того как осадок будет счищен скребком, ячейки достигают четвертой камеры, в которой фильтрующая поверхность окончательно очищается посредством пропуска изнутри воздуха или воды. Цилиндрич. корпус фильтрующего барабана имеет обшивку из тяжелых листов с щелевидными дырами. В специальных случаях железные листы заменяются листами из фосфористой бронзы. Поверх этой обшивки натягивается проволочная сетка. Число оборотов колеблется от $^1/_3$ до 3 в мин. Ф. сист. Вольфа имеют следующие размеры: диаметр 1,2—2,5 *м*, длина 0,15—2,8 *м*, фильтровальная поверхность 0,5—20,0 $м^2$, вес 1—23 *т*.

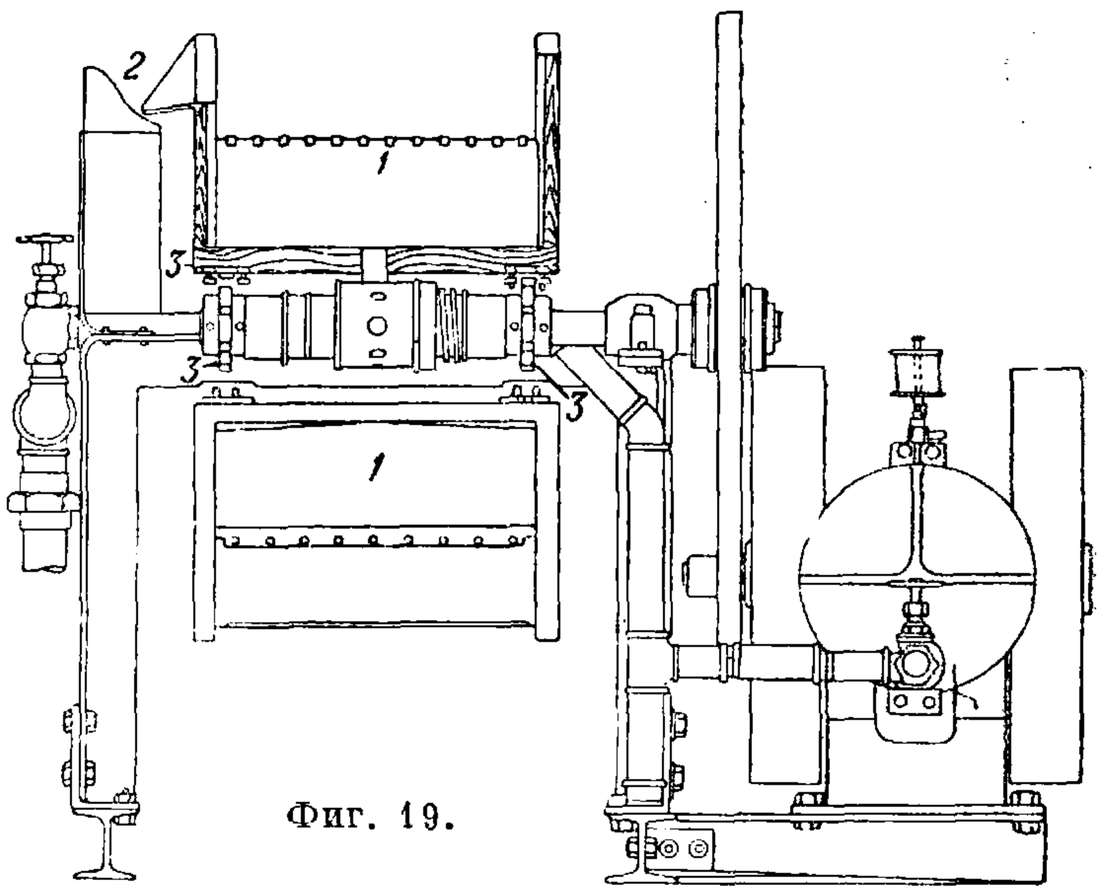
В Ф. системы Доррко (фиг. 18) отсутствуют чан и агитатор; фильтруемая пульпа поступает непосредственно в барабан фильтра. Пористая материя в этих фильтрах покрывает внутреннюю поверхность цилиндра, а трубки вакуум-системы и трубки для сжатого воздуха проходят снаружи. Барабан Ф. вращается на

Фиг. 18.



роликах. Питание Ф. происходит через специальную трубу. Разгрузка кэка с фильтрующей поверхности производится внутри барабана в воронку при помощи скребка; далее кэк удаляется либо шнеком либо конвейером. Ф. сист. Доррко тех же размеров, что и Оливера, легче весом и дешевле последних, но обслуживание их более затруднительно. При фильтрации на этих Ф. первым слоем на материю ложится более крупный и кристаллич. материал. Благодаря этому кэки получаются более толстые и сухие. Производительность Ф. системы Доррко обычно процентов на 10 выше, чем Ф. системы Оливера.

Ф. системы Бутлера сконструирован по принципу работы конвейерной ленты и состоит из отдельных секций, что в значительной степени упрощает выбор размера Ф. для требуемой производительности просто увеличением количества секций. Этот Ф. представлен на фиг. 19, где *1*—фильтрующая камера, *2*—жолоб для слива из камерного ящика избытка материала, *3*—бесконечные цепи для приведения в движение камер. Главнейшие преимущества Ф. сист. Бутлера по сравнению с барабанными и дисковыми Ф.: 1) отсутствие чана и агитатора (фильтруемая пульпа поступает в конвейерный ящик сверху и расслаивается по уд. в., что способствует фильтрации так же,



Фиг. 19.

как в Ф. сист. Доррко); 2) возможность регулировки хода конвейерной ленты в очень широких пределах; 3) возможность получения более сухого кэка с максимальным извлечением ценного фильтрата; 4) более долгий срок службы пористой ткани Ф.; 5) быстрая смена фильтрующих камер (элементов); 6) разгрузка кэка без ножа или специального ролика; 7) бóльшая производительность и портативность. Ф. изготовляются различных размеров, с фильтрующей поверхностью в 2—23 $м^2$ и приблизительным весом комплекта Ф. 1—2,3 *т*.

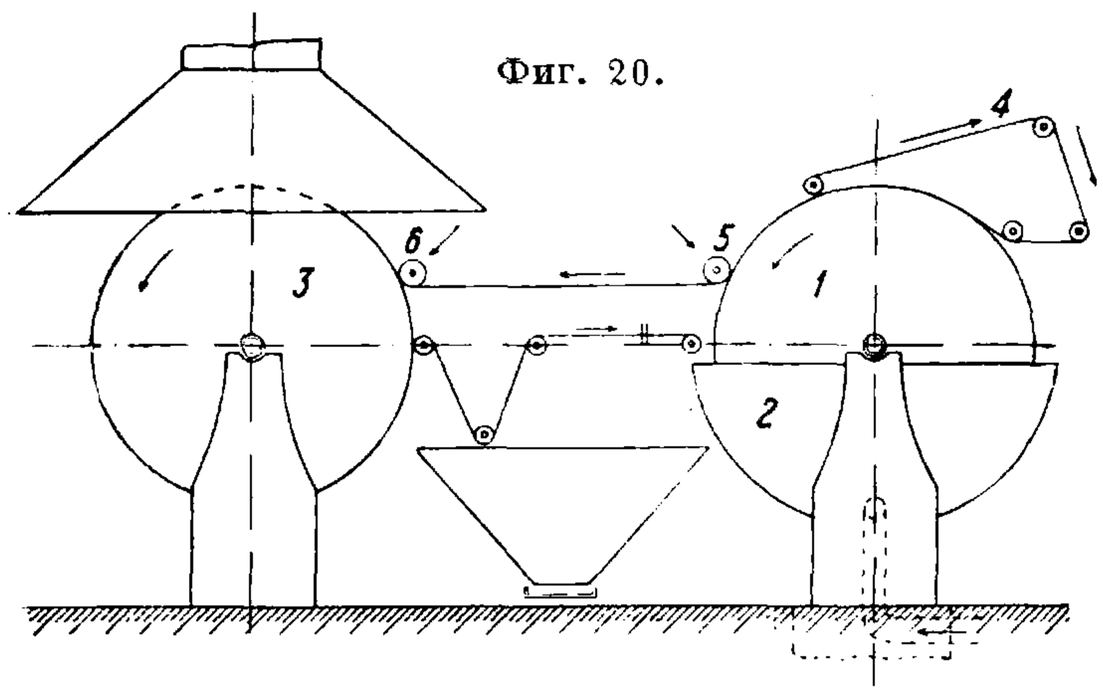
Лит.: Ортин М., Механическое обогащение руд, М.—Л., 1931; Ясюкевич С., Обогащение руд цветных металлов и золота, М.—Л., 1932; Плаксин И., Обработка золотых руд, М.—Л., 1932; Taggart A., Handbook of Or Dressing, N. Y., 1927; Pickard J., Filtration a. Filters, L., 1931; Mayer E. a. Schron H., Flotation, Lpz., 1931.

В. Козлов.

Ф. в керамической промышленности. В керамическом производстве готовая жидкая масса употребляется только для формования изделий посредством отливки; для производства изделий формовкой применяются тестообразные массы, предварительно в той или другой степени обезвоженные. В настоящее время обезвоживание производят в периодически и непрерывно действующих вакуумных фильтр-прессах. В фильтр-прессах с центральным наполнением накачивание массы производится поршневыми насосами двойного действия в 8—9 *atm*. Отфильтрованные массы выгружаются на вагонетки-платформы или на ленту конвейера, которые доставляют массу к мялке. К непрерывно действующим фильтр-прессам принадлежат вакуумные и дисковые барабанные Ф., Вольфа и др. Непрерывно действующие вакуумные дисковые Ф. сист. Вольфа применяются только (так же, как и барабанные) для обезвоживания тощего каолина. Производительность дискового Ф. сист. Вольфа при переработке каолина составляет ~ 50 *кг* с 0,5 $м^2$ поверхности Ф. в час. Количество влаги в массе при этом остается ок. 37%. Основной причиной, препятствующей широкому применению вакуумных Ф. в керамич. промышленности, следует считать коллоидное состояние массы, сильно затрудняющее фильтрование. В последние годы в США применяются вакуумные Ф. в комбинации с сушилкой. Распространение получили вакуум-фильтры фирмы «Filtration Engineers Wolworth Building, New Ark, N. Y.», которые

применяются для фильтрования керамич. масс, идущих для выработки фарфоровых, фаянсовых, кислотоупорных и других изделий. Ф. состоит (фиг. 20) из медленно вращающегося от электромотора через червячную передачу вакуумного барабана *1*, погруженного примерно на $^1/_3$ в деревянный резервуар *2* с жидкой массой, и сушильного барабана *3*. Вакуумный барабан покрыт металлической сеткой и обтянут специальным фильтровальным полотном. Отложившаяся на барабане в виде тонкого слоя масса движется (по направлению стрелки) и в верхней части барабана прижимается бесконечным полотном *4*. При своем дальнейшем движении масса принимается сначала горячим вальцом (обогреваемым паром) *5*, а затем таким же вальцом *6* на сушильном барабане, куда масса в виде пелены с влажностью около 22—25% передается по натянутым бечевкам и подсушивается до влажности в 10—17%. Подсушенная масса конвейером подается в дезинтегратор, где она измельчается до тонкого порошка. Производительность установки 1,5—3 *т* сухой массы в час.

Фиг. 20.



Фильтрование глиняных масс производится посредством электроосмоса. Сущность этого способа заключается в том, что если в воде находятся во взвешенном состоянии мельчайшие частицы глины, то при пропускании через эту среду постоянного тока происходит выделение твердой фазы на соответствующем электроде. Явление это основано на существовании зарядов у взвешенных частиц. К предварительно взмученной глине для сообщения заряда прибавляют соответствующее количество электролита (Na_2CO_3, NaOH, NH_4OH, растворимое стекло и др.). Количество и природа прибавляемого электролита зависят от состава и свойства глины. Подходящими электролитами являются такие, к-рые содержат OH-ионы, т. е. основные вещества. По Ферстеру на каждые 10 *л* воды прибавляют 38 *см*³ 10%-ного раствора растворимого стекла или небольшое количество гуминовой к-ты с 2,5 *см*³ 25%-ного аммиака или соответствующее количество натриевой щелочи. Частицы глинистой субстанции, получая электрич. заряд, приобретают устойчивость и находятся во взвешенном состоянии, между тем как из суспензии выделяются песок, слюда и грубые составные части. Глинистая муть после отделения крупных примесей направляется в аппарат для электроосмоса (см. *Отмучивание*, фиг. 4).

Об электрофильтрах см. *Пылеуловители*, *Электрофильтры* в проволочной связи и радиотехнике.

Лит.: Будников П., Керамическая технология, ч. 2, Харьков—Киев, 1933; его же, Силикатная пром-сть США, Харьков, 1933; его же, «Науково-технічний вісник», Харьків, 1926, *6*; Беркман А., Производство фарфора и фаянса в Германии и США, «Керам. и стекло», М., 1931, *9*, стр. 23; Фокин Л., Методы и орудия технической техники, ч. 2, Л., 1925; Орт ин М., Механическое обогащение руд, М., 1931; Лысин Б., «Керамика и стекло», М., 1925, *5*, стр. 131; Budnikoff P. u. Hisch W., Die Filterpressen u. die Homogenität d. keramischen Masse, «Sprechsaal», Coburg, 1929, *32*, p. 579; Rabe H., «Chem.-Ztg», 1921, p. 503; Platzmann Z., «Ztschr. f. angew. Chem.», Lpz., 1921, p. 623; «Tonind.-Ztg», B., 1921, p. 395. **П. Будников.**

Ф. трубчатых колодцев и водосборов. Трубчатые колодцы и водосборы собирают грунтовую воду боковыми поверхностями составляющих их труб, стенки которых на протяжении водоносного слоя снабжают небольшими продолговатыми (овальными) или круглыми отверстиями. Эти дырчатые трубы представляют собою фильтр. Круглые отверстия делаются диаметром 10÷20 *мм*, а продолговатые отверстия имеют примерную длину 100 *мм* и ширину: снаружи 10 *мм* и внутри 20 *мм*. Круглые отверстия разбиваются на поверхности труб фильтра в шахматном порядке и располагаются: вдоль труб в расстоянии 20÷30 *мм*, а по их окружности в расстоянии 20÷40 *мм*, считая от центра до центра. Отверстия начинаются несколько (примерно на 1 *м*) ниже динамического уровня воды в колодце. При указанных диаметрах круглых отверстий и указанных взаимных расстояниях между ними коэф. скважности получается примерно равным 0,12÷0,20. По германским правилам площадь отверстий дырчатых труб должна составлять не менее 20% от поверхности их. При круглых отверстиях это требование часто не выполняется. Щелевидные овальные отверстия допускают более частую разбивку. При штампованном фильтре с щелевидными отверстиями удается получать площадь последних в 40÷45% от общей поверхности фильтра; это представляет собой максимум, к-рый надлежит не переступать.

Если d—диаметр фильтра в *м*, h—его длина в *м*, Q—расход воды из колодца или водосбора в $м^3/сек$, k—коэф. скважности фильтра и v—скорость поступления подземной воды в колодец или водосбор через фильтр в *м/сек*, то $Q = \pi dhkv$, откуда $d = Q : \pi hkv$. Коэф. скважности определяется площадью отверстий (в $м^2$), приходящихся на 1 $м^2$ боковой поверхности фильтра. Так как диаметр фильтровой трубы обратно пропорционален ее коэф. скважности, то, прибегая к более густой разбивке отверстий, представляется возможным уменьшить диаметр труб; при этом следует однако иметь в виду опасность чрезмерного ослабления отверстиями труб фильтра. Скорость v принимается равной 0,0005÷0,002 *м/сек* в соответствии с размерами зерен водоносного пласта; чем крупнее эти зерна, тем больше скорость, и обратно. По Гроссу: если 60% зерен песка данной водоносной породы имеют диаметр > 1 *мм*, то $v \not> 0{,}002$ *м/сек*; если 40% и более зерен песка имеют диаметр $< 0{,}65$ *мм*, то $v \not> 0{,}001$ *м/сек*; если 40% и более зерен песка имеют диаметр $< 0{,}25$ *мм*, то $v \not> 0{,}0005$ *м/сек*.

При мелкозернистых горных породах, для лучшего обеспечения незасоряемости колодца, дырчатые трубы (основной фильтр) покрываются фильтерным слоем из гравия (гравийный фильтр) или медной сеткой с очень малыми просветами, примерно до 500 шт. на 1 $см^2$ (сетчатый фильтр). При получении воды из твердых трещиноватых горных пород (известняков, гранитов и проч.) основные фильтры не покрываются сеткой. В нек-рых случаях такая сетка может быть даже вредна; в меловых поро-

дах напр. сетки очень скоро затягиваются и перестают пропускать воду. Выбор номера сетки сетчатого фильтра должен быть произведен сообразно крупности зерен песка, составляющего водоносный пласт. Механич. состав песка определяют путем просеивания проб песка, взятых из водоносного пласта во время работ по устройству колодца. Просеивание производится с высушенными образцами. Для производства исследования необходимо иметь: сушильный аппарат, весы, несколько сеток разных номеров и просеивающий барабан. Просеивание должно быть произведено весьма тщательно, дабы через пробные сетки могли проходить также продолговатые песчинки своими наименьшими поперечными размерами. Результаты просеивания выражаются графически, для чего по оси абсцисс откладывают размеры отверстий, а по оси ординат—весовые количества прошедших через эти отверстия песчинок; причем весовые количества выражаются в процентах от всего исследуемого количества песка. Сетка не должна пропускать только зерна средней и большой величины, самые же мелкие зерна сетка не должна задерживать; эти мелкие зерна удаляются при строительной откачке. По Гроссу номер сетки сетчатого фильтра, окружающего основной колодезный фильтр, должен быть так подобран, чтобы примерно 50% грунта водоносного пласта задерживалось сеткой. Следует здесь упомянуть, что перед передачей колодца в эксплоатацию последний должен быть очищен от песка. Различают простые, киперные и репсовые сетки. Простая сетка гарнитурового переплетения (см. *Переплетение тканей*), состоящая из перекрещивающихся под прямым углом и переплетающихся между собой проволок, употребляется при очень крупнозернистом грунте водоносного пласта или в качестве подкладочной сетки под более тонкую сетку. В киперных сетках (Köpergewebe) проволоки одного направления последовательно проходят над двумя или более проволоками, затем под двумя или более проволоками и т. д. другого направления; эти сетки имеют мягкую и свободную вязку. При заказе простых и киперных сеток необходимо указать желаемую толщину проволоки и расстояние проволок друг от друга. Для киперных сеток по Принцу целесообразна толщина в $1{,}0 \div 2{,}5$ *мм*, достаточная для сопротивления разрыву и разрушительному действию агрессивных вод. Репсовые сетки (Pressengewebe) представляют собою плетение, состоящее из проволок основы (толщиной около 0,5—0,6 *мм*) и проволок утка (толщиной $0{,}2 \div 0{,}5$ *мм*), причем проволоки основы отстоят на довольно большом расстоянии одна от других (напр. 1,5—2 *мм*, считая в свету), проволоки же утка тесно прилегают друг к другу; каждая из них огибает поочередно каждую проволоку основы, в результате чего сетка получает отверстия $0{,}2 \div 0{,}9$ *мм*. В зависимости от размера отверстий, числа и толщины проволок репсовые сетки бывают разных номеров. Номера репсовых сеток указывают, сколько проволок основы приходится на один дюйм ширины: таким образом в сетке № 10 на каждый дюйм ширины приходится 10 проволок основы. Репсовые сетки применяют для очень мелких песков.

Целесообразным является налагать сетки не непосредственно на стенки дырчатых труб, а на предварительно проложенные пропольные проволоки. Эти последние берут диаметром от 3 до 6 *мм* и укладывают по образующим дырчатых труб в расстоянии $10 \div 25$ *мм* друг от друга, укрепляя эти проволоки на поверхности труб припаиванием их по концам и примерно через каждые 250 *мм* в промежутках. Поверх этих продольных проволок укладывается уже сетка. Надлежит следить за тем, чтобы проволоки основы шли по окружности дырчатой трубы, а проволоки утка—по образующим. Отодвигая сетку от стенок труб, заставляют работать эту сетку почти всей своей площадью, что не имеет места при непосредственном прилегании сетки к дырчатой трубе. Иногда взамен сеток сплетают между собой две или три тонкие проволоки и оплетают ими дырчатые фильтерные трубы; дабы воспрепятствовать расплетению этой обмотки, ее закрепляют припаиванием на концах и в продольном направлении медных или латунных полосок. По мнению Гросса таким путем получается прочная и хорошо фильтрующая покрышка. В нек-рых случаях были устроены фильтры путем укладки вдоль дырчатых труб проволок диам. $3 \div 6$ *мм* на расстояниях около 50 *мм* одна от другой, и обматывания их затем проволокой диам. 3 *мм*. Такие фильтры однако не оправдали себя на практике вследствие быстрой закупорки щелей между витками проволочной обмотки мелкими частицами водоносных пластов.

Для сеток или оплеток следует как правило брать нержавеющую или кислотоупорную стальную проволоку. Основные фильтры колодцев (фильтерные трубы) следует делать также из нержавеющей и кислотоупорной стали или, при небольшой глубине колодцев, керамиковые, имея в виду, что указанный сорт стали и керамика достаточно сопротивляются воздействию на них даже весьма агрессивных вод. Применение этих материалов диктуется следующими соображениями. Воды могут воздействовать на фильтры двояким образом: закупориванием и разрушением. Сильно железистые и известковые воды дают часто цементоподобные выделения (известковые, железистые, марганцовые отложения), к-рые со временем совершенно закупоривают отверстия фильтра как основного (колодезного), так и в особенности сетчатого. Практических средств для воспрепятствования этим выделениям не имеется. Приходится поэтому употреблять для этих фильтров или такой материал, к к-рому указанные отложения не слишком прочно пристают и могут быть поэтому устранены сильным прополаскиванием колодца, или кислотоупорный материал, при к-ром прочные твердые отложения могут быть без вреда для стенок самого колодца растворены концентрированными к-тами и затем выполосканы из колодца. Воды, содержащие агрессивную углекислоту, или очень мягкие воды разрушительно действуют на большинство металлов путем их растворения. На обыкновенную сталь и чугун эти воды довольно сильно воздействуют. Медь и бронза оказывают сопротивление разлагающему действию этих вод, но не всегда в достаточной мере. В глубоких подземных водах нередко встречается сероводород, разрушительно действующий на большинство металлов (см. *Сероводород*). Для защиты медных сетчатых фильтров за границей прибегают иногда к покрытию сеток устойчивыми в отношении сероводорода красками—битуминозными, гудронными и т. п. (напр. инертолем); недостаток этих защитных красок тот, что они плохо держатся на сетках.

Недостатками сетчатого фильтра являются: большое сопротивление, к-рое фильтр оказывает поступлению воды в колодец; малая пригодность для очень мелких песков, т. к. в этом случае сетки быстро забиваются песчинками; быстрое разрушение (иногда в 2—3 года) сеток агрессивными подземными водами. К достоинствам сетчатого фильтра относятся: меньшая стоимость по сравнению с гравийным фильтром; диам. буровой скважины получается меньших размеров, чем при гравийном фильтре; при правильном устройстве скважины поднятие сетчатого фильтра вверх для его прочистки и ремонта происходит легче, чем гравийного фильтра.

Гравийный фильтр представляет собою ряд кольцеобразных слоев различной зернистости, расположенных вокруг основной фильтерной трубы. Для устройства гравийного фильтра необходимо иметь достаточно широкий промежуток между фильтерной трубой и обсадной трубой. Для резкого отделения отдельных гравийных слоев служат цилиндрические шаблоны из листовой стали, к-рые так же, как и фильтерная колодезная труба, устанавливаются центрально на дно буровой скважины. Между колодезной трубой и цилиндрическими шаблонами образуются кольцевые пространства, к-рые заполняются гравием различной крупности, причем величина зерен возрастает по направлению к колодцу. Для удобства установки шаблонов в буровую скважину предварительно опускается бетонная плита, снабженная рядом концентрич. уступов. На последние опираются: дырчатая колодезная труба и металлич. шаблоны, удаляемые по миновании в них надобности. Как правило размер зерен каждого следующего слоя засыпки гравийного фильтра должен быть в 4—5 раз больше размера зерен предыдущего, более отдаленного от колодца слоя. По Гроссу, если придерживаться этого правила, то получается полная надежность в том отношении, что зерна меньшего размера не пройдут через пустоты между зернами большего размера. Нек-рые практики рекомендуют размеры частиц первого (наружного) слоя брать такой же величины, как и зерна водоносного пласта. Толщина фильтерных слоев должна быть достаточная, напр. не менее 100 *мм*, иначе обсыпка не достигает своей цели. При устройстве в колодезных фильтрах отверстий следует иметь в виду, что в рационально сделанном фильтре отверстия должны расширяться внутрь во избежание опасности закупорки их зернами гравия. При правильном устройстве отверстий в фильтерных трубах отдельные зерна гравия будут или задерживаться у наружной поверхности труб или проскакивать внутрь, откуда они могут быть удалены при чистке колодца. Для противодействия сжимающим усилиям дырчатые трубы должны иметь стенки достаточной толщины.

В наст. время фильтры трубчатых колодцев и водосборов применяются самых разнообразных конструкций. В виду опасности быстрой закупорки отверстий сетчатых фильтров и разрушения фильтров в соответствующих случаях стали прибегать к бессеточным колодезным фильтрам. К последним относятся колокольные, козырьковые, карманные и другие фильтры. В колокольных фильтрах вода проникает в колодец через кольцеобразные пространства между смежными чугунными колоколами; это пространство имеет ширину в 25 *мм*; при движении воды вверх с малой входной скоростью песок не проникает в колодец; кроме того благодаря сравнительно большим входным отверстиям устраняется быстрая закупорка этих отверстий железистыми и известковыми выделениями. Козырьковые фильтры имеют над всеми отверстиями козырьки, которые получаются при устройстве самих отверстий на трубе. Сетки здесь не устанавливают, но снаружи делают обсыпку крупнозернистым фильтрующим материалом. Карманные фильтры состоят из чугунных асфальтированных корзин, поставленных одна над другой, укрепленных на нижнем опорном чугунном кольце (плите) и стянутых длинными болтами. Фильтрующая засыпка состоит из гравия с зернами разной величины (внизу—крупный гравий, выше—мелкий). Между корзинами остаются отверстия в виде узких щелей, через которые вода проникает в карманы и, пройдя через их гравийную засыпку, вступает в колодезную трубу. Здесь получается невыгодное направление движения вступающей в колодезный фильтр воды. Иногда колодезный фильтр устраивают из двух концентрически расположенных дырчатых труб, обтянутых сетками, причем кольцевое пространство между дырчатыми трубами заполняется чистым кварцевым песком такой крупности, чтобы он, с одной стороны, не проходил сквозь сетки, а с другой стороны, удерживал песчинки водоносного слоя от проникания их внутрь колодца. Вода из таких колодцев забирается всасывающей трубой, опущенной в колодец. Гросс рекомендует взамен гравия применять в качестве фильтрующего заполнения стеклянные шары соответствующего диаметра.

С. Брилинг.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ К XXIV ТОМУ Т. Э.

Абсолютная единица углового ускорения 431.
Аванбек 198.
Авиафанера 753.
Австрийский способ разработки туннелей 165.
Автохедер 390.
Азимут 635.
Аккумулятор пневматический 75.
Алеудрин 599.
Альдегид салициловый 785.
Альдозы 413.
Американский способ разработки туннелей 173.
Аммоний азотнокислый 457.
Аммоний двууглекислый 457.
Аммоний сернокислый 457.
Аммоний углекислый 457.
Аммоний хлористый 457.
Аммофос 459.
Английский способ разработки туннелей 162.
Апонал 599.
Арматура трубопроводов 45.
Артиллерия береговая 374.
Артиллерия горная 374.
Артиллерия крепостная 374.
Артиллерия легкая 374.
Артиллерия осадная 374.
Артиллерия полевая 374.
Артиллерия тяжелая 375.
«Архивный метр» 125.
Ацетат натрия 507.
Ацетаты 506.
Ацетил хлористый 507.
Аэрация 904.

Бакены 763.
Балансиры 493.
Барабаны кабельные 486.
Башмаки чугунные 713.
Белотал 772.
Бельгийский способ разработки туннелей 163.
Бензимидазол 782.
Бергмана трубки 651.
Бикарбонаты 417.
Бирбаумера метод определения давления на туннельный свод 214.
Блазиуса формула 344.
Боковые кили 621.
Болты 51.
Болты анкерные 50.
Бомзы 769.
Бремсберги 166.
Бур забойный 140.
Бур ударный 140.
Бурка 125.
Бусинека формула 342.
Бучение 122.

Вакуум-фильтры 899.
Вал отбойный 316.
Вандруты 144.
Вантуз 39.
Вантузы воздушные 46.
Варка кряжа 749.
Вентиляция туннеля 129.
Верболоз 772.
Верхняк 146.
Весы однонитные крутильные 560.
Вехи перевальные 763.
Взрывные работы 139.
Виберг-фосфат 457.
Вилка 646.
Виндроуер 391.
Виноградные выжимки 501.
Винты исправительные 601.
Водоводы гравитационные 39.
Войлок 813.
Волластоновы проволоки 561.
Волны метровые 532.
Волны парциальные 742.
Волочение трубных заготовок 81.
Волчок трясильный 411.
Волчок-разрыхлитель 411.
Вольтерс-фосфат 457.
Вороток 775.
Вращение равнозамедленное 430.
Вращение равномерное 429.
Вращение равнопеременное 430.
Врезки 144.
Время разгона 641.
Вруб 139.
Выбор участка 693.
Выключатели 644.
Выключатели автоматические 650.
Выключатели автоматические реле времени 519.
Выпуски 46.
Выравнивание вращательных моментов 587.
Вырезание узлов 803.

Газовые смеси 290.
Гаубица 375.
Гедонал 599.
Гейзерит 354.
Гексаметилентетрамин 602.
Генератор турбинный 328.
Генцианоза 415.
Германский способ разработки туннелей 172.
Гидротехнические работы (на оврагах) 498.
Гипосульфит 862.
Глаголь 146.
Гладильная машина 62.
Глазури фарфоровые 768.
Глазури фаянсовые 780.
Глазурование фарфоровых изделий 768.
Глазуровка труб 88.
Гликоген 415.
Глюкозамин 415.
Горн (для обжига фаянса) 780.
Госсилоза 415.
Градиент аэротермический 126.
Градиент геотермический 126.
Графит 427.
Графитовые кислоты 426.
Гуммон 644.

Давление земли на туннельный свод 212.
Дальгауза формула 41.
Дарси закон 884.
Двуокись углерода 416, 425.
Двуокись урана 595.
Двухполюсник 612.
Дегомация 353.
Декациклен 412.
Декортикация 353.
Деревянные трубы 97.
Дессикатор 668.
Детали паровых турбин 250.
Диаграмма Стодола 257.
Диазометан 599.
Диаминофеназин 782.
Диаммофос 459.
Дистрибутор 75.
Диуранаты 595.
Дифениловый эфир 785.
Дифеновая кислота 781.
Диффузор 420.
Дихлоруксусная кислота 507.
Дождевой литник 11.
Доза удобрения 463.
Документация хозяйственных действий 673.
Древесная жижка 503.
Древесный порошок 503.
Дрель 59.
Дульцин 782.
Дюкер 203.

Жатка кукурузная 399.
Жатка стоговая 389.
Жатка-силорезка 402.
Жженка 501.
Живодерни 665.
Жижка древесного порошка 503.
Жироскоп Сперри 625.
Жироскоп Шлика 625.
Жироскоп-успокоитель 625.
Жироскопы активные 625.
Жмыхи 467.
Жнея самосбрасывающая 383.
Жнея-молотилка 389.

Заглушки 51.
Загонка 412.
Закись-окись урана 595.
Замораживание грунта 190.
Зарплата 105.
Затирание 500.
Зейнерит 597.
Зеркала для ультрафиолетовых лучей 542.
Знаки створные 763.
Зоны зеленые защитные 695.

Изогнутая ось 561.
Изумруд бразильский 350.
Индиголит 350.
Индикаторная сила тяги 365.
Инструмент для прессов 80.
Инулин 415.
Искатель (прожектор) 754.
Истечение из сопел 226.
Итальянский способ разработки туннелей 173.

Кабельная масса 488.
Кабельные ящики 491.
Калий сернокислый 459.
Калий хлористый 459.
Калийные соли 459.
Калотты 163.
Калька 407.
Калькуляция 682.
Калькуранит 597.
Канализация (прокладка кабелей) 487.
Канаты фашинные 773.
Cannetall (сплав) 871.
Капелла 146.
Каппа 146.
Карандаш 750.
Карбидуран 599.
Карбаминовая кислота 599.
Карболовая кислота 783.

Карбонаты 417.
Карбонаты металлов 416.
Карбонизация шляпных колпаков 816.
Карвакрол 786.
Кардная вытряска 410.
Кармана формула 344.
Карналлит 459.
Карнотит 597.
Карусель 15.
Касательная сила тяги 365.
Каскадное включение освещения 518.
Катки агатовые 65.
Квалификация работ 106.
Квалификация рабочего 106.
Кертиса диск 234.
Кертиса колесо 234.
Кертиса ступени 234.
Кессонный способ прокладки туннелей 199.
Кетозы 413.
Кефалдоль 781.
Кианка 140.
Клапан воздушный 39.
Клапан предохранительный 46.
Клирфактор 615.
Козырек 198.
Колена 49.
Колесо Пельтона 20.
Колодцы кабельные 491.
Колпаки осветительные 512.
Колпаки шляп 816.
Кольтри метод 483.
Кольцо (часть стержня) 11.
Кольцо-сбрасыватель 66.
Комбайн 389.
Комбайн кукурузный 401.
Комбайн силосный 402.
Коммереля метод определения давления земли на туннельный свод 212.
Компенсаторы 103.
Компост 466.
Консольное питание провода 818.
Констатация счетно-правовая 677.
Контроль хозяйственной деятельности 675.
Координаты Неймана 825.
Корень сооружения 776.
Коробки ответвительные 649.
Короткая граница 524.
Котлованы 202.
Кошма 125.
Коэфициент восстановления 436.
Коэфициент загруженности исполнителя 115.
Коэфициент затухания 567.
Коэфициент использования исполнителя 115.
Коэфициент неравномерности 429.
Коэфициент обмена 342.
Коэфициент полезной работы исполнителя 114.
Коэфициент Пуассона 578.
Коэфициент упругости 578.
Коэфициент усиления 607.
Коэфициент усиления по напряжению 608.
Кремпель-вольф 412.
Креномеры 493.
Крепительные материалы 652.
Крепление 143.
Крестовины 48.
Критические волны 524.
Кружала 149.
Крутильная головка 560.
Крутцы 410.
Ксилоза 415.
Куколка шелковичная 467.
Кукурузорезки 397.
Кукурузоуборочные машины 396.
Куполы 128.
Купферуранит 597.

Ламбертит 598.
Лед сухой 420.
«Ледяные» блоки 420.
Лен шелковичный 352.
Лейнафос 459.
Лейнофоска 499.
Лепнина 768.
Линии влияния 789.
Линии инфлюентные 789.
Линии Неймана 447.
Линия напорная 38.
Лихенин 415.
Лишние стержни 790.
Лобогрейка 383.
Лозенгаузена машина 632.
Лонгарины 148, 164.
Лопатки турбины 252.
Лоскут 123.
Лотки 499.
Лубрикаторы 877.
Лурги сплав 871.

Майна 775.
Мальчики 167.
Маннеотетроза 415.
Марчеванки 147, 164.
Масленка бутылочная 873.
Масленка капельная 873.
Масленка клапанная 873.
Масленка ручная 872.
Масленка фитильная 873.
Масленка штифтовая 873.
Масса для искусственных зубов 767.
Мачты сигнальные 763.
Машина для динамич. испытаний кручением 568.
Машины для испытания металлов на усталость 628.
Машины для обжига труб 83.
Мелецитоза 415.
Мелитриоза 415.
Меллитовая кислота 426.
Мембрана 897.
Микромикрофарада 762.
Мицелла 545.
Модель 485.
Модуль всестороннего сжатия 578.
Модуль линейного растяжения 578.
Модуль расхода 35.
Молот-балда 140.
Молотки перфораторные 142.
Монозы 413.
Монохлоруксусная кислота 507.
Мора формула 799.
Мочевина 457.
Мука кожевенная 467.
Мука кровяная 467.
Мука мясная 467.
Мука мясокостная 467.
Мука роговая 467.
Мука рыбная 467.
Муллит 765.
Мура машина 629.
Мусороутилизационные заводы 671.
Муфты 51.
Муфты ответвительные 488.
Муфты соединительные 488.
Мясокостная мука 667.

Набивочные машины 17.
Наводка 635.
Навоз 464.
Навозная жижа 466.
Навозоразбрасыватели 471.
Нагнетание цементного раствора 154.
Нагрузка динамическая 443.
Надуранаты 597.
Надурановая кислота 597.
Напорная линия 38.
Настуран 597.
Начертание сети 45.
Недокись углерода 425.
Неймана линии 447.
Никурадзе формула 344.
Нитрамид 599.
Нитрат калия 459.
Нитрозоуретаны 599.
Нитроуретан 599.
Нитрофенолы 786.
Нитрофоска 459.
Новоавстрийский способ разработки туннелей 170.
Норма удобрения 463.
Нормальные значения нагрузок 579, 580.
Нуч-фильтры 899.

Обделка туннелей 149.
Обезвоживание 911.
Обезвреживание трупов 666.
Обжиг каменных труб 89.
Обжиг политой 769.
Обжиг утильный 768.
Обжиг фарфоровых изделий 768.
Облесение оврагов 498.
Окислительные аппараты 505.
Ондюле 711.
Опорожнения магистралей 46.
Опоры (для светильников) 514.
Опояски 777.
Оправка неподвижная 81.
Оправки 779.
Оптика геометрическая 787.
Органические удобрения 464.
Орудия осадной артиллерии 374.
Орудия тяжелой артиллерии 373, 374.
Осадок 892.
Осаждение 544.
Осветительные колпаки 512.
Освещение туннелей 142.
Основание (ряд) 776.
Осушение грунта 127.
Отверстие труб 90.
Отводы 49.
Отенит 597.
Отжиг труб (при волочении) 81.
Отливка труб 11.
Отливка труб (центробежный способ) 19.
Отрезка прибылей 12.
Отчетность 673.
Охлаждения кабеля 485.

Паковщики 398.
Парильня 749.
Паровозы турбинные 316.
Паротурбовозы 316.
Патроны Сава 649.
Патроны Свана 648.
Патроны электрич. лампы 647.
Патрубки 51.
Первичный документ 674.
Передатчики подводные кварцевые 523.
Перезвонка 768.
Переклейки 747.
Переключатели 645.
Переходы 51.
Перуксусная кислота 504.
Перфораторы 141.
Петля параллельная 516.
Печи для нагрева слитков 82.
Пешеля трубки 650.
Пиккер 396.
Пиккер двухрядный 400.
Пиккер кукурузный 399.
Пильгер-стан 54.
Пирен 412.
Пленки коллоидные 897.
Плотность фотографических изображений 606.
Поверхность усталости 447.
Поглощение ультрафиолетовых лучей 540.
Подборщик 391.
Подвес светильников 513.
Поддон 11.
Подфорники 754.
Подхваты 148.
Поллопас-алудур 407.
Понитон 125.
Понур 894.
Поселок заводской 695.
Потазот 459.
Потемнение пластинки 408.
Поток пара 223.
Початкосрыватель 396, 399.
Правка труб 82.
Прандтля формула 342.
Предел упругости 577.
Предел усталости 626.
Предохранители плавкие 649.
Преобразование энергии в рабочем колесе 230.
Прери-комбайн 392.
Пресс гидравлический вертикальный 76.
Преципитат 457.
Принцип непрерывности 222.
Притолок 146.
Проверка выполнения плановых заданий 675.
Провод контрольный (pilot wire) 518.
Прокатка труб 57.
Промежуточный перегрев пара 261
Промин 765.
Пропарка кряжа 749.
Протодьяконова формула 217
Протяжка (штамповка) 66.
Протяжка труб 61.
Пряжа кроше 711.
Пульволит 644.
Пуш-бейндер 388.
Пушки 375.
Пуш-хедер 388.
Пылеотбиватель 122.
Пыль махорочная 467.
Пыль табачная 467.

Рабовского формула 97.
Рабочее время 113.
Рабочий год 113.
Радикалы свободные 425.
Разбрасыватели 480.
Разведение 452.
Разрезка труб 82.
Рамки фильтровальные 898.
Рамноза 415.
Распределители универсальные удобрений 473.
Распределитель воды 75.
Рассеиватели 759.
Раструб 96.
Расчет времени хода поездов 368.
Раффиноза 415.
Регистрация первичная 673.
Регулятор поплавковый 905.
Режим ламп 616.
Резонанс рассеяния 613.
Ренания-фосфат 457.
Репродуктор 331.
Решетка транспортерная 394.
Рибоза 415.
Родиан 429.
Розетки потолочные 649.
Рол 122.
Ротор турбины 254.
Рошпаны 146, 164, 168.
Рубеллит 350.
Рубин сибирский 350.
Рубчики 744.
Руно 412.

Сальники турбин 253.
Самарскит 597.
Сапфир бразильский 350.
Сварка труб 54, 55.
Сварка шва трубы 55.
Свечи Беркефельда 896.
Свечи Чемберлена 896.
Свисток Гальтона 522.
Свойлачивание 814.
Сдвиг модуля 578.
Седиментация 544.
Секрет 412.
Селитра известково-аммиачная 457.
Селитра калийно-аммиачная 459.
Селитра кальциевая 457.
Селитра норвежская 457.
Селитра филийская 457.
Семафоры 763.
Серый порошок 503.
Сети сложные 482.
Сетки киперные 917.
Сетки репсовые 917.
Сетчатая коробка 37.
Сеть кольцевая 44.
Сеть уличного освещения 515.
Сибирит 350.
Сила трения 856.
Сила тяги локомотива 365.
Сила тяги на ободе 365.
Сила тяги по машине 365.
Сила тяги по сцеплению 366.
Силикатизация 191.
Силы реакции 223.
Сильвинит 459.
Системы зарплаты 108.
Скорость линейная 430.
Скорость окружная 430.
Скорость распространения ударной волны 442.
Слипыш 769.
Слюдки урановые 598.
Смазка в масляной ванне 875.
Смазка винтовая 874.
Смазка гидродинамическая 819.
Смазка гребнем 874.
Смазка капельная 873.
Смазка кольцевая 875.
Смазка подушкой 875.
Смазка принудительная 876.
Смазка самотечная 876.
Смазка центробежная 874.
Смазка циркуляционная 877.
Смазки системы 872.
Смазочный гребень 874.
Смеска шерсти 813.
Смолка урановая 598.
Сноповязалка 383.
Сноповязалки кукурузные 397.
Снопонагрузчик 398.
Снопонос 398.
«Собственный» период 591.
Соляризация 407.
Сопла 251.
Сопротивление поезда 366.
Сорбоза 415.
Сплав Лурги 871.
Способы разработки туннелей 162.
Стабилизаторы 621.
Стан Фасселя 60.
Станки лущильные 747.
Старение труб 82.
Статор турбины 253.
Стекла Гаже 403.
Стекла Линдемагга 403.
Стекла Локка 403.
Стекла Тейлора 403.
Стекла Фрича 403.
Стекло «Корекс» 403.
Стекло Сюжи 404.
Стекло «Увиоль» 403.
Стекло Шотта 403.
Степень реактивности 235.
Стифниновая кислота 786.
Стодола формула 256.
Сток воды 497.
Стрипс 54.
Строгальные станки (для фанеры) 746.
Стружка кожевенная 467.
Ступени активные 231.
Ступени избыточного давления 231.
Ступени равного давления 231.
Ступени реактивные 234.
Ступени скорости 234.
Судовой ход 762.
Сульфат аммония 457.
Сульфат нитратаммония 457.
Сульфид уранила 596.
Суперфосфат простой 457.
Суррогатирование фетра 813.
Сушка труб (керамич.) 88.
Сушка фарфоровых изделий 768.
Сюке формула 216.

Тайлак 813.
Тахеометры-автоматы 558.
Тело хрупкое 577.
Температурные перемещения узлов 799.
Теодолит Вильда 558.
Теодолит Цейсса 558.
Тепловой напор 232.
Термофосфат 457.
Террасирование склонов 497.
Технико-производственные показатели 676.
Технормирование 119.
Тимол 786.
Тиранта 169.
Тоаз 125.
Томасшлак 457.
Торбернит 597.
Тормозная сила поезда 367.
Тормозные задачи 368.
Точка воспламенения 295.
Травертин 354.
Травка (канат) 775.
Транспорт при туннельных работах 142.
Трансформация на частоту напряжения 549.
Трансформация на частоту тока 549.
Трение в машинах 860.
Трение жидкостное 860.
Трение полужидкостное 860.
Трение сухое 856.
Трехокись урана 595.
Тринитрорезорцин 786.
Трихлоруксусная кислота 507.
Тройники 48.
Труба сист. Борденава 98.
Трубки для прокладки проводов 650.
Трубопровод для кабелей 487.
Трубы алюминиевые 93.
Трубы асбоцементные 102.
Трубы асфальтовые 94.
Трубы бетонные 96.
Трубы бронзовые 99.
Трубы высокого давления 101.
Трубы деревянные 93.
Трубы железобетонные 92, 98.
Трубы каменные 90.
Трубы канализационные 86.
Трубы керамиковые 96.
Трубы компенсационные 103.
Трубы латунные 99.
Трубы маннесмановские 100.
Трубы медные 65, 99.
Трубы металлические 92.
Трубы оловянные 99.
Трубы панцырные 102, 651.
Трубы под насыпями 90.
Трубы Роже 102.
Трубы свинцовые 99.
Трубы свинцовые с оловянной внутренней рубашкой 100.
Трубы, спирально сваренные 100.
Трубы стальные 100, 101.
Трубы Тиссена 100.
Трубы цельнотянутые 65.
Трубы цементные 96.
Трубы чугунные 25, 101.
Трубы штейнгутовые 96.
Трубы этернитовые 102.
Тряпкорубка 122.
Туаз двойной 125.
Туаз Фортена 125.
Туннели горные 161.
Туннельные работы 137.
Турбины газовые 285.
Турбины газовые постоянного давления 303.
Турбины газовые с быстрым сгоранием 305.
Турбины Гольцварта 308.
Турбины Лемаль-Арманго 307.
Турбины Лоренцена 313.
Турбины судовые 281.
Турбины теплофикационные 279.
Турбины Штаубера 310.
Турбины Эрнесто Бреда 311.
Турбо-альтернаторы 328.
Турбогенератор вертикаль-компаунд 329.
Турбогенератор кросс-компаунд 329
Турбогенератор собственных нужд 331.
Турбогенераторостроение 336.
Турбогенератор-тандем 329.
Турбогенераторы пиковые 331.
Турбо-динамо 328.
Турболокомотивы 316.
Турбопаровозы 316.
Турбостроение 271.
Турмалин синий 350.
Турмалин черный 350.
Турнбуллова синь 350.
Туссор индийский 351.
Туссор японский 351.
Тутовник 352.
Тутовое волокно 352.
Тутовый лист 352.
Тушь жидкая 363.
Тушь китайская 363.
Туя восточная 364.
Туя гигантская 363.
Туя западная 363.
Тюб 177.
Тюлевая ткань 364.
Тюсса 351.
Тюфяки ленточные 776.
Тюфяки фашинные 774.
Тюя-Муюнит 597.
Тяговые расчеты автомобиля 369.

Увой 410.
Углекислота газообразная 418.
Углекислота жидкая 419.
Углекислота твердая 420.
Углекислый газ 416.
Углеродные цепи 426.
Угол возвышения 635.
Угол устойчивости 640.
Уголь аморфный 422.
Угольный ангидрид 416.
Удар гидравлический 442.
Ударная нагрузка 632.
Удельная сила тяги 366.
Удобрения жидкие 469.
Удобрения зеленые 467, 469.
Удобрения минеральные 453.
Удобрения многосторонние 453.
Удобрения односторонние 453.
Удобрения органо-минеральные 468.
Удобрения сложные 453.
Удобрения соломистоволокнистые 469.
Узел ткацкий 484.
Узорчатые нити 364.
УКВ (ультракороткие волны) 524.
Уксусная кислота ледяная 502.
Уксуснокислые соли 506.
Ультрамарин зеленый 534.
Ультрамарин красный 534.
Ультрамарин синий 534.
Ультрамарин фиолетовый 534.
Ультрафиолетовая прозрачность 408.
Ультрацентрифуга 544.
Умножители частоты 548, 556.
Универсалы 558.

Унифиляр 560.
Унтерцуги 148.
Уплотнительные кольца 103.
Упругая линия 561.
Уравнение движения поезда 364, 367.
Уравнение неразрывности струи 225.
Уравнение трех перемещений 564.
Уравновешивание вращающихся масс 589.
Уравновешивание динамическое 590.
Уравновешивание поршневых двигателей 581.
Уравновешивание центробежных сил 586.
Уранат аммония 596.
Уранат натрия 596.
Уранаты 595.
Урангуммит 598.
Уранил 596.
Уранил-аммоний углекислый 596.
Уранинит 597.
Урановая смолка 595.
Ураноспинит 597.
Уранотанталит 597.
Ураноцирцит 597.
Урзолы 604.
Усилители 606.
Ускорение вращательное 432.
Ускорение центростремительное 432.
Установочные изделия 643.
Устойчивость вращающихся валов 661.
Устойчивость оболочек 660.
Устойчивость пластин 659.

Фазовые искажения 615.
Фазовые постоянные 742.
Фактис светлый 744.
Фактис темный 744.
Фанера для внутреннего рынка 753.
Фанера лущеная 746.
Фанера пиленая 746.
Фанера строганая 746.
Фанера экспортная 753.
Фанерный станок пильный 746.
Фарфор костяной 767.
Фарфор мягкий 766.
Фарфор твердый 766.
Фарфоровая масса 766.
Фашинная кладка 776.
Фенантрен-хинон 781.
Феноляты 784.
Ферментаторы 501.
Ферментация 500.
Фермы арочные 810
Ферроуран 598.
Фетр 813.
Фидерные линии 818.
Физико-химия поверхностных явлений 820.
Филаты 147, 168.
Фильдеперс 883.
Фильтр гравийный 919.
Фильтр козырьковый 920.
Фильтрат 892.
Фильтрация 892.
Фильтрование 892.
Фильтр-прессы 900.
Фильтрующая среда 893.
Фильтрующий материал 893.
Фильц 813.
Флавиндулин 781.
Фланцы 51.
Флексоглас 407.
Флорглюцин 787.
Флуоресценц-фотометр 543.
Фонарь 11.
Формование фарфоровых изделий 767.
Формовка труб 27.
Форшальтурбина 261.
Фосфаты аммония 459.
Фосфоритная мука 457.
Фотография рабочего времени 120.
Фрика метод 483.
Фукоза 415.
Фурнели 166.

Характеристика двигателя автомобиля 370.
Характеристическое уравнение 579.
Хаус-турбогенератор 331.
Хвост (щита) 177, 186.
Хилсайд-комбайн 392.
Хлорангидрид уксусной кислоты 507.
Хлоруксусная кислота 507.
Хризен 412.
Хронометраж 120.

Целлобиоза 415.
Целоглас 407.
Целофан 407.
Цена деления 601.
Центрального ядра способ разработки туннелей 172.
Центрифуги фильтровальные 897.
Центробежная машина (для отливки труб) 20.
Цианамид кальция 457.
Цистерны (бочки) 470.
Цистерны успокоительные 621.
Цистерны Фрама 621.
«Черноты» 408.
Черные отметки 408.
Черный порошок 503.
Черный углерод 422.
Четырехполюсник 612.
Число Фарадея 762.
Чурак 750.

Шаг лопаток 251.
Шахта 144.
Швеллер 168.
Шед 902.
Шези формула 35.
Шелковица 351.
Шелковица белая 352.
Шелковица красная 352.
Шелковица черная 352.
Шенка машина 631.
Шерл 350.
Шерл малиновый 350.
Шлюзовые экраны 198.
Шпаны 148, 168.
Шпонка кольцевая 354, 358.
Штатив 432.
Штендеры 148, 168.
Штепсель 646.
Штепсельная розетка 646.
Штепсельные соединения 646.
Штольни 127, 145.
Штоссбанк 61.
Штребели 164.
Штроссы 163.

Щит 193.
Щит (для работ в туннеле) 191.
Щит Гретхеда 177.
Щитовой способ постройки туннелей 191.

Юнгстрема ступень 236.

Эйфорин 599.
Экзаменатор 601.
Эластичность сети (электрическая) 579.
Электрон 64.
Электроультрафильтрование 536.
Элементы крейсерские 283.
Энзимы 788.
Эскиз 485.
Этилидендиацетат 508.
Этиловый эфир аминофенола 781.
Этиловый эфир карбаминовой кислоты 599.
Эфиры уксусной кислоты 506.
Эхо-лот 524.