

О Х Р А Н А О К Р У Ж А Ю Щ Е Й С Р Е Д Ы

СРЕДСТВА ОЧИСТКИ ЖИДКОСТЕЙ НА СУДАХ СПРАВОЧНИК

Под редакцией к. т. н. И. А. Иванова



Ленинград
„Судостроение”
1984

Авторы:

И. А. Иванов, А. Т. Александров, Ю. С. Веселов, Г. Ф. Гусаков, Г. С. Зенин,
В. М. Сомкин

Рецензенты:

докт. техн. наук, проф. С. А. Богатых, инж. Ю. К. Чистяков
Научный редактор
инж. Л. А. Промыслов

С75 Средства очистки жидкостей на судах: Справочник/Под общей ред. И. А. Иванова – Л.: Судостроение, 1984. – 272 с., ил. – (Охрана окружающей среды).

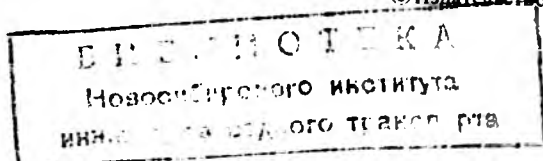
Собраны сведения, касающиеся выбора, проектирования и эксплуатации систем очистки жидкостей: топлива, масла, рабочих жидкостей, питательной воды. Рассмотрены источники и состав загрязнений, приведены методы расчета и рекомендации по применению средств очистки.

Для специалистов, занимающихся исследованием, проектированием, испытанием и эксплуатацией средств очистки жидкостей на судах.

3605030000 – 057
С ————— 17–84
048 (01) – 84

39.459

©Издательство „Судостроение“, 1984 г.



ПРЕДИСЛОВИЕ

На современном судне применяются различные жидкости, необходимые для работы судовых энергетических установок и обеспечения хозяйственно-бытовых нужд экипажа. Для обработки этих жидкостей на судне используется высокоэффективное очистное оборудование. Значение средств очистки жидкостей на судах постоянно возрастает в связи с увеличением энерговооруженности судов, повышением требований к их безаварийной эксплуатации, соблюдению санитарных норм и охране окружающей среды.

Применяемые на судах жидкости отличаются по химическому составу и физическим свойствам, а их разделение и очистка осуществляются в очистительных аппаратах, основанных на различных принципах действия. Для правильного выбора и эффективной эксплуатации очистителей требуется глубокое знание происходящих в них физико-химических процессов. В справочнике рассмотрены процессы очистки топлива, масла, котловой, питательной, охлаждающей и пресной бытовой воды, нефтесодержащих и сточных вод. Он содержит информацию о показателях качества, контрольных анализах жидкостей, составе и свойствах загрязняющих примесей, нормах качества, методах очистки. Даны рекомендации по выбору рациональных технологических схем и режимов их эксплуатации. Особое внимание уделено описанию средств очистки, используемых в судовых условиях.

Наряду со сведениями практического характера в книге приведены материалы, относящиеся к методике расчета очистителей, что расширяет возможности использования справочника.

Авторы не ставили перед собой цель с исчерпывающей полнотой осветить все затронутые вопросы очистки, предполагая, что при необходимости более глубокого ознакомления с интересующим разделом может быть использована выпущенная ранее литература.

При выборе структуры книги авторы отказались от традиционного распределения материала по главам, целиком посвященным только одной из рассматриваемых жидкостей: топливу, маслу, воде и т. д. Такая структура неизбежно могла привести к дублированию информации, поскольку в каждой главе пришлось бы заново излагать общие сведения, в равной мере относящиеся ко всем жидкостям. Поэтому в отдельные главы выделены принципиально различные средства очистки: фильтрующие очистители, силовые очистители и т. д. Причем в каждой главе в соответствующих параграфах приведены как общие сведения, относящиеся ко всем жидкостям, так и специфические, характерные для конкретных жидкостей. Такой подход позволил весь материал справочника изложить с единых научно-технических позиций, увеличить объем полезной информации за счет исключения дублирования сведений и предложить читателю в каждой главе большинство имеющихся решений с целью облегчения выбора наиболее приемлемого варианта.

Материал справочника, кроме специалистов, занимающихся разработкой, исследованием и эксплуатацией средств очистки жидкостей на судах, может быть интересен читателям, работающим в других отраслях промышленности, где средства очистки являются элементами технологического процесса.

Справочник создан коллективом авторов: А. И. Ивановым подготовлен материал по очистке топлив, А. Т. Александровым — по очистке масел, Г. Ф. Гусаковым — по очистке воды пароэнергетической установки, Ю. С. Веселовым — по очистке охлаждающей, пресной и бытовой воды, В. М. Сомкиным — по очистке нефтесодержащих вод, Г. С. Зениным по очистке сточных вод.

Отзывы и пожелания просим направлять по адресу: 191065, Ленинград, ул. Голландия, 8, издательство „Судостроение“.

Глава 1.
**ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЖИДКОСТЯХ,
ИСПОЛЗУЕМЫХ НА СУДАХ**

§ 1.1. Нефтепродукты

Нефтепродукты — топлива, масла и рабочие жидкости — на судне используют для различных целей. Топливо является источником энергии судовой энергетической установки (СЭУ). Смазочные материалы служат для снижения скорости изнашивания деталей, отвода тепла от трущихся деталей, удаления продуктов износа (абразивов) и других загрязнений. Гидравлические жидкости (масла) являются рабочим телом в гидравлических системах различного назначения.

Показатели качества в ГОУ'ах определяют эксплуатационные свойства того или иного нефтепродукта, возможность его применения в определенном типе СЭУ.

Однако на пути от завода-изготовителя до потребителя некоторые показатели качества нефтепродуктов трудно выдержать неизменными. Нефтепродукты в процессе транспортировки и хранения обводняются и загрязняются, что может ухудшить их характеристики, определяющие надежность и эффективность работы двигателя. К таким характеристикам относятся: вязкость, температура вспышки, температура застывания, содержание в нефтепродуктах воды и механических примесей, содержание смолистых веществ, осадкообразование и термическая стабильность, зольность и плотность.

Вязкость — сила сопротивления жидкости при взаимном перемещении ее слоев под влиянием действующих на них сил. Вязкость зависит от природы нефтепродуктов, температуры и давления, оказывает влияние на фильтрование, сепарирование и прокачиваемость нефтепродуктов. Различают вязкость динамическую, кинематическую и условную.

Динамическая вязкость μ — это сила, противодействующая взаимному перемещению двух слоев жидкости площадью 1 м^2 , находящихся на расстоянии 1 м и перемещающихся один относительно другого со скоростью 1 м/с .

Кинематической вязкостью ν называется отношение динамической вязкости жидкости к ее плотности при температуре определения.

Условной вязкостью называется отношение времени истечения из вискозиметра 200 мл нефтепродукта при определенной температуре ко времени истечения такого же количества дистиллированной воды при 20°С . Число градусов условной вязкости при температуре $t^\circ \text{С}$ обозначается $^\circ \text{ВУ}$. В градусах условной вязкости измеряют высоковязкие нефтепродукты.

Эффективность очистки нефтепродуктов во многом зависит от их вязкости. При отстаивании и сепарировании вязкость имеет большое значение для выбора технологических режимов этих процессов. Вязкость при температуре сепарирования не должна превышать $2-4^\circ \text{ВУ}$. Некоторые зарубежные фирмы устанавливают максимальную производительность сепаратора при вязкости жидкости 2°ВУ .

Температура вспышки — это температура, при которой пары нефтепродукта, нагреваемого в установленных стандартных условиях, образуют с окружающим воздухом смесь, вспыхивающую при поднесении к ней пламени. Этот показатель характеризует нижний предел воспламенения нефтепродукта в смеси с воздухом

и определяется в открытом или закрытом тигле. Температура вспышки в ряде случаев учитывается при определении температуры сепарирования нефтепродукта.

Температура застывания — это температура, при которой у топлив в стандартных условиях возникает состояние потери текучести. При очистке нефтепродуктов этот показатель важен для определения возможности перекачивания их из емкости в емкость.

Содержание воды — предельное содержание воды в нефтепродукте нормируется ГОСТом. Однако в процессе транспортировки, хранения и эксплуатации оно может значительно возрасти (подробнее см. главу 3). Вода может быть в нефтепродукте в связанном и свободном состояниях.

Присутствие воды в нефтепродукте нежелательно, так как оно отрицательно воздействует на долговечность и надежность работы энергетических установок и механизмов, вызывая повышенные износы и коррозию. Поэтому в маслах и легких маловязких (дизельных) топливах наличие воды не допускается.

Меньшее воздействие оказывает на трущиеся поверхности топливной аппаратуры вода, находящаяся в тяжелом топливе. В этом случае каждая капля воды покрыта сольватной пленкой и с поверхностью металла вода не контактирует. Поэтому при использовании тяжелых топлив в малооборотных дизелях содержание воды допускается более 1%.

Повышенное (более 3%) содержание воды в нефтепродуктах, способных к эмульгированию, создает определенные трудности при выполнении требований по охране окружающей среды. Это связано с тем, что в таких нефтепродуктах образуются водонефтяные эмульсии, которые не разделяются при отстаивании, сепарировании или фильтровании. Поэтому в шлам уходит не вода, а водонефтяная эмульсия, которую необходимо утилизировать (сжигать на судне либо сдавать на берег).

Содержание механических примесей обусловлено наличием в нефтепродуктах органических и неорганических включений. Механические примеси находятся в нефтепродуктах в виде взвешенных частиц. К органическим примесям относятся карбены, карбониды, асфальтены. Неорганические примеси — продукты коррозии, песок, окись алюминия, окись кремния и др. — попадают в топливо при его добыче, транспортировке и хранении.

Механические примеси, так же как и вода, действуют отрицательно прежде всего на трущиеся поверхности деталей. Особенно опасны частицы, соизмеримые с зазорами в прецизионных узлах трения, вызывающие задиры и износы поверхностей.

Содержание смолистых веществ в нефтепродуктах объясняется окислением и полимеризацией углеводородов. Смолистые вещества разделяются на нейтральные нефтяные смолы, кислые смолы, асфальтены, карбены и карбониды. В нефтепродуктах в состав смолистых веществ входят смолы, асфальтены и другие высокомолекулярные соединения.

При очистке нефтепродуктов смолистые вещества агрегируются в крупные агломераты и выпадают в шлам. Количество выделяющихся при сепарировании смолистых веществ растет с увеличением вязкости нефтепродукта и может составлять, например, у моторных топлив ДТ до 0,5% массы топлива, у флотских мазутов Ф-5 до 1%, у котельных мазутов М40 до 5–7%.

Коксуемость — свойство нефтепродуктов образовывать углеродистый остаток при нагревании их без доступа воздуха. Коксуемость характеризует способность нефтепродукта создавать нагар в цилиндрах, что вызывает повышенный износ деталей двигателя, ухудшение распыла и т. д.

Осадкообразование — склонность нефтепродуктов к осаждению механических примесей. Осадки, которые образуются на фильтрах, в барабанах сепараторов, в подогревателях, в танках и цистернах, различны по составу и зависят от вида и сорта нефтепродукта. С повышением вязкости склонность к осадкообразованию увеличивается. В танках, заистка которых происходит редко, при хранении высоковязких нефтепродуктов могут образоваться осадки толщиной до 300–400 мм. Более плотные осадки образуются в барабане сепараторов. Состав осадков — это в основном смесь асфальтосмолистых веществ, механических примесей, парафина, озокерита и воды.

Зольность — это массовая доля несгораемого остатка (в процентах), образующегося при сжигании нефтепродукта. Различают золу первичную (внутреннюю) и вторичную (внешнюю).

Первичную золу образуют химические соединения, содержащие металлы, растворенные в нефтепродуктах. Вторичную золу составляют химические соединения, содержащие металлы и попавшие в нефтепродукты при добыче, перекачивании и хранении (соли буровых вод, продукты коррозии трубопроводов, продукты износа и пр.). В нормативных документах и паспортах на нефтепродукты допустимое значение зольности указывается с учетом первичной и вторичной зольности (т. е. их сумма).

Плотность — это масса вещества, содержащаяся в единице объема. С увеличением температуры плотность нефтепродуктов падает. Плотность влияет на процесс разделения примесей и нефтепродукта. Чем больше разность плотностей, тем эффективнее очистка нефтепродукта при отстаивании и сепарировании. При очистке тяжелых топлив, у которых плотность приближается к единице (к плотности воды), удаление воды из топлива затруднительно.

По плотности нефтепродукта выбирают регулировочную шайбу при настройке сепаратора в режиме пурификации (подробнее см. главу 6).

§ 1.2. Вода парознергетической установки

Основные понятия, характеризующие воду судовых энергетических установок, перечислены ниже.

Пресная вода — вода с содержанием растворенных веществ до 1 г/л (речная, озерная, подземная).

Морская вода — вода на земной поверхности, сосредоточенная в океанах и морях.

Забортная вода — вода, применяемая для охлаждения конденсаторов и теплообменных аппаратов.

Умягченная вода — вода, подвергнутая умягчению для снижения жесткости.

Деаэрированная вода — вода, подвергнутая деаэрации для удаления газов.

Обескислороженная вода — вода, подвергнутая обескислороживанию для удаления растворенного кислорода химическим способом.

Дистиллят — вода, очищенная от растворенных в ней примесей путем однократного испарения в дистилляторе или судовой опреснительной установке.

Бидистиллят — дистиллят после двукратного испарения.

Вода высокой чистоты — обессоленная вода (условно 0,035 мг/л NaCl при 18°С). В судовых условиях общее солесодержание воды менее 0,25 мг/л, а содержание ионов хлора менее 0,02 мг/л.

Рассол — сконцентрированная забортная вода с высоким содержанием растворенных солей и шлама.

Питательная вода — вода, поступающая на питание котлов и парогенераторов. Применительно к конденратно-питательной системе — вода от питательного насоса до котла (парогенератора).

Котловая вода — вода, содержащаяся в котле во время его работы и бездействия.

Конденсат — вода, образующаяся из пара при его конденсации. Применительно к конденратно-питательной системе — вода от конденсатора до питательного насоса.

Добавочная вода — вода, предназначенная для восполнения потерь пара, конденсата, питательной и котловой воды в пароводяном тракте установки.

Продувочная вода — вода, удаляемая из котла при его продувке.

Качество воды, используемой на судах, определяется показателями, перечисленными ниже.

Качество воды — совокупность свойств воды, определяющих пригодность ее для конкретных технических целей, обусловленная концентрацией содержащихся в ней примесей.

Примеси — неорганические и органические вещества, находящиеся в воде и ухудшающие ее качество. К неорганическим примесям воды относятся: растворен-

ные в ней газы атмосферы (кислород, углекислота), различные растворимые соли: к органическим — газы, образующиеся в результате окислительно-восстановительных процессов, протекающих в природных водах (аммиак, иногда сероводород).

Растворенная примесь — примесь, частицы которой находятся в состоянии молекулярной или ионной дисперсности, составляет с водой гомогенную систему.

Коллоидная примесь — примесь, частицы которой находятся в состоянии высокой степени дисперсности (1–0,1 мкм), составляет с водой гетерогенную систему.

Взвешенные вещества — показатель, характеризующий содержание грубодисперсных примесей в воде (размер частиц более 0,1 мкм). Взвешенные вещества в природных водах находятся в виде глинистой суспензии, частиц песка и гуматов (продуктов окисления отмершей растительности): в котловой и питательной воде — в виде шлама, содержащего плохо растворимые вещества.

Частицы взвешенных веществ, находящиеся в воде, обычно приобретают электрический заряд как в результате избирательной адсорбции поверхностью вещества тех или иных ионов, присутствующих в воде, так и в результате отдачи ионов в раствор.

Основные ионы, встречающиеся в природной пресной и морской водах: к а т и о н ы — натрий (Na^+), калий (K^+), кальций (Ca^{2+}), магний (Mg^{2+}), аммоний (NH_4^+), железо (Fe^{2+}), марганец (Mg^{2+}), медь (Cu^{2+}), цинк (Zn^{2+}), никель (Ni^{2+}), кобальт (Co^{2+}), алюминий (Al^{3+}); анионы — бикарбонат (HCO_3^-), хлорид (Cl^-), сульфат (SO_4^{2-}), бисиликат (HSiO_3^-), фторид (F^-), нитрат (NO_3^-), карбонат (CO_3^{2-}), бисульфид (HS^-), борат (BO_2^-), нитрит (NO_2^-), бромид (Br^-), ионид (I^-), фосфат (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}).

Поведение частиц взвешенных веществ в воде определяется их крупностью (степенью дисперсности). Грубодисперсные частицы или всплывают (при плотности, меньшей плотности воды), или осаждаются. Тонкодисперсные и коллоидные частицы не могут слипаться и оседать, так как обладают одноименным электрическим зарядом.

Поведение частиц взвешенных веществ иногда характеризуется гидравлической величиной, т. е. скоростью осаждения в воде отдельных частиц различной крупности. Гидравлическая величина частиц выражается в миллиметрах в секунду и измеряется при температуре воды 10° С.

Гидравлическая величина для частиц различных размеров приведена в табл. 1.1.

Взвешенные вещества создают осложнения как при умягчении и обессоливании воды, так и при дальнейшем ее использовании. Они загрязняют иониты, снижая их способность к обмену ионов. Попадая в котлы, примеси участвуют в процессах накипобразования, создают пену при кипении воды, ухудшают качество пара.

Освобождение воды от взвешенных веществ и коллоидных примесей обязательно для всех установок, работающих на природных поверхностных водах. Только при использовании грунтовых вод или отработанной водопроводной воды эту операцию можно не выполнять.

Присадка — вещество, специально вводимое в воду для улучшения ее технологических свойств, предотвращения коррозии и уменьшения накипобразования.

Таблица 1.1

Гидравлическая величина частиц взвешенных веществ в зависимости от степени дисперсности

Размер частицы кубической формы, см	Степень дисперсности, см ⁻¹	Объем, V, см ³	Поверхность S, см ²	Отношение S/V, см ⁻¹	Гидравлическая величина, мм/с
0.1	10	10 ⁻³	6 · 10 ⁻²	60	1 · 10 ²
0.01	100	10 ⁻⁶	6 · 10 ⁻⁴	600	7 · 10 ⁰
0.001	1000	10 ⁻⁹	6 · 10 ⁻⁶	6000	7 · 10 ⁻²
0.0001	10000	10 ⁻¹²	6 · 10 ⁻⁸	60000	7 · 10 ⁻⁴
0.00001	100000	10 ⁻¹⁵	6 · 10 ⁻¹⁰	600000	7 · 10 ⁻⁶

Плотный остаток — условный показатель, характеризующий содержание неорганических (растворенных, коллоидных и грубодисперсных) примесей и частично органических примесей в воде (кроме газов). Определяют путем упаривания нефилтрованной пробы и высушивания осадка при 105°C до постоянной массы.

Сухой остаток — условный показатель, характеризующий содержание растворенных и коллоидных неорганических и частично органических примесей в воде. Определяют путем выпаривания определенного объема воды, предварительно профильтрованной, и высушивания полученного остатка при $105-110^{\circ}\text{C}$ до постоянной массы.

Сухой остаток выражает содержание в воде растворенных нелетучих при соответствующей температуре веществ только условно, потому что на величину сухого остатка влияют как способность многих веществ (сернистый натрий, едкий натр, фосфорнокислый натрий и др.) частично отдавать влагу и кристаллизационную воду при температуре $105-110^{\circ}\text{C}$, так и изменение массы некоторых органических веществ, окисляющихся при этой температуре.

Прокаленный остаток — условный показатель, характеризующий общее содержание веществ, остающихся после прокаливания сухого остатка при температуре $500-600^{\circ}\text{C}$.

Общее солесодержание по NaCl — условный показатель, характеризующий содержание в воде всех растворенных веществ, способных проводить электрический ток, т. е. диссоциирующих на ионы: выражается в миллиграммах хлористого натрия в 1 л воды.

Удельная электрическая проводимость — величина, обратная электрическому сопротивлению воды, находящейся между двумя электродами с поверхностью 1 см^2 , расстояние между которыми равно 1 см.

Концентрация водородных ионов (показатель pH) — показатель, характеризующий кислотность или щелочность воды, выражается отрицательным десятичным логарифмом концентрации ионов водорода $\text{pH} = -\lg [\text{H}^+]$.

В химически чистой воде при температуре около 25°C приблизительно одна десятимиллионная часть молекул диссоциирует на ионы водорода H^+ и ионы гидроксила OH^- , из которых снова образуются молекулы воды по уравнению $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$.

На основании закона действующих масс, согласно которому скорость химической реакции в растворе пропорциональна концентрации каждого реагирующего вещества, скорости обеих реакций можно записать так: $v_1 = K_1 [\text{H}_2\text{O}]$; $v_2 = K_2 [\text{H}^+] [\text{OH}^-]$.

Исходя из равенства скоростей взаимно противоположных процессов следует, что $[\text{H}^+] [\text{OH}^-] = (K_1/K_2) [\text{H}_2\text{O}] = K_w$.

Величина K_w называется ионным произведением воды. Это соотношение сохраняется не только для чистой воды, но и для водных растворов различных веществ. Концентрация водородных и гидроксильных ионов в реальных водных растворах может достигать величины около 15-го порядка, для простоты эти концентрации принято выражать их логарифмами, т. е. pH и pOH. Тогда логарифмы ионного произведения можно представить в виде суммы $\text{pH} + \text{pOH} = \text{p}K_w$.

Растворы, в которых концентрации H^+ и OH^- равны, а значит $\text{pH} = \text{pOH}$, называют нейтральными. Растворы, где $[\text{H}^+] > [\text{OH}^-]$ и, следовательно, $\text{pH} < \text{pOH}$, называют кислотными. Растворы, где $[\text{H}^+] < [\text{OH}^-]$ и, следовательно, $\text{pH} > \text{pOH}$, называют щелочными.

Классификацию водных растворов по величине pH можно представить так:

Раствор	pH
Кислый	1-4
Слабокислый	4-6,5
Нейтральный	7
Слабощелочной	7,5-10
Щелочной	10-14

Общая жесткость — суммарная концентрация катионов кальция и магния в воде. Этот показатель выражают в миллиграмм-эквивалентах в 1 л воды (мг-эquiv/л). Ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} могут быть связаны с различными анионами (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- и др.). Гидрокарбонаты кальция и магния $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ и их карбонаты CaCO_3 , MgCO_3 определяют карбонатную жесткость. При нагревании воды нарушается карбонатное равновесие (уменьшается содержание CO_2), вследствие чего гидрокарбонаты переходят в карбонаты $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

Растворимость карбонатов кальция и магния значительно меньше, чем гидрокарбонатов, поэтому при нагревании жесткость воды снижается. Жесткость воды, обусловленная гидрокарбонатами кальция и магния, называется *устранимой* (временной). Разность между общей и устраняемой жесткостью называется *неустраняемой*, или постоянной жесткостью. Сульфаты, хлориды, гидросиликаты кальция и магния определяют *некарбонатную* жесткость. В большинстве природных вод содержание $\text{HCO}_3^- < (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ и соответствует устраняемой жесткости. В щелочных водах $\text{HCO}_3^- > (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$, и общую жесткость условно принимают за карбонатную.

Общая щелочность — суммарная концентрация содержащихся в воде гидратов, бикарбонатов, карбонатов и солей других слабых кислот, вступающих в реакцию с соляной или серной кислотой с образованием хлористых или сернокислых солей щелочных и щелочно-земельных металлов. По содержанию в воде гидроксильных ионов OH^- и анионов слабых кислот HCO_3^- , CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , SiO_3^{2-} , связанных с катионами Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , которые при диссоциации образуют более сильные щелочи и придают раствору щелочной характер, различают щелочности: гидратную, бикарбонатную, карбонатную, фосфатную, силикатную и др.

Свободная щелочь — часть общей щелочности, обусловленная гидратами щелочных металлов.

Связанная щелочность — часть общей щелочности, представляющая разность между общей щелочностью и свободной щелочью.

Щелочное число — показатель, характеризующий общее количество щелочных соединений в котловой воде, титруемых сильной кислотой в присутствии индикатора фенолфталеина (в пересчете на NaOH).

Щелочь нелетучая при прокаливании — показатель, характеризующий содержание в воде нелетучих щелочей (в пересчете на NaOH) при температуре 500–600°С.

Нитратное число — показатель, характеризующий содержание азотнокислых солей в котловой воде (в пересчете на NaNO_3).

Фосфатное число — показатель, характеризующий содержание растворенных фосфатов в воде (в пересчете на P_2O_5).

Содержание ионов хлора — показатель, характеризующий содержание ионов хлора (Cl^-) в воде.

Соленость — показатель, характеризующий содержание в воде хлористых солей, выражается в градусах Брандта. Один градус Брандта соответствует содержанию 10 мг хлористого натрия или 6,06 мг ионов хлора в 1 л воды. Показатель „соленость” применяется, как правило, при высоких концентрациях ионов хлора в воде и определяется так же, как содержание ионов хлора.

Содержание сульфат-ионов — показатель, характеризующий содержание сульфат-ионов (SO_4^{2-}) в воде.

Окисляемость — показатель, характеризующий содержание в воде органических примесей, окисляющихся перманганатом калия KMnO_4 в определенных условиях;

выражается через количество окислителя (в пересчете на O_2), необходимого для окисления органических веществ, содержащихся в 1 л воды.

Содержание растворенного кислорода – показатель, характеризующий содержание растворенного в воде кислорода (O_2).

Растворенный в воде кислород является главным агентом, вызывающим коррозию металла энергетического оборудования. К аналогичным агентам в судовых котельных установках относят уголекислоту (CO_2) и аммиак (NH_3).

Концентрация любого растворенного в воде газа, согласно закону Дальтона, пропорциональна парциальному давлению данного газа над раствором и коэффициенту абсорбции, зависящему от температуры. Если концентрация газа в растворе больше, т. е. его парциальное давление не соответствует его давлению над раствором, то газ постепенно выделяется из раствора, и наоборот. Скорость выделения или абсорбции газа возрастает при перемешивании воды и увеличении поверхности соприкосновения воды с газом.

Содержание свободной уголекислоты – показатель, характеризующий содержание свободной уголекислоты (CO_2) в воде.

Содержание продуктов коррозии – показатель, характеризующий содержание в воде соединений меди, железа, цинка, никеля и других металлов (в пересчете на соответствующие ионы Cu^{2+} , Fe^{2+} и др.).

Содержание масла и нефтепродуктов – показатель, характеризующий содержание масла и нефтепродуктов в воде.

Кроме перечисленных выше показателей качество котловой и питательной воды характеризуется содержанием таких веществ, как аммиак (NH_3), гидразин (N_2H_4), железо (Fe^{3+}), медь (Cu^{2+}), никель (Ni^{2+}), натрий (Na^+), титан (Ti^{4+}).

§ 1.3. Охлаждающая и пресная бытовая вода

Охлаждающая вода. Для охлаждения механизмов и оборудования служит охлаждающая вода, в качестве которой используют пресную или забортную воду. Пресную охлаждающую воду применяют, в основном, в замкнутых (циркуляционных) системах, забортную – в проточных системах охлаждения. В охлаждающей воде не должно быть лишних взвешенных и растворенных примесей, которые засоряют охлаждаемые устройства.

Проточные системы применяют для охлаждения наддувочного воздуха, масла и пресной воды, вспомогательного оборудования (компрессоров, конденсаторов, испарителей, холодильных установок), подшипников валопровода и других механизмов. Циркуляционные системы применяют, например, для охлаждения двигателей внутреннего сгорания.

Для оценки качества охлаждающей воды служат следующие показатели: общая жесткость, общее солесодержание, водородный показатель pH, содержание уголекислоты, температура, содержание присадок. Присадки используют в качестве ингибитора коррозии и для предотвращения выпадения накипи в охлаждаемых механизмах. При выборе конструкционных материалов деталей, контактирующих с охлаждающей водой, важнейшими показателями качества являются pH и общее солесодержание.

Пресная бытовая вода. Применяется она для приготовления пищи на камбузе, питья, мытья посуды, подается в души, бани, прачечные, умывальники, используется в технологических процессах производства пищевой продукции (например, в цехах рыбопереработки).

Санитарными правилами для морских судов СССР на судах предусматриваются запасы питьевой и мытьевой воды; требования к той и другой воде отличаются лишь по условиям хранения, в отношении качества эти требования аналогичны.

Качество питьевой и мытьевой воды характеризуется органолептическими, химическими и бактериологическими показателями и должно удовлетворять требованиям ГОСТ 2874-73.

Органолептические показатели включают запах и привкус, мутность и цветность.

Запах и привкус обусловлены присутствием природных примесей и загрязнений. Из минеральных природных веществ запах и привкус свойственны, например, сероводороду, соединениям железа и марганца, сульфатам, хлоридам. Запах и привкус биологического происхождения (травяной, болотный, земляной, рыбный и др.) являются следствием жизнедеятельности и отмирания высших водных растений, грибов, плесени, водорослей, некоторых форм бактерий.

Запах и привкус воде придают также промышленные загрязнения: ароматические и алифатические углеводороды, спирты, фенолы, кетоны, альдегиды и др. Наименьшими пороговыми концентрациями по запаху обладают фенолы и пестициды, причем фенольный запах усиливается при хлорировании воды, так, хлорфенолы ощущаются в воде при концентрации 0,01 мг/л. С повышением температуры воды интенсивность запаха и привкуса возрастает. Запах и привкус измеряют в баллах.

Мутность воды характеризует примеси, находящиеся в дисперсном состоянии. Показатель мутности (мг/л) пропорционален массовой концентрации взвешенных веществ и определяет интенсивность светорассеяния. С изменением степени дисперсности примесей мутность меняется неоднозначно: при увеличении размеров частиц (начиная от молекулярных) интенсивность светорассеяния сначала возрастает, а затем постепенно уменьшается. Максимальное светорассеяние соответствует коллоидной степени дисперсности ($10^{-7} - 10^{-9}$ м).

Из-за сложности методики определения мутности на практике часто используют приближенный показатель — прозрачность, т. е. величину, обратную мутности. Чем выше прозрачность (см), тем чище вода, т. е. тем меньше в ней содержится взвешенных веществ.

Цветность воды, ее окраска объясняются наличием гуминовых соединений, танина, солей железа, органических и минеральных красящих веществ. Вода может быть желтоватой, бурой, зеленоватой и т. д. Цветность измеряют в условных градусах платинокобальтовой шкалы. Один градус цветности примерно соответствует 0,27 мг/л природных органических веществ, присутствующих в воде. Величина цветности судовых пресных вод находится в пределах 20-60 град.

Химические показатели характеризуют загрязненность воды органическими и неорганическими растворенными веществами. Для контроля химического состава пробы воды используют показатель — содержание (мг/л) химических веществ в ионной форме, в том числе: свинца (Pb^{2+}), мышьяка (As^{3+} ; As^{5+}), меди (Cu^{2+}), цинка (Zn^{2+}), железа (Fe^{2+} ; Fe^{3+}), фтора (F^{-}), серебра (Ag^{3+}), хлоридов (Cl^{-}), сульфатов (SO_4^{2-}), алюминия (Al^{3+}), активного свободного хлора (Cl_2), бериллия (Be^{2+}), молибдена (Mo^{2+}), полиакриламида, селена (Se^{6+}), стронция (Sr^{2+}), урана-238, радия-226 и др. В отдельных случаях контролируют также содержание микроэлементов (бор, бром и др.).

К химическим показателям кроме того относятся: общая жесткость, окисляемость, активная реакция pH и т. д.

Перечисленные показатели позволяют путем сопоставления результатов анализа воды с предъявляемыми к ней требованиями судить о ее пригодности для бытового и технического водоснабжения на судах.

Бактериологические показатели характеризуют содержание в воде разнообразных микроорганизмов. Их количество определяется содержанием в воде питательных веществ, температурой, насыщенностью воды кислородом, действием бактерицидных веществ и т. д. Бактериальная зараженность воды зависит от происхождения и характера водоисточника. Особенно подвержены загрязнению поверхностные водоисточники, поэтому принимать на суда и использовать воду из них без предварительной обработки (обеззараживания) нельзя. Наличие бактерий в морской воде зависит также и от расстояния места отбора пробы до берега.

Цель бактериологического анализа воды — проверка вероятности заражения ее болезнетворными бактериями, возбудителями тифа, холеры, дизентерии и др.

При бактериологическом анализе качество воды оценивают по следующим показателям: общему количеству бактерий в 1 мл неразбавленной воды (микробное число), содержанию кишечных палочек в 1 л воды (коли-индекс — характеризует бактериологическую загрязненность воды) и наименьшему объему воды, в котором обнаруживается одна кишечная палочка (коли-титр).

§ 1.4. Нефтесодержащие воды

К судовым нефтесодержащим водам относятся, как правило, трюмные и балластные воды. Нефть и нефтепродукты, вступая в непосредственный контакт с водой, загрязняют ее, находясь при этом в различных состояниях, основные из которых следующие: свободная нефть, нестабилизированные дисперсии, стабилизированные дисперсии, молекулярно растворенная нефть и нефть, обволакивающая твердые включения.

Состояние нефти в нефтесодержащих водах имеет определяющее значение для выбора способа обработки этих вод с целью их очистки.

Свободная нефть. Меньшая плотность нефти и нефтепродуктов по сравнению с водой приводит к тому, что нефть постепенно всплывает и образует слой на поверхности воды. Всплывшая нефть и является свободной нефтью, имеющей, в основном, физические и химические свойства исходной нефти. Однако со временем эти свойства могут измениться из-за наличия таких явлений, как испарение летучих компонентов, окисление воздухом, растворение растворимых фракций, микробная активность, химическая реакция с веществами, содержащимися в воде.

Нестабилизированные дисперсии. Турбулентное перемешивание нефтесодержащих вод приводит к дроблению капелек нефти и рассеиванию их в воде. В зависимости от интенсивности перемешивания и соответственно степени дробления капелек нефти получаются первичные или вторичные дисперсии.

Первичные дисперсии содержат капли нефти, диаметр которых 1000–10 000 Å. Эти капельки обычно термодинамически неустойчивы и со временем сливаются в более крупные. Созданию первичной дисперсии в значительной степени способствует прохождение нефтесодержащих вод через насосы объемного типа, создающие давление более 0,3 МПа. При этом, чем выше давление, развиваемое насосом, тем больше его диспергирующая способность. Перемешивание трюмных и балластных вод, имеющее место в судовых условиях при качке судна, также способствует созданию эмульсии.

Для вторичных дисперсий характерен диаметр частиц нефти порядка 50–600 Å. В спокойном состоянии даже длительное отстаивание не приводит к всплыванию этих мелких частиц (т. е. капельки нефти являются термодинамически устойчивыми). Созданию вторичной дисперсии способствует повышенная турбулентность потока, судовая качка и перекачивание нефтесодержащих вод насосами центробежного типа. Примерная возможная концентрация нестабилизированных дисперсий в воде составляет 50–1000 млн⁻¹. Стабилизации данных дисперсий способствует межфазное поверхностное натяжение и наличие на поверхностях капелек нефти электрического заряда. Эти факторы предотвращают слияние отдельных капелек в более крупные.

Стабилизированные дисперсии. Размеры нефтяных частиц в данном случае примерно такие же, как и при нестабилизированной дисперсии, т. е. 50–1000 Å. Однако наличие в нефти или в воде третьего компонента, т. е. поверхностно-активных веществ, приводит к стабилизации дисперсии. Поверхностно-активные вещества представляют собой молекулы, состоящие из олеофильных и гидрофильных концевых групп, которые ориентируются в эмульсии таким образом, что их олеофильные концы находятся в нефти, а гидрофильные концы закрепляются в воде. Это создает вокруг каждой капли нефти защитную пленку, предотвращающую слипание мелких частиц. Созданию стабильных дисперсий способствуют те же факторы, что и в предыдущем случае, в совокупности с вводимыми в

нефтесодержащие воды поверхностно-активными веществами. Повышение поверхностного натяжения на границе системы вода-нефть снижает ее устойчивость и способствует коалесценции нефтяных частиц.

Стабильности дисперсии способствует также уменьшение электрокинетического потенциала нефтяных частиц и повышение температуры нефтеводной смеси.

Растворенная нефть. Растворимость нефти в воде зависит в основном от вида нефти и ее молекулярной массы. Нефть плохо растворяется в воде. Молекулярно растворенная нефть — это нефть, которая находится в истинно химическом растворе в воде, размеры капелек нефти при этом менее $50 \text{ \AA}$. Концентрация молекулярно растворенной нефти не превышает 20 млн.^{-1} . Вопросы растворимости нефтепродуктов в воде изучены еще недостаточно полно, возможно, из-за отсутствия технологии измерения растворимой нефти в воде. Замечено, что в присутствии растворенного органического вещества в воде растворимость нефти увеличивается. Особенно это характерно для нефти, содержащей большие доли алифатических углеводородов. Наличие в нефтепродуктах поверхностно-активных веществ также вызывает повышение растворимости нефти.

Нефть, обволакивающая твердые включения. Твердые включения, находящиеся в воде, могут отстаиваться в ней или быть нейтральными по плавучести. Эти частицы в нефтесодержащих водах покрываются нефтью. К твердым включениям могут быть отнесены: песок, глина, уголь, продукты коррозии, асфальтены, щелочно-земельные соли и т. д. Удаление их и прилипшей к ним нефти из нефтесодержащих вод связано с определенными трудностями. Концентрация таких включений в трюмных водах зависит от многих причин.

Кроме рассмотренных выше состояний нефти в воде, существенное значение для очистки нефтесодержащих вод от нефти имеют такие физико-химические характеристики нефтесодержащих вод и ее компонентов как плотность, температура, величина pH, солесность, электропроводность, а также электрокинетические свойства.

Трюмная и балластная вода имеет плотность $1022-1033 \text{ кг/м}^3$, нефтепродукты, состоящие из применяемого на судах топлива и масла, имеют плотность $830-950 \text{ кг/м}^3$. Температура судовых трюмных и балластных вод колеблется в широких пределах и зависит от района плавания судна, температуры воздуха в машинно-котельном отделении и других факторов.

Для трюмных вод $\text{pH} = 6 \div 7,6$, т. е. трюмные воды имеют нейтральную или слабокислую реакцию. Коэффициент поверхностного натяжения при температуре 29°C составляет $(6,70 \div 7,62) \cdot 10^{-2} \text{ Н/м}$. Это указывает на то, что в трюмных водах содержится некоторое количество поверхностно-активных веществ. Удельная электропроводность воды $(0,29 \div 15,6) \cdot 10^{-2} \text{ Ом/м}$ и компонентов нефтепродуктов $(0,05 \div 34) \cdot 10^{-9} \text{ Ом/м}$.

Слабокислая реакция трюмных вод указывает на присутствие в нефтепродуктах органических кислот, которые совместно с серосодержащими соединениями могут способствовать созданию некоторой устойчивости системы вода-нефть за счет ионно-статического фактора стабилизации.

§ 1.5. Сточная и хозяйственно-бытовая вода

Для контроля качества очищенных сточных вод на судах предусмотрены следующие обязательные показатели:

- коли-индекс (характеризует бактериологическую зараженность сточных вод);
- содержание взвешенных веществ (характеризует концентрацию в сточных водах нерастворимых загрязнений);
- биохимическое потребление кислорода (БПК) (характеризует суммарное содержание органических веществ, окисленных кислородом воздуха);
- максимальное, минимальное и среднегеометрическое количество свободного активного хлора (характеризует остаточную концентрацию свободного активного хлора, оставшегося в обработанных сточных водах после их обеззараживания)

В связи с тем, что требования к качеству очистки сточных вод на судах постоянно повышаются для контроля очищенных сточных вод рекомендуется определение

ряда дополнительных показателей: летучих и осаждающих веществ, летучих взвешенных веществ, химического потребления кислорода (ХПК), мутности, полного содержания фосфатов, водородного показателя (рН), суммарного органического углерода, суммарного количества энтерококков.

Коли-индекс характеризует содержание коли-бактерий (кишечной палочки) в 1000 мл воды и является показателем бактериальной загрязненности сточных вод. Определение содержания в стоках этих бактерий вызвано тем, что коли-бактерии хорошо переносят воздействие различных обеззараживающих веществ, по сравнению с патогенными (вызывающими заболевания) бактериями. Если в анализируемой пробе сточных вод коли-бактерии отсутствуют, то можно считать, что в данной пробе отсутствуют также и патогенные бактерии.

Взвешенные вещества, находящиеся в сточных водах, характеризуются широким диапазоном размеров частиц с эквивалентным диаметром 10^{-3} — 10^{-1} мм. Часть взвешенных веществ (10–20%), содержащихся в сточных водах, находится в коллоидном состоянии с размерами частиц менее $1 \cdot 10^{-3}$ мм.

Взвешенные вещества, находящиеся в воде, подразделяются на оседающие, неоседающие и всплывающие.

Содержание взвешенных веществ является количественным показателем загрязненности сточных вод нерастворимыми соединениями и характеризует качество очистки сточных вод от нерастворимых органических и минеральных веществ.

Для судовых сточных вод концентрация взвешенных веществ обычно близка к биохимическому потреблению кислорода, на основании чего можно сделать вывод, что в судовых сточных водах взвешенные вещества в основном состоят из органических нерастворимых веществ, окисляющихся кислородом.

Биохимическое потребление кислорода (БПК) — это количество кислорода (мг), требуемое для полного окисления всех находящихся в 1 л воды органических веществ при происходящих в сточных водах биологических процессах. БПК не включает расход кислорода на нитрификацию, т. е. окисление веществ, содержащих азот, до нитритов и нитратов после окисления растворенным кислородом всех органических соединений, находящихся в анализируемой пробе сточных вод.

Анализ проводят, определяя „полное“ БПК (без учета нитрификации) в течение 15–20 сут или за 5 сут (БПК₅). Для контроля качества сточных вод „полное“ БПК на судах обычно не используют.

БПК₅ является характеристикой загрязненности сточных вод веществами, окисляющимися растворенным в воде кислородом. Эта характеристика определяет способность самоочищения водоема, в который сбрасываются сточные воды. Если количество кислорода в воде достаточно для биологических превращений, процесс ее самоочищения происходит непрерывно с поддержанием в среде нормальных кислородных условий. Если кислорода в воде содержится недостаточно или количество органических соединений, поступающих в водоем, велико, может наступить полное истощение запасов кислорода. Аэробная среда, характерная для здоровых чистых вод, превращается в анаэробную. В этих условиях высшие организмы, для которых наличие кислорода в воде — необходимое условие существования, погибают и вместо аэробных бактериальных популяций развиваются анаэробные. Органические соединения вместо окисления подвергаются анаэробному разложению с выделением таких соединений, как сероводород, метан, водород, двуокись углерода, создающих вторичное загрязнение водоема.

Скорость биологических процессов в воде зависит от многих факторов. С повышением температуры скорость растет, что сопровождается более быстрым истощением кислорода среды. Это создает серьезную угрозу для водоемов в случае сброса в них большого количества сточных вод в летний период. Сброс одного и того же количества загрязнений вызывает в летний период истощение запасов растворенного в воде кислорода значительно быстрее, чем зимний.

Свободный активный хлор вводится в сточные воды при их обработке и служит для инактивации содержащихся в них бактерий. Концентрация свободного активного хлора является косвенным показателем степени обеззараживания сточных вод. При увеличении концентрации активного хлора происходит уменьшение коли-индекса анализируемой воды. Активный хлор присутствует в сточ-

ных водах в виде растворенного молекулярного хлора и иона хлорноватистой кислоты (иона гипохлорита).

Наличие в сточных водах большого количества активного хлора отрицательно влияет на биогенез водоемов.

Летучие вещества характеризуют загрязненность сточных вод летучими органическими соединениями: спиртами (от метилового до гексилового), одноатомными фенолами из кислой среды и жирными аминами из щелочей, жирными кислотами, а также нейтральными летучими веществами.

Летучие вещества являются обычно микрокомпонентами загрязнений: для повышения точности анализов низкоконцентрированных сточных вод необходимо увеличить концентрацию этих примесей в 10–100 раз.

Осаждающиеся вещества являются одним из показателей качества сточных вод. Этот показатель определяет скорость осаждения взвешенных веществ и используется при проектировании судовых установок, имеющих в своем составе осадительные цистерны (отстойники). Как правило, частицы, выпадающие со скоростью, превышающей 1–2 мм/с, всегда задерживаются в отстойниках. Обычно, при анализах воды определяют скорость осаждения взвешенных веществ, которая учитывается при расчете рабочей части отстойников. Кроме того, по этим данным определяют частоту выгрузки шлама из отстойных цистерн.

Летучие взвешенные вещества характеризуют долю летучих соединений (органических и минеральных) во взвешенных веществах и определяются как разность массы отфильтрованных взвешенных веществ, высушенных при температуре 105°C до постоянной массы, и массы взвешенных веществ, прокаленных при температуре 600°C.

Потери массы при прокаливании характеризуют количество органических и неорганических веществ, улетучивающихся или разлагающихся с образованием летучих продуктов. На результатах определения могут отразиться изменения массы вещества, происходящие вследствие протекающих при прокаливании реакций, например окисления минеральных веществ, потери кристаллизационной воды, потери газов при термическом разложении и т. д.

Химическое потребление кислорода (ХПК) характеризует содержание в сточных водах органических и неорганических веществ, способных окисляться. Для сточных вод используют бихроматную окисляемость, т. е. окисление веществ не кислородом воздуха, а бихроматом. Учитывая то, что потенциал окисления бихромата выше потенциала окисления кислорода, ХПК всегда выше, чем БПК₅.

ХПК служит вспомогательной характеристикой загрязненности сточных вод и является исходной величиной для определения степени разбавления сточных вод при определении биохимического потребления кислорода. Иногда при проведении анализов в судовых условиях (обычно при наладке установок для очистки сточных вод, использующих физико-химические методы обработки стоков) на основании результатов анализов ХПК можно определять БПК₅.

Мутность сточных вод связана с присутствием в них взвешенных и коллоидных веществ неорганического и органического происхождения. В составе сточных вод содержатся частицы взвесей, образующих сложную смесь твердых органических и минеральных веществ, органические коллоиды, гидроокиси железа и алюминия, микроорганизмы и т. п. Сточные воды, обработанные методом коагуляции, иногда бывают мутными от избытка коагулянта.

Мутность воды является косвенной характеристикой содержания в них взвешенных веществ и позволяет контролировать работу установки для обработки судовых сточных вод. Измерение мутности можно проводить турбиметрически, сравнением светопропускания пробы со светопропусканием стандартного раствора оксида кремния (SiO_2). Результаты измерений выражают в миллиграммах SiO_2 на 1 л воды с указанием способа измерения.

Для определения мутности очищенных сточных вод разработан судовой прибор ТС-201.

Общее содержание фосфатов — это количество неорганических и органических фосфатов, а также полифосфатов, находящихся в сточных водах в растворенном и нерастворенном состояниях.

Влияние фосфатов на экологический режим водоемов обусловлено тем, что они вызывают интенсивное развитие различных водорослей (особенно сине-зеленых), которые нарушают экологический баланс водоемов и в результате своей жизнедеятельности снижают концентрацию растворенного в воде кислорода, угнетая остальную флору и фауну водоемов. Фосфаты попадают в судовые сточные воды в виде полифосфатов, входящих в состав моющих средств, а также выделяются из организма человека (см. главу 3).

Водородный показатель (рН) сточных вод характеризует кислотно-щелочное взаимодействие минеральных и органических компонентов. В некоторых случаях величина рН зависит от метода очистки. При обработке сточных вод без изменения их водородного показателя в очищенных стоках величина рН характеризует соотношение между концентрациями свободной двуокиси углерода, карбонатных и бикарбонатных ионов. На величину рН оказывает влияние повышенное содержание гумусовых кислот и фульвокислот, органических кислот, ряда гидролизующихся соединений, а также различные кислоты и щелочи, попадающие в сточные воды.

Так как величина рН определяется взаимодействием многих содержащихся в стоках веществ (в том числе биохимически и химически неустойчивых), определение рН должно производиться вскоре после отбора проб. У неочищенных сточных вод $\text{pH} = 6-8$, а рН очищенных стоков зависит от используемого способа их очистки.

Суммарный органический углерод характеризует общее содержание в сточных водах органических соединений, находящихся в растворенном, коллоидном и взвешенном состояниях. Этот показатель более точно выявляет загрязненность сточных вод органическими веществами, чем БПК и ХПК. Это связано с тем, что на последние оказывают значительное влияние условия проведения анализа (например, при нахождении БПК — состав разбавляющей воды) и химический состав органических загрязнений (например, при определении ХПК окисление органических загрязнений может быть неполным). Этот показатель используют при определении прироста или убыли органической массы активного ила, взаимоотношения биогенных элементов, контрольном сравнении очистительной способности установок для обработки стоков, основанных на разных принципах их очистки и т. п.

Суммарное количество энтерококков характеризует бактериальную загрязненность сточных вод. Энтерококки обитают в кишечнике человека и животных и обычно находятся в загрязненных стоках. Они хорошо переносят значительное повышение температуры (до $+60^{\circ}\text{C}$), повышенную концентрацию в стоках морской воды (до 6-7%) и повышенные значения рН стоков (до 9,6). Анализ на содержание энтерококков является дополнительной проверкой фекального загрязнения сточных вод.

Глава 2 МЕТОДЫ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА ЖИДКОСТЕЙ

§ 2.1. Нефтепродукты

Показатели качества нефтепродуктов определяются различными методами.

Вязкость. Кинематическую вязкость нефтепродукта определяют по ГОСТ 33-82 с помощью капиллярного вискозиметра типа ВПЖ-4 (с различным внутренним диаметром: 0,8; 1; 1,2; 1,5; 2 и 2,5 мм), представляющего собой стеклянную U-образную трубку с впаянным в нее капилляром. На одном из колен трубки имеются две метки: M_1 и M_2 . Для определения кинематической вязкости нефтепродукт засасывают в вискозиметр, затем устанавливают его в термостат, где выдерживают при заданной температуре в течение 15 мин. После этого сообщают вискозиметр с атмосферой и определяют время (по секундомеру), в течение которого нефтепродукт опустится от метки M_1 до метки M_2 .

Кинематическую вязкость ν при температуре t вычисляют по формуле $\nu = ct$, где c — постоянная вискозиметра.

Условную вязкость определяют по ГОСТ 6258-52 с помощью вискозиметра ВУ, состоящего из резервуара для испытываемого нефтепродукта, наружного резервуара для жидкости, подогревающей и охлаждающей нефтепродукт (водяная баня). В середине дна внутреннего резервуара имеется отверстие для истечения нефтепродукта.

Для определения условной вязкости во внутренний резервуар заливают нефтепродукт, нагревают водяную баню до требуемой температуры и выдерживают в течение 5 мин. Затем открывают отверстие в дне внутреннего резервуара и дают стечь в емкость 200 мл нефтепродукта. Время истечения измеряют. Условную вязкость вычисляют по формуле $ВУ = \tau_t / \tau_{20}^{\frac{H_2O}{20}}$, где τ_t — время истечения 200 мл нефтепродуктов при заданной температуре, $t^\circ C$, а $\tau_{20}^{\frac{H_2O}{20}}$ — время истечения 200 мл дистиллированной воды при $20^\circ C$ (водное число вискозиметра).

Температура вспышки. Для выполнения этого анализа используют приборы открытого и закрытого типов (в приборах открытого типа температура вспышки всегда выше), поэтому необходимо указывать метод определения.

Температуру вспышки в открытом тигле определяют с помощью прибора ЛГВО (ГОСТ 4333-48), его основными элементами являются: внутренний металлический тигель, в который наливают нефтепродукт, термометр с ценой деления $1^\circ C$ и градуировкой от 0 до $360^\circ C$, зажигательное приспособление. Сначала нефтепродукт обезвоживают. Затем тигель ставят в песчаную баню (наружный тигель) и нагревают ниже температуры вспышки на $10^\circ C$. После этого через каждые $2^\circ C$ по краю тигля на расстоянии 10–14 мм от поверхности нефтепродукта проводят зажигательным приспособлением. Температура вспышки — это температура, показываемая термометром при появлении первого синего, быстро исчезающего пламени над частью поверхности или над всей поверхностью нефтепродукта, сопровождающегося легким взрывом.

Температуру вспышки в закрытом тигле определяют с помощью прибора ПВНЭ (ГОСТ 1421-79), состоящем из тигля, представляющего собой емкость с крышкой, в которую вмотирована мешалка с термометром и зажигательным

приспособлением. Тигель с нефтепродуктом нагревают при помощи воздушной бани с электронагревателем. Последовательность определения такая же, как и в открытом тигле.

Температура застывания. Температурой застывания считается такая, при которой нефтепродукт загустеет настолько, что при наклоне пробирки под углом 45° уровень его останется неподвижным в течение 1 мин.

Сначала нефтепродукт обезвоживают. Пробирку с пробкой, в которой укреплен термометр, помещают в сосуд для охлаждающей смеси (стеклянный или фарфоровый с тепловой изоляцией). В качестве охлаждающей смеси используют снег, лед с солью, твердую углекислоту со спиртом.

Плотность. Плотность как маловязких, так и высоковязких нефтепродуктов измеряют с помощью нефтенсисметров. Высоковязкое топливо разбавляют равными объемами керосина или дизельного топлива известной плотности. При определении используют нефтенсисметры со следующими шкалами (г/см^3): 0,700–0,760; 0,760–0,820; 0,820–0,880; 0,880–0,940; 0,940–1,000.

Для испытаний в чистый сухой цилиндр наливают нефтепродукт. Чистый и сухой нефтенсисметр опускают в цилиндр. После прекращения колебаний стрелки нефтенсисметра производят отсчет по верхнему краю мениска (при этом глаз должен находиться на уровне мениска). Полученные данные показывают плотность нефтепродукта при температуре определения.

Для приведения плотности нефтепродукта, полученной при температуре определения, к плотности при нормальной температуре (20°C) используют формулу

$$\rho_n^{20} = \rho_n^t + \gamma(t - 20), \quad (2.1)$$

где ρ_n^t — плотность нефтепродукта при температуре определения; t — температура определения, $^\circ\text{C}$; γ — температурная поправка плотности на 1°C , равная:

Плотность нефтепродукта	Температурная поправка
0,690–0,739	0,000 9
0,740–0,819	0,000 8
0,820–0,889	0,000 7
0,890–0,969	0,000 6
0,970–1	0,000 5

Плотность высоковязких нефтепродуктов (вязкость более 200 ОВУ при 50°C), определяемая с помощью разбавителя, вычисляется по формуле $\rho_n^{20} = 2\rho_1 - \rho_2$, где ρ_1 и ρ_2 — плотность смеси и керосина (дизельного топлива) соответственно.

Например, нужно определить плотность мазута, если плотность смеси его с дизельным топливом ρ_1 при температуре 25°C составляет 0,890. Плотность дизельного топлива при той же температуре равна 0,846. Тогда плотность мазута при температуре испытания $\rho_n^{20} = 2 \cdot 0,890 - 0,846 = 0,935 \text{ г/см}^3$. Для приведения плотности мазута к плотности при нормальной температуре пользуются формулой (2.1), в результате получают $\rho_n^{20} = 0,935 + 0,000 6 (25 - 20) = 0,938 \text{ г/см}^3$.

Содержание воды. В лабораториях содержание воды в нефтепродукте определяют по ГОСТ 2477–65 в аппаратах количественного определения воды (АКОВ). Воду отгоняют от смеси нефтепродукта с органическим растворителем. Для этого в колбу прибора АКОВ помещают 100 г перемешанного испытуемого нефтепродукта. Высоковязкие нефтепродукты нагревают до 40 – 50°C . В колбу добавляют 100 мл растворителя, затем опускают несколько кусочков лемзы для получения спокойного кипения. Процесс продолжают до тех пор, пока уровень воды в приемнике-ловушке не установится, а верхний слой растворителя не станет прозрачным. Продолжительность перегонки не должна превышать 1 ч. Прибор разбирают после полного охлаждения колбы. Если в приемнике-ловушке растворитель мутен, то его помещают в горячую воду с температурой 60 – 70°C на 20 – 30 мин, затем охлаждают и определяют количество воды в ловушке.

Содержание воды по массе (%) определяют по формуле $W = (M_B/M_H) \cdot 100$, где M_B — масса воды в приемнике-ловушке, мл; M_H — масса пробы нефтепродукта, г.

В судовых условиях содержание воды в нефтепродукте можно определить экспресс-методом, который основан на экзотермической реакции взаимодействия гидрида кальция с водой, содержащейся в нефтепродукте. Содержание воды определяют по разности температур нефтепродукта в начале и в конце реакции. Ампулу с гидридом кальция взрывают при помощи надфиля. Гидрид кальция высыхает в пробирку, перемешивают и наблюдают за повышением температуры. Максимальная температура t_2 является конечной. С помощью номограммы определяют содержание воды в нефтепродукте по разности $t_2 - t_1$, где t_1 — начальная температура.

При определении содержания воды в высоковязких топливах в мерный цилиндр наливают 10 мл нефтепродукта и добавляют 40 мл керосина или дизельного топлива (предварительно определив в них содержание воды). В пробирку отбирают 10 мл полученной смеси и находят t_1 и t_2 . Полученный результат умножают на 5, при наличии воды в разбавителе содержание ее вычитают из полученного результата. Если $t_2 - t_1 < 0,5^\circ\text{C}$, то считается, что вода в топливе отсутствует. Время взаимодействия нефтепродукта с гидридом кальция без разбавителя должно составлять 10–20 мин, при разбавлении керосином 5–10 мин.

Содержание механических примесей. Метод основан на разбавлении нефтепродукта бензином или бензолом и последующей фильтрации полученной смеси через бумажный фильтр „красная лента” (ГОСТ 6370–59). Сначала фильтр помещают в бюкс и сушат в сушильном шкафу при температуре 105–110°С в течение 1 ч до постоянной массы. Затем смесь нефтепродукта с растворителем пропускают через фильтр, который после этого помещают в ту же бюксу, в которой сушился фильтр до начала определения. Фильтр с фильтратом сушат при температуре 105–110°С в течение 1 ч до достижения постоянной массы.

Содержание механических примесей в нефтепродуктах определяют по формуле $x = [(M_1 - M_2)/M_K] \cdot 100$, где M_1 — масса бюксы с фильтром и механическими примесями, г; M_2 — масса бюксы с чистым фильтром, г; M_K — масса пробы нефтепродукта, г. При содержании механических примесей в нефтепродукте менее 0,005% считается, что они отсутствуют.

Размеры частиц механических примесей. Метод основан на микрофотографировании частиц механических примесей нефтепродуктов (ГОСТ 17601–72). Нефтепродукт заливают в кристаллизационные чашки на высоту 10 мм над предметными стеклами. После отстаивания механических примесей нефтепродукт удаляют из чашек и предметные стекла извлекают. Предметное стекло с осадком после просушивания устанавливают на предметный столик микроскопа (в 10 позициях) и фотографируют. Затем определяют максимальный размер частиц механических примесей органического и неорганического происхождения. Органические и неорганические частицы определяют в поле зрения микроскопа по внешнему виду (органические имеют темный цвет, ярко выраженный контур, неорганические — „рваные” возмущенные края, желтоватые просветы).

Коксуемость топлива. Этот показатель определяется с помощью аппарата ЛК по ГОСТ 5987–51. При испарении топлива в процессе нагрева образуется углеродистый остаток (кокс). По количеству этого остатка (%) определяют коксуемость топлива.

Для получения кокса пробу топлива помещают в доведенный до постоянной массы фарфоровый тигель, затем его нагревают сильной горелкой и появившиеся пары топлива поджигают открытым источником огня. По окончании горения паров и охлаждения фарфорового тигля его взвешивают с точностью до 0,0002 г.

Коксуемость топлива $x(\%)$ вычисляют по формуле $x = (M_K/M_T) \cdot 100$, где M_K — масса коксового остатка, г; M_T — масса топлива.

Зольность нефтепродуктов. Метод определения основан на сжигании пробы нефтепродукта и прокаливании образовавшегося остатка до постоянной массы. Обеззоленный бумажный фильтр помещают в тигель, взвешивают и берут 25 г нефтепродукта. Затем второй обеззоленный фильтр (фитиль), свернув в виде конуса, помещают в тигель с пробой нефтепродукта. После пропитки фитиля нефтепродуктом его поджигают, после получения сухого углистого остатка тигель переносят в муфель, где выдерживают при 600–650°С в течение 1,5–2 ч до полного озоления. Затем тигель охлаждают и взвешивают. Зольность определяют по формуле $x = [(M_3 -$

$[M_{\text{ф}}]/M_{\text{н}}] \cdot 100$, где $M_{\text{з}}$ — масса золы, г; $M_{\text{ф}}$ — масса двух бумажных фильтров, г; $M_{\text{н}}$ — масса пробы нефтепродукта, г.

§ 2.2. Вода парознергетической установки

Контроль качества воды судовой парознергетической установки должен проводиться с целью обеспечения безаварийной и экономичной эксплуатации всех аппаратов и элементов тепловой схемы установки.

Знание количественного состава исходной воды и динамики изменений этого состава позволяет своевременно принять меры, чтобы обеспечить:

- защиту оборудования от коррозии, шлама и накипи;
- своевременное отключение оборудования для профилактического обслуживания и ремонта;
- определении технически и экономически обоснованных расходов реагентов при обработке воды;
- выявление и устранение дефектов в работе водоподготовительного оборудования и оборудования парознергетической установки;
- допустимый санитарными нормами состав сбрасываемых вод.

Показатели качества воды парознергетической установки определяются различными методами.

Взвешенные вещества. На фильтре отделяются все взвешенные вещества, содержащиеся в отмеренном объеме перемешанной пробы, затем их взвешивают после высушивания при температуре $105-110^{\circ}\text{C}$ до постоянной массы.

Содержание взвешенных веществ (мг/л) вычисляют по формуле $B = 1000(g_2 - g_1)/V$, где V — объем воды, взятой для определения, мл; g_2 — масса бюксы с фильтром и осадком, мг; g_1 — масса бюксы с фильтром, мг; 1000 — коэффициент приведения объема пробы к 1 л.

Плотный остаток, сухой остаток, прокаленный остаток. Плотный остаток получают так: нефилтрованная проба (в отличие от сухого остатка) выпаривается, полученный остаток высушивается при $105-110^{\circ}\text{C}$ до постоянной массы и взвешивается.

Сухой остаток получают путем выпаривания профильтрованной пробы воды, высушивания полученного остатка при $100-120^{\circ}\text{C}$ до постоянной массы и взвешивания.

Прокаленный остаток определяют как общее содержание в воде веществ, остающихся после прокалывания сухого остатка при $500-600^{\circ}\text{C}$ до постоянной массы.

Количество плотного, сухого и прокаленного остатков (мг/л) вычисляют по формуле $O_c = 10^6 (m_2 - m_1)/V$, где m_1 — масса пустой чашки, г; m_2 — масса чашки с остатком, г; V — объем воды, подвергнутой выпариванию, мл.

Щелочь (нелетучая при прокаливании). Наличие щелочи в пробе обусловлено присутствием в воде едкого натра. Ее содержание (мг/л) определяют титрованием кислотой растворенного в воде остатка после его прокалывания и вычисляют по формуле $Щ = 10 a_K K_K / V$, где a_K — расход 0,01 н раствора соляной кислоты, пошедшей на титрование пробы, мл; K_K — коэффициент поправки для 0,01 н раствора соляной кислоты; V — объем воды, взятой на определение, мл.

Щелочь нелетучую при прокаливании в пересчете на мг/л NaOH определяют по формуле $Щ_{\text{NaOH}} = 10 a_K K_K \cdot 40 / V$, где 40 — эквивалентная масса NaOH.

Удельная электрическая проводимость. Метод, основанный на измерении электрической проводимости растворов в зависимости от их концентрации, называется **кондуктометрическим**, а приборы, позволяющие осуществлять эти замеры, — **кондуктометрами**.

Электрическая проводимость одного кубического сантиметра жидкости называется **удельной электрической проводимостью**.

Удельную электрическую проводимость ($\text{См} \cdot \text{см}^{-1}$) воды находят по формуле $\chi = k/R$, где k — „постоянная“ ячейки кондуктометра, см^{-1} ; R — электрическое сопротивление исследуемой воды в ячейке, Ом.

Удельная электрическая проводимость воды высокой степени чистоты весьма мала (порядка $0,1 \cdot 10^{-6} \text{ См} \cdot \text{см}^{-1}$ и менее), поэтому ее принято выражать в $\text{мксм} \cdot \text{см}^{-1}$.

Таблица 2.1

Данные для расчета солевого содержания хлористого натрия

Температура, °C	Удельная электрическая проводимость чистой воды, мкСм·см ⁻¹	Расчетные коэффициенты	
		a	b
15	0,031	0,573	0,018
17	0,034	0,550	0,019
19	0,038	0,527	0,020
21	0,043	0,504	0,022
23	0,048	0,480	0,023
25	0,053	0,461	0,024
27	0,059	0,443	0,026
29	0,066	0,424	0,028
31	0,073	0,408	0,030
33	0,080	0,395	0,032
35	0,087	0,380	0,033
37	0,097	0,368	0,036
39	0,110	0,355	0,038
41	0,120	0,344	0,040
43	0,130	0,332	0,042
45	0,140	0,321	0,044
47	0,150	0,311	0,046
49	0,160	0,301	0,049
50	0,170	0,297	0,050

Пересчет удельной электрической проводимости на содержание в мг/л хлористого натрия производится по формуле $[NaCl] = a \chi - b$, где χ — удельная электрическая проводимость, мкСм·см⁻¹; а и b — принимаемые по табл. 2.1 коэффициенты пересчета для температуры, при которой производилось измерение электропроводимости воды.

Концентрация водородных ионов (рН). Определение рН производится двумя методами: колориметрическим и потенциометрическим.

Колориметрический метод основан на применении органических соединений (индикаторов), водные растворы которых изменяют свою окраску в зависимости от величины рН.

Широкое применение получили реактивные бумаги, пропитанные индикаторами. Полоски бумаг при погружении в испытуемый раствор принимают определенную окраску, которую сравнивают затем с эталонной разноцветной шкалой, соответствующей различным значениям рН.

Таблица 2.2

Окраска индикатора в зависимости от наличия ионов кальция и магния

Индикатор	Окраска индикатора	
	при отсутствии ионов Ca^{2+} , Mg^{2+}	в присутствии ионов Ca^{2+} , Mg^{2+}
Эриохром черный Т	Синий с зеленоватым оттенком	Винно-красный
Кислотный хром: синий К темно-синий	Сиреневый Синева-сиреневый	Розово-красный " "

Потенциометрический метод состоит в измерении потенциалов, возникающих между стеклянным электродом и электродом сравнения, погружаемыми в испытуемый раствор. Определение pH воды производится на лабораторных pH-метрах.

Общая жесткость. Трилонометрический метод определения жесткости основан на том, что ионы кальция и магния образуют с индикаторами окрашенные комплексные соединения (табл. 2.2).

Добавление раствора трилона Б (двуназиевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты) к окрашенным растворам, содержащим комплексы Mg^{2+} и Mg^{3+} с индикаторами, разрушает эти комплексы, восстанавливая цвет свободного индикатора.

Трилонометрический метод определения общей жесткости применяют для проб воды с жесткостью: выше 0,5 мг-экв/л, от 0,015 до 0,5 мг-экв/л, менее 0,015 мг-экв/л и со значительным количеством ионов меди и никеля.

Общую жесткость (мг-экв/л) в первых трех случаях рассчитывают по формулам:

$$Ж_{общ} = 100 a_T K_T / V,$$

где K_T — коэффициент нормальности 0,1N, раствора трилона Б; V — объем пробы воды, отобранной на титрование, мл; a_T — количество 0,1N. раствора трилона Б, пошедшее на титрование пробы, мл;

$$Ж_{общ} = 10 a_T K_T / V,$$

где K_T — коэффициент нормальности 0,01N. раствора трилона Б; a_T — количество 0,01N. раствора трилона Б, пошедшее на титрование пробы, мл;

$$Ж_{общ} = 0,1 (0,2 K_T - a_M K_M),$$

где a_M — количество 0,01N. магниезильного раствора, пошедшее на титрование пробы, мл; 0,2 — количество прибавленного к пробе 0,01N. раствора трилона Б, мл; K_M — коэффициент нормальности 0,01N. магниезильного раствора.

Расчет жесткости для проб воды со значительным содержанием „мешающих“ ионов (меди и никеля) производят в зависимости от ожидаемой концентрации жесткости по одной из приведенных выше формул после отделения этих ионов.

Колориметрический метод определения жесткости основан на взаимодействии ионов кальция и магния с индикатором хром темно-синий в щелочной среде с образованием комплексного соединения, окрашенного в розовый цвет. При отсутствии солей кальция и магния краситель дает голубую окраску.

Жесткость 1 л контролируемой воды (мг-экв/л) определяют по формуле $Ж_{общ} = 1000 ж / V$, где $ж$ — жесткость пробы контролируемой воды, определяемая по градуировочному графику, мг-экв; V — объем пробы контролируемой воды, взятой на определение, мл.

Щелочность. Общественный ацидиметрический метод определения щелочности основан на измерении количества кислоты, затрачиваемой на доведение pH пробы воды до изменения окраски применяемого индикатора.

В зависимости от применяемого индикатора различают щелочность по фенолфталеину и щелочность по смешанному индикатору.

Общую щелочность воды (мг-экв/л) вычисляют по формуле $Щ_{общ} = щ_{ф.ф.} + щ_{с.и.}$, где $щ_{ф.ф.} = 0,1 K_{к.с.к.ф.}$ — щелочность по фенолфталеину, мг-экв/л; $щ_{с.и.} = 0,1 K_{к.с.к.и.}$ — щелочность по смешанному индикатору, мг-экв/л; $K_{к.}$ — коэффициент поправки к 0,01N. раствору кислоты; $a_{к.ф.}$ и $a_{к.и.}$ — количество 0,01N. кислоты, пошедшей на титрование 100 мл исходной воды по фенолфталеину и смешанному индикатору, мл.

Щелочность выражается также щелочным числом, рассчитываемым по формуле $ЩЧ = 40 щ_{ф.ф.}$, где $ЩЧ$ — щелочное число, мг/л $NaOH$; 40 — эквивалентная масса $NaOH$.

Нитраты, нитратное число. Определение основано на реакции нитратов с салицилатом натрия в среде серной кислоты с образованием окрашенных в желтый цвет солей нитросалициловой кислоты.

Концентрацию нитратов (мг/л) в проверяемой воде вычисляют по формуле $CNO_3 = 1000c_n/V$, где c_n — содержание NO_3^- в пробе, взятой для анализа, определяемое по градуировочному графику, мг; V — объем воды, взятой для определения, мл.

Содержание нитратов в воде выражают нитратным числом (мг/л) $НЧ = 1,37cNO_3$.

Фосфаты, фосфатное число. Содержание растворенных ортофосфатов определяют фотоколориметрическим методом с применением молибдата аммония. При взаимодействии ортофосфатов с молибдатом аммония при определенной кислотности среды образуется окрашенная в желтый цвет комплексная фосфорно-молибденовая гетерополикислота $H_7[P(MoO_4)_6]$. Эта кислота может быть восстановлена до соединения, имеющего синюю окраску, интенсивность которой пропорциональна содержанию ортофосфатов в воде. Восстановление может быть произведено различными веществами, например глицериновым раствором хлористого олова.

Концентрацию фосфатов в воде (мг/л) вычисляют по формуле $CPO_4^{3-} = 1000c_f/V$, где c_f — содержание фосфатов в пробе, определяемое по градуировочному графику, мг; V — объем воды, взятой для определения, мл.

Содержание растворенных в воде фосфатов выражают фосфатным числом (мг/л) $ФЧ = 1,49cPO_4^{3-}$.

Содержание ионов хлора. Имеется несколько методов, с помощью которых можно определить содержание в воде ионов хлора.

Меркуриметрический метод основан на образовании малодиссоциированной сулемы ($HgCl_2$) при добавлении к раствору, содержащему хлориды, ионов двухвалентной ртути в виде азотнокислой ртути. Появление избытка ионов ртути при титровании обнаруживается с помощью индикатора дифенилкарбазона, который в эквивалентной точке при определенных значениях рН вызывает переход окраски раствора от бесцветной к фиолетовой.

Расчет содержания ионов хлора (мг/л) производится по формуле $C[Cl] = 1000(A_p - a_p)T/V$, где A_p и a_p — расходы ртутного раствора на титрование контролируемой и обессленной пробы воды, мл; T — титр раствора азотно-кислой ртути, мг/мл; V — объем воды, взятой для определения, мл.

Колориметрический метод определения концентрации хлоридов основан на ослаблении фиолетовой окраски соединения ионов ртути с дифенилкарбазоном, происходящем вследствие образования малодиссоциированной сулемы ($HgCl_2$). Интенсивность окраски снижается по мере увеличения содержания хлоридов. Содержание хлоридов (мг/л) в 1 л проверяемой воды вычисляют по формуле $CCl^- = 1000c_x/V$, где c_x — содержание хлоридов в пробе, определенное по градуировочному графику, мг; V — объем воды, взятой для определения, мл.

Нефелометрический метод основан на способности ионов хлора при взаимодействии с азотнокислым серебром образовывать труднорастворимое хлористое серебро, вызывающее помутнение раствора. Степень помутнения (опалесценция) зависит от концентрации хлоридов. При количественном определении хлоридов опалесценцию пробы находят по шкале стандартных растворов.

Потенциометрический метод основан на определении содержания хлор-ионов в воде с помощью специального прибора, входящего в состав водно-химической лаборатории.

Сульфаты, содержание сульфат-ионов. Концентрацию сульфатов в воде определяют с помощью весового метода, основанного на осаждении в кислой среде ионов SO_4^{2-} хлористым барием. Осадок отделяют фильтрованием, отмывают, прокаливают и взвешивают.

Концентрацию сульфатов в проверяемой воде (мг/л) вычисляют по формуле $CSO_4^{2-} = 1000 \cdot 0,4115(G_2 - G_1)/V$, где G_1 и G_2 — масса пустого тигля и тигля с осадком, мг; V — объем воды, отобранный для осаждения сульфатов, мл; 0,4115 — коэффициент пересчета массы $BaSO_4$ в массу SO_4^{2-} .

Содержание сульфат-ионов в воде определяют с помощью нефелометрического метода, основанного на способности сульфат-ионов образовывать при взаимодействии с хлористым барием труднорастворимый сернокислый барий, вызывающий помутнение раствора. Степень помутнения исследуемой пробы определяют по шкале стандартных растворов.

Содержание сульфат-ионов в воде соответствует концентрации эталонного раствора, если его степень помутнения совпадает с опалесценцией анализируемой пробы. Если степень помутнения анализируемой пробы воды оказывается промежуточной между степенью помутнения соседних эталонных растворов, то содержание сульфат-ионов в пробе соответствует среднему значению содержания сульфатов в этих эталонных растворах.

Окисляемость. Для определения окисляемости можно использовать разные методы.

Перманганатный метод основан на окислении органических веществ, присутствующих в воде, перманганатом калия в щелочной среде при кипячении.

Окисляемость в миллиграммах кислорода, расходуемого на окисление органических веществ, содержащихся в 1 л воды, вычисляется по формуле

$$O_k = 1000(a' - \delta)K'N/8V, \quad (2.2)$$

где a' — количество 0,01н. раствора тиосульфата натрия, израсходованного на титрование иода при проведении „холостого“ опыта, мл; δ — количество 0,1н. раствора тиосульфата натрия, израсходованного на титрование пробы, мл; K' — коэффициент нормальности 0,01н. раствора тиосульфата натрия; N — нормальность раствора тиосульфата натрия; 8 — эквивалентная масса кислорода; V — объем пробы воды, взятой для анализа, мл.

Бихроматный метод основан на окислении органических веществ, присутствующих в воде, бихроматом калия в кислой среде. Окисляемость органических примесей ускоряется и протекает наиболее полно, если в качестве катализатора применяется сульфат серебра.

Окисляемость в миллиграммах кислорода, расходуемого на окисление органических веществ, содержащихся в 1 л воды, вычисляется по формуле (2.2), где a' — количество 0,1н. раствора соли Мора, израсходованного на титрование „холостой“ пробы, мл; δ — количество того же раствора, израсходованного на титрование пробы, мл; K' — коэффициент нормальности 0,1н. раствора соли Мора; N — нормальность титрованного раствора соли Мора; остальные обозначения те же.

Содержание растворенного кислорода. Содержание в воде растворенного кислорода определяют различными методами.

Метод Винклера заключается в окислении растворенным в воде кислородом в щелочной среде ионов двухвалентного марганца в ионы трех- и четырехвалентного марганца. Эти ионы в кислой среде сами являются окислителями по отношению к ионам иода, которые окисляются ими до свободного иода. Выделившийся иод титруют раствором тиосульфата натрия в присутствии крахмала в качестве индикатора. Расход раствора тиосульфата пропорционален содержанию в воде кислорода.

Расчет кислородосодержания (мг/л) выполняют по формуле $CO_2 = 1000a'K' \cdot 0,08/V$, где a' — расход 0,01н. раствора тиосульфата натрия, пошедшего на титрование пробы, мл; 0,08 — количество кислорода, соответствующее 1 мл 0,01н. раствора тиосульфата натрия, мг; K' — коэффициент нормальности 0,01н. раствора тиосульфата натрия; V — объем пробоотборной колбы, мл.

Метод двойного отбора основан на методе Винклера. Присутствующие нередко в воде восстановители или окислители могут искажать результаты определения кислорода. Восстановители, к которым принадлежат сульфиды, ионы железа и органические вещества, имеющие восстановительные свойства, снижают содержание кислорода. Окислители, к которым относятся нитриты, хроматы, свободный хлор и др., напротив, повышают содержание кислорода.

С помощью соответствующей последовательности ввода реактивов при методе двойного отбора можно устранить отрицательное влияние окислителей и восстановителей на результаты анализа.

Расчет кислородосодержания (мг/л) производят по формуле $C_{O_2} = 1000 \times x \cdot Z [K' (a_1 - a_2) \cdot 0,08 - 0,005] / V$, где a_1 и a_2 — расходы 0,01н. раствора тиосульфата натрия на титрование одинаковых объемов жидкостей из разных колб, мл; K' — коэффициент нормальности 0,01н. раствора тиосульфата натрия; V — объем колбы, мл; 0,08 — содержание кислорода, соответствующее 1 мл 0,01н. раствора тиосульфата натрия, мг; 0,005 — поправка на кислород, растворенный в объеме реактивов, применяемых при анализе, мг.

К о л о р и м е т р и ч е с к и й м е т о д основан на окислении растворенным в воде кислородом бесцветной восстановленной формы метиленового голубого с последующим сравнением синей окраски образующегося раствора с окраской стандартных растворов. Восстановление метиленового голубого производят глюкозой в сильно щелочной среде.

Если по интенсивности окраски проба занимает промежуточное положение между соседними эталонными растворами, то за содержание кислорода в ней принимают среднее значение содержания кислорода в этих двух эталонных растворах.

Содержание свободной углекислоты. Определение содержания свободной углекислоты в воде производят алкалиметрическим методом, который основан на свойстве свободной углекислоты вступать во взаимодействие со щелочью и образовывать бикарбонат. Окончание реакции наступает при $pH = 8,4$, при этом раствор в присутствии фенолфталеина окрашивается в слабо-розовый цвет, что и является признаком окончания реакции.

Концентрацию свободной углекислоты (мг/л) вычисляют по формуле $C_{CO_2} = 1000 a_{щ} N_{щ} K_{щ} \cdot 44 / V$, где $a_{щ}$ — расход щелочи на титрование пробы воды, мл; $N_{щ}$ — нормальность раствора щелочи; 44 — эквивалентная масса CO_2 ; $K_{щ}$ — коэффициент нормальности раствора щелочи; V — объем титруемой пробы, мл.

Содержание аммиака. Содержание аммиака в воде определяют с помощью колориметрического метода, который основан на образовании окрашенного в желто-коричневый цвет иодистого меркураммония при взаимодействии аммиака со щелочным раствором иодистой ртути (реактив Несслера).

Расчет содержания аммиака (мг/л) в анализируемой воде производят по формуле $C_{NH_3} = 1000 a_g / V$, где a_g — содержание аммиака в пробе, определенное по градуировочному графику, мг; V — объем воды, взятой для анализа, мл.

Содержание гидразина. Для определения содержания в воде гидразина применяют разные методы.

И о д о м е т р и ч е с к и й м е т о д основан на окислении гидразина иодом. Для определения гидразина в пробу анализируемой воды вводят избыток иода, который затем оттитровывают раствором тиосульфата в присутствии крахмала.

Содержание гидразина (мг/л) вычисляют по формуле $C_{N_2H_4} = 1000 (a_1 - a_2) K' \cdot 0,8 / V$, где a_1 и a_2 — расходы 0,1н. раствора тиосульфата натрия на титрование соответственно холостой и анализируемой проб, мл; K' — коэффициент нормальности 0,1н. раствора тиосульфата натрия; V — объем раствора анализируемой жидкости, мл; 0,8 — десятая часть миллиграмм-эквивалента гидразина.

К о л о р и м е т р и ч е с к и й м е т о д определения гидразина основан на реакции его с парадиметиламинобензальдегидом, протекающей в кислой среде с образованием соединения, имеющего оранжево-желтую окраску.

Концентрацию гидразина (мг/л) вычисляют по формуле $C_{N_2H_4} = 1000 a_g / V$, где a_g — содержание гидразина в объеме пробы, взятой на анализ, найденное по градуировочному графику, мг; V — объем пробы воды, взятой для анализа, мл.

Содержание железа. В контролируемых водах железо может присутствовать как в ионной форме, так и в нерастворенном, взвешенном состоянии (в виде окислов, гидроокисей и других продуктов коррозии). Для перевода нерастворенных соединений железа в раствор пробу воды предварительно обрабатывают серной кислотой в присутствии персульфата аммония при нагревании. При анализе мутных или окрашенных вод в пробу дополнительно вводят нитрат калия, способствующий осветлению раствора.

К о л о р и м е т р и ч е с к и й м е т о д определения содержания железа с использованием сульфосалицилового натрия основан на реакции сульфосалицилового натрия с солями трехвалентного железа в щелочной среде ($pH = 9$) с образованием желтого комплексного соединения.

Содержание железа (мг/л) в контролируемой воде рассчитывают по формуле $C_{Fe^{3+}} = 1000 a_{ж} / V$, где $a_{ж}$ — концентрация железа в колориметрируемой пробе (по градуировочному графику), мг; V — объем пробы воды, взятой для анализа, мл.

Колориметрический метод определения содержания железа с использованием ортофенантролина основан на реакции ортофенантролина с ионами двухвалентного железа с образованием комплексного соединения, окрашенного в оранжево-красный цвет. Интенсивность окраски пропорциональна концентрации железа.

Содержание железа в контролируемой воде рассчитывают по формуле, приведенной выше.

Содержание меди. В контролируемых водах медь, так же как железо, может присутствовать как в ионной форме, так и в нерастворенном взвешенном состоянии (в виде окислов, гидроокисей и других соединений, образующихся в результате коррозии оборудования).

Предварительная обработка пробы воды для перевода соединений меди в растворенное состояние производится способом, аналогичным описанному для определения железа.

Колориметрический метод содержания меди с использованием куприона основан на способности куприона образовывать с медью в слабощелочной среде растворимый в воде комплекс синего цвета.

Содержание меди (мг/л) в контролируемой воде рассчитывают по формуле $C_{Cu^{2+}} = 1000 a_{м} / V$, где $a_{м}$ — концентрация меди в колориметрируемой пробе (по градуировочному графику), мг; V — объем пробы воды, взятой для анализа, мл.

Колориметрический метод определения содержания меди с использованием диэтилдитиокарбоната натрия основан на получении окрашенного в желто-коричневый цвет соединения ионов меди с диэтилдитиокарбонатом натрия.

Содержание меди в контролируемой воде рассчитывают по формуле, приведенной выше.

Содержание никеля. Содержание в воде никеля определяют с помощью колориметрического метода, основанного на способности никеля в щелочной среде в присутствии окислителя образовывать с диметилглиоксимом коричнево-красный растворимый в воде комплекс. В качестве окислителя при этом применяют персульфат аммония.

Содержание никеля (мг/л) в контролируемой воде определяют по формуле $C_{Ni^{2+}} = 1000 a_{н} / V$, где $a_{н}$ — концентрация катионов никеля в пробе контролируемой воды, найденная по градуировочному графику, мг; V — объем пробы воды, взятой для анализа, мл.

Содержание цинка. Для определения содержания цинка в воде служит колориметрический метод с использованием сульфарсазена, основанный на чувствительности сульфарсазена к ионам цинка. Сульфарсазен в ин. растворе едкого натра образует сине-фиолетовый раствор, цвет которого в слабощелочной среде переходит в оранжево-красный, а при $pH = 8 + 9,5$ — в желтый. В присутствии ионов цинка раствор окрашивается в оранжевый и оранжево-красный цвет.

Содержание цинка (мг/л) в контролируемой воде определяют по формуле $C_{Zn^{2+}} = 1000 a_{ц} / V$, где $a_{ц}$ — концентрация катионов цинка в пробе контролируемой воды (по градуировочному графику), мг; V — объем пробы воды, взятой для анализа, мл.

Содержание титана. Содержание в воде титана определяют с помощью колориметрического метода с использованием диантиперилметана, основанного на получении окрашенного в желтый цвет растворимого соединения ионов четырехвалентного титана с диантиперилметаном.

Содержание титана (мг/л) в анализируемой воде вычисляют по формуле $CTi^{4+} = 1000 a_{т} / V$, где $a_{т}$ — концентрация катионов титана в пробе, определенная по градуировочному графику, мг; V — Объем пробы воды, взятой для анализа, мл.

Содержание масла и нефтепродуктов. Контролируемая вода может быть загрязнена различными углеводородами, машинными маслами и другими органическими

веществами. Все эти загрязнения плохо растворимы в воде, находятся в ней в виде капелек различной степени дисперсности и объединяются термином „нефтепродукты“.

В зависимости от количества и свойств нефтепродуктов применяют весовой и колориметрический методы химического анализа.

Весовой метод основан на извлечении нефтепродуктов из анализируемой воды четыреххлористым углеродом и взвешивании их после отгонки экстрагента.

Концентрацию нефтепродуктов в воде (мг/л) вычисляют по формуле $C_H = (G_2 - G_1) \cdot 10^6 / V$, где G_2 — масса бюксы с нефтепродуктами, г; G_1 — масса пустой бюксы, г; V — объем пробы для анализа, мл.

Колориметрический метод предусматривает извлечение нефтепродуктов из воды четыреххлористым углеродом, последующую отгонку растворителя и обработку остатка серной кислотой при слабом нагревании. Полученную темную жидкость колориметрируют на фотоэлектрометре. Расчет содержания нефтепродуктов ведут по градуировочному графику.

Содержание нефтепродуктов (мг/л) в контролируемой воде вычисляют по формуле $C_H = 1000 a_H / V$, где a_H — концентрация нефтепродуктов в пробе, мг; V — объем пробы воды, взятой для анализа, мл.

§ 2.3. Охлаждающая и пресная бытовая вода

Пробы воды на анализ отбирают в стеклянную посуду с притертыми пробками, которую предварительно ополаскивают исследуемой водой. В случае необходимости хранения пробу консервируют хлороформом (2 мл на 1 л воды). Перед анализом проводят предварительную подготовку пробы: удаляют взвешенные вещества (фильтрованием, центрифугированием, отстаиванием), концентрируют на ионитных фильтрах или упаривают в фарфоровых чашках. Предельный срок хранения проб оговорен в ГОСТ 4979-49 и ГОСТ 2874-73. Для полного анализа воды отбирают 2,5-3 л.

В соответствии с действующими санитарными правилами питьевая и мытьевая вода, подаваемая на суда из городского водопровода или с судов-водолеев, должна отвечать требованиям ГОСТ 2874-73 „Вода питьевая“.

Качество питьевой воды контролируют по показателям:

- органолептическим (запах, привкус, цветность, мутность, прозрачность);
- химическим (остаточный хлор — при хлорировании, остаточный озон — при озонировании, остаточное серебро — при серебрении, остаточный алюминий — при коагуляции, полиакриламид — при флокуляции, триполифосфат и гексаметилфосфат — при антикоррозионной защите);
- бактериологическим (коли-индекс, коли-титр, общее микробное число).

В случае использования в судовых условиях питьевой воды, искусственно приготовленной из опресненной путем минерализации, качество воды контролируют по показателям: сульфаты (SO_4^{2-}), хлориды (Cl^-), кальций (Ca^{2+}), магний (Mg^{2+}), бикарбонаты (HCO_3^-), натрий (Na^+), фтор (F^-) водородный показатель (рН).

Качество питьевой воды, полученной методом электродиализного опреснения, контролируют в соответствии с требованиями Минздрава СССР, в частности, проверяют содержание микроэлементов бора (В) и брома (Br).

Качество охлаждающей воды контролируют по показателям: жесткость и температура.

Рассмотрим основные показатели качества питьевой воды и методы их определения.

Запах. Для определения запаха контролируемую воду наливают в широкую колбу емкостью 150-250 мл на 2/3 ее объема, накрывают часовым стеклом, встряхивают вращательными движениями в закрытом состоянии, открывают и органолептически, т. е. с помощью органов чувств, определяют запах. Качественная характеристика запаха оценивается по соответствующим (напоминающим что-то) призна-

кам: болотный, землистый, гниlostный, рыбный, ароматический и т. п. Силу запаха оценивают по пятибалльной шкале:

Запах, привкус	Оценка в баллах
Отсутствует (не ощущается)	0
Очень слабый (обнаруживается только опытным исследователем)	1
Слабый (обнаруживается потребителем в том случае, если обратить на него внимание)	2
Заметный (легко обнаруживается потребителем)	3
Отчетливый (вода непригодна для питья)	4
Очень сильный (вода непригодна для питья)	5

Привкус. Привкус воды, так же как и запах, оценивают по пятибалльной системе (см. выше). Набирают в рот 10–15 мл исследуемой воды, имеющей температуру 18–20° С, и держат 10–15 с, не проглатывая. Интенсивность привкуса питьевой воды не должна превышать 2 баллов.

Цветность. Цветность воды определяют колориметрическим методом по стандартной, бихромат-кобальтовой шкале цветности, которую готовят из двух растворов.

Первый раствор содержит 0,0875 г двуххромовокислого калия ($K_2Cr_2O_7$), 2 г сернистой кислоты ($CoSO_4 \cdot 7H_2O$) и 1 мл H_2SO_4 (удельная масса 1,84), растворенных в 1 л воды. Второй раствор содержит 1 мл H_2SO_4 в 1 л воды. Эти растворы, смешанные в определенных пропорциях, образуют шкалу цветности (табл. 2.3).

Определение начинают с того, что в один из цилиндров с делениями до 100 мл наливают до верхней отметки исследуемую отфильтрованную воду, а в другой цилиндр — эталонный раствор, имеющий известную цветность. Затем цилиндры устанавливают на белой пластинке и отливают эталонный раствор до тех пор, пока цвет в обоих цилиндрах не сравняется. Так, если цветность эталонного раствора 60 град, а деление на цилиндре с эталоном 30, то цветность исследуемой воды составит $60(30 : 100) = 18$ град.

Для контроля цветности в лабораторных условиях можно использовать также специальные приборы — спектрофотометры.

Мутность. Для определения мутности используют два метода: фотоэлектрический (с помощью мутномера) и весовой.

При фотоэлектрическом методе используется автоматический мутномер. Принцип действия мутномера следующий. Анализируемую пробу воды, находящуюся в проточной или непоточной стеклянной кювете, просвечивают лучом света от электрической лампочки. Луч, прошедший через пробу, направляют на светофильтр, обеспечивающий выделение спектра с длиной волны 500–630 нм. Затем луч попадает в светоприемник (фоторезистор), последовательно с которым включен микроамперметр.

В результате освещения фоторезистора возникает фототок, сила которого, зависящая от светопропускания воды, регистрируется микроамперметром. Шкала микроамперметра может быть проградуирована и в единицах светопропускания. Максимальное значение коэффициента светопропускания, характерное для дистиллированной воды, 100%. С увеличением загрязнения воды значение коэффициента снижается от 100 до 0%.

Параллельно с микроамперметром через специальный резистор может быть подключен вторичный (записывающий) прибор, проградуированный в единицах мутности.

Весовой метод определения мутности заключается в следующем: 500–1000 мл мутной воды профильтровывают через плотный фильтр, предварительно высушенный при 105° С в течение 1,5–2 ч и взвешенный на аналитических весах

Шкала для определения цветности воды

Количество раствора, мл		Цветность, град	Количество раствора, мл		Цветность, град
первого	второго		первого	второго	
0	100	0	6	94	30
1	99	5	8	92	40
2	98	10	10	90	50
3	97	15	12	88	60
4	96	20	14	66	70
5	95	25	16	84	80

и закрытой бюксы. После фильтрования осадок высушивают, охлаждают в эксикаторе и снова взвешивают. Мутность (мг/л) рассчитывают по формуле $Q = (g_1 - g_2) \cdot 1000/V$, где g_1 — масса бюксы после фильтрования; g_2 — масса бюксы до фильтрования, г; V — объем профильтрованной воды, мл.

Прозрачность. Этим показателем пользуются в тех случаях, когда определить мутность по каким-либо причинам затруднительно. Прозрачность является величиной, обратной мутности.

Определение прозрачности воды „по шрифту“ основано на нахождении максимальной высоты столба воды, через который можно прочесть стандартный шрифт. Определение выполняют в бесцветных цилиндрах диаметром 3–3,5 см и высотой 60 см с градуировкой через каждый сантиметр. Стандартный шрифт подкладывают под дно цилиндра на расстоянии 4 см от него. Исследуемую воду наливают в цилиндр и, регулируя ее количество, определяют предельную высоту столба (см), при которой можно прочесть шрифт.

Остаточный свободный хлор. В коническую колбу емкостью 250 мл отмеривают пипеткой 100 мл исследуемой воды, добавляют 5 мл 10%-ного раствора подкислого калия, 5 мл ацетатной буферной смеси и 1 мл раствора крахмала. Оттитровывают пробой 0,05н. раствором $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ до исчезновения синей окраски раствора.

Остаточный хлор (мг/л) определяют по формуле $\text{Cl}_2 = V_1 N_1 \epsilon \cdot 1000/V$, где V_1 — объем $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, израсходованный на титрование, мл; N_1 — коэффициент нормальности раствора; $\epsilon = 35,45$ — мг-эквивалент хлора; V — объем исследуемой воды, мл.

Остаточный озон. Содержащийся в воде озон определяют йодометрически в кислой среде. В коническую колбу емкостью 500 мл вводят 10 мл 5%-ного раствора йодистого калия KJ , 10 мл раствора H_2SO_4 , 1 мл 1%-ного раствора крахмала и 400 мл исследуемой воды. Содержимое колбы перемешивают встряхиванием. Выделившийся йод, окрашивающий раствор в синий цвет, титруют 0,01н. раствором $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ до обесцвечивания.

Содержание озона (мг/л) определяют по формуле $\text{O}_3 = V_1 N \epsilon \cdot 1000/V$, где V_1 — объем $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, израсходованный на титрование, мл; N — коэффициент нормальности раствора; $\epsilon = 24$ — мг-эквивалент озона; V — объем исследуемой воды, мл.

Остаточное серебро. Метод, с помощью которого определяют количество остаточного серебра в воде, основан на экстрагировании серебра растворами дитизона в органических растворителях. Для анализа отбирают пробу, содержащую серебро. К ней прибавляют 0,01н. раствор трилона Б приблизительно в десятикратном избытке по сравнению с требуемым количеством для связывания мешающих катионов (1–5 мл), доводят pH раствора приблизительно до 5 прибавлением 4 мл уксусной кислоты и 20 мл раствора уксусного натрия. Если объем полученного раствора меньше 50 мл, его разбавляют до данного объема дистиллированной водой, добавляют 5–10 мг мочевины и 2 мл 10%-ного раствора сернокислого гидроксилamina, встряхивают в делительной воронке и через 5–7 мин титруют раствором дитизона. Для этого раствор дитизона в CCl_4 прибавляют в анализируемую пробу порциями

по 0,3–0,5 мл и экстрагируют серебро, встряхивая раствор в делительной воронке (1–2 мин) с каждой порцией дитизона, пока последняя порция не перестанет изменять свой первоначальный зеленый цвет.

Во второй делительной воронке готовят пробу для сравнения с таким же содержанием хлоридов в первой воронке, как и в исследуемом растворе. После этого добавляют такое же количество дитизона, как и при извлечении серебра в исследуемой пробе. Затем титруют рабочим раствором соли серебра до тех пор, пока окраска экстрактов в обеих воронках не станет одинаковой. По количеству затраченного на титрование рабочего раствора находят количество серебра в пробе.

Остаточный алюминий. Содержание в воде остаточного алюминия определяют с помощью колориметрического метода основанного на образовании внутрикомплексного красного соединения алюминия с алюминоном в слабокислой среде.

В коническую колбу емкостью 100–150 мл отмеривают пипеткой 25 мл исследуемой воды, прибавляют 2 мл раствора алюминала и 20 мл ацетатной буферной смеси. Нагревают до 90–95°С, затем охлаждают. Концентрацию алюминия в воде определяют, сравнивая окраску полученного раствора с окраской растворов стандартной шкалы и используя компаратор.

Другой метод определения остаточного алюминия заключается в сравнении полученного и стандартного растворов на фотоэлектроколориметре ФЭК-М при зеленом светофильтре.

Кальций. Трилонометрический метод определения кальция основан на образовании ионами Ca^{2+} комплексного соединения с трилоном Б.

В коническую колбу наливают такой объем исследуемой воды, который содержит не более 0,5 мг-экв/л Ca^{2+} и Mg^{2+} , разбавляют водой до 50 мл. Доводят pH растворов до 3, прибавляя по каплям 0,1н. раствора соляной кислоты. Раствор кипятят в течение 5 мин для удаления углекислоты, а затем охлаждают, закрыв колбу пробкой с хлоркальциевой трубкой, наполненной натронной известью. К холодному раствору добавляют 2 мл 2н. раствора едкого натра и смесь мурексида с хлористым натрием. Раствор при этом приобретает интенсивную розовую окраску. Полученный раствор титруют раствором трилона Б до перехода окраски в фиолетовый цвет, устойчивый в течение 3 мин. Для того чтобы лучше уловить изменение окраски, титрование выполняют в присутствии „свидетеля“, в качестве которого можно использовать перетитрованную пробу.

Концентрацию ионов Ca^{2+} (мг/л) рассчитывают по формуле $\text{Ca}^{2+} = V_1 N \epsilon \times 1000 / V$, где V_1 – объем раствора трилона Б, израсходованный на титрование, мл; V – объем исследуемой воды, мл; N – коэффициент нормальности трилона Б; $\epsilon = 20,04$ – мг-эквивалент кальция.

Магний. Трилонометрический метод определения магния основан на титровании иона Mg^{2+} трилоном Б в присутствии индикатора эриохром черный в том же растворе, в котором ранее определяли ион кальция в присутствии индикатора мурексида.

Пробу воды после определения кальция кипятят в течение нескольких минут до полного обесцвечивания. Раствор после охлаждения нейтрализуют соляной кислотой по индикаторной бумаге „конго“ до изменения окраски из красной в сиреневую. Затем прибавляют 2 мл буферного раствора, немного смеси эриохрома черного с хлористым натрием (~100 мг). Раствор приобретает красный цвет. После чего полученный раствор титруют трилоном Б до перехода окраски жидкости в сине-зеленый цвет. Титрование ведут в присутствии „свидетеля“, в качестве которого можно использовать перетитрованную пробу.

Концентрацию иона Mg^{2+} (мг/л) рассчитывают по формуле $\text{Mg}^{2+} = V_1 N \epsilon \times 1000 / V$, где V_1 – объем трилона Б, израсходованного на титрование, мл; N – коэффициент нормальности раствора трилона Б; $\epsilon = 12,16$ – мг-эквивалент магния.

Бикарбонаты. Определение количества бикарбоната основано на изменении содержания в воде различных форм углекислоты в зависимости от pH. В присутствии кислоты ионы HCO_3^- переходят в свободную углекислоту.

В коническую колбу емкостью 250 мл пипеткой отмеривают 100 мл исследуемой воды. Вносят 2–3 капли фенолфталеина. Затем полученный раствор титруют 0,1н. раствором соляной кислоты до исчезновения розовой окраски. К оттитрован-

ной пробе прибавляют 2–3 капли метилоранжа и титруют 0,1н. раствором HCl до появления оранжевой окраски.

Концентрацию бикарбонатов HCO_3^- (мг/л) рассчитывают по формуле $\text{HCO}_3^- = (V_2 - V_1)N\epsilon \cdot 1000/V$, где V_2 – объем HCl, израсходованной на титрование в присутствии метилоранжа, мл; $\epsilon = 61,018$ – мг-эквивалент HCO_3^- ; V_1 – объем HCl, израсходованный на титрование в присутствии фенолфталеина, мл; N – коэффициент нормальности раствора HCl.

Фтор. Определение количества фтора в воде основано на способности фторидов изменять окраску цирконализариновой смеси от розовой до желтой в кислой среде.

В цилиндр из бесцветного стекла помещают исследуемую воду и прибавляют 5 мл цирконализариновой смеси из пипетки. Перемешивают и сравнивают исследуемую воду с одновременно полученными таким же способом стандартными растворами. Шкала последних готовится разведением 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 и 14 мл рабочего раствора до 100 мл дистиллированной водой, что соответствует содержанию фтора от 0,1; 0,2; 0,3 и т. д. до 1,4 мг/л.

Концентрацию F^- в воде (мг/л) определяют по формуле $\text{F}^- = a \cdot 1000/V$, где a – содержание фтора в том образце, который наиболее близок по окраске к испытываемой воде после прибавления к ней цирконализаринового раствора, мг; V – объем воды, мл.

§ 2.4. Нефтедержащие воды

Контроль эффективности очистки нефтедержащих вод в судовых устройствах и оборудовании проводят различными методами.

Основным методом контроля содержания нефти в воде является метод инфракрасной спектроскопии. Этот метод основан на измерении интенсивности поглощения метиленовых ($-\text{CH}_2-$) и метильных ($-\text{CH}_3-$) групп в ближней инфракрасной области спектра $3200-2700 \text{ см}^{-1}$. Данные группы составляют основную массу нефти и продуктов ее переработки. Предварительно эти вещества экстрагируют из подкисленной до $\text{pH} = 2$ исследуемой пробы четыреххлористым углеродом.

Нефтедержание определяют путем измерения оптической плотности экстракта и нанесения ее на калибровочный график. Калибровочный график строят с помощью эталонного образца нефтепродукта или стандартного раствора, состоящего из декана (39%), изоктана (22%) и бензола (39%). Растворяя эталонный образец в четыреххлористом углероде, получают серию стандартных растворов, имеющих определенную концентрацию углеводородов. Измерив оптическую плотность этих растворов на инфракрасном спектрофотометре, строят калибровочный график, где по оси ординат отложены значения оптической плотности, а по оси абсцисс – содержание углеводородов.

Оптическая плотность экстракта, полученного из анализируемой пробы, измеряется и рассчитывается с помощью инфракрасного двухлучевого сканирующего (записывающего) спектрофотометра типов ИКС-29, ИКС-31, „Перкин Элмер“, „Спекорд“, „Векман“. По калибровочному графику определяют в соответствии с найденной оптической плотностью содержание нефтепродуктов в 100 мл раствора пробы.

Содержание нефтепродуктов (мг/л) вычисляют по формуле $C = a \cdot N \cdot 1000/V$, где a – содержание нефти в 100 мл раствора пробы, мг; N – кратность разведения экстракта, если такое производилось; V – объем пробы, мл.

Содержание нефти в нефтедержащих водах может также определяться в частях нефтепродукта на миллион частей смеси [млн $^{-1}$ (ppm)]. Погрешность измерений содержания нефтепродуктов данным методом не превышает 1%, диапазон измерений 0,1–1000 мг/л и выше.

Содержание нефти в нефтедержащих водах определяют также в е с о в ы м м е т о д о м. Однако он менее точен. Этот метод допускается использовать временно до оснащения лабораторий инфракрасным спектрофотометром.

Анализ нефтедержащих вод весовым методом рекомендуется проводить в течение первого часа, но не позднее 24 ч после отбора пробы. Извлечение нефте-

продуктов при весовом методе производится дважды. Сначала извлекают и собирают летучие нефтепродукты, что выполняют, используя перегонный аппарат с ловушкой. Пробу нефтесодержащей воды нагревают до кипения, нагрев продолжают до тех пор, пока объем сконденсированных в ловушке нефтепродуктов не будет оставаться постоянным в течение 15 мин.

Объем сконденсированных летучих нефтепродуктов измеряют, их содержание (мг/л) определяют по формуле $x_1 = \frac{1}{V_1} \rho \cdot 10^6 / V$, где V_1 — объем, занимаемый летучими нефтепродуктами, мл; ρ — плотность нефтепродуктов, г/мл; V — объем взятой пробы воды для анализа, мл.

Извлечение оставшейся части нефтепродуктов из пробы производится путем ее экстракции четыреххлористым углеродом CCl_4 . Полученный экстракт вновь нагревают для отгонки CCl_4 . Когда объем экстракта достигает 10–20 мл, его переносят в предварительно взвешенный фарфоровый тигель и продолжают отгонку CCl_4 на воздухе без нагрева до достижения постоянной массы тигля. Разность между массой тигля с остатком после удаления четыреххлористого углерода и массой пустого тигля показывает общее содержание экстрагируемых четыреххлористым углеродом веществ. Оставшиеся нефтепродукты после отгонки CCl_4 обрабатывают гексаном и пропускают через окись алюминия. Таким образом получают раствор нефтесане, освобожденный от примеси полярных соединений. Гексан удаляют его в тигле при комнатной температуре.

Разность между массой тигля с остатком после удаления гексана и массой тигля показывает содержание нефти во взятом для анализа объеме. Разность между общим количеством экстрагируемых CCl_4 веществ и количеством нефти равна содержанию других, экстрагируемых этим растворителем веществ.

Содержание нефтепродуктов (мг/л), определенных весовым методом (малолетучих), вычисляют по формуле $x_2 = \frac{(m_1 - m_2) \cdot 10^6}{V}$, где m_1 — масса тигля с остатком после удаления гексана, мг; m_2 — масса пустого тигля, мг; V — объем пробы, мл.

Содержание всех нефтепродуктов в пробе $x = x_1 + x_2$.

В судовых условиях контроль за работой оборудования по очистке нефтесодержащих вод осуществляется э к с п р е с с - м е т о д о м с помощью судовых лабораторий СКЛАВ-1 или СЭЛ-1М.

Судовая комплексная лаборатория СКЛАВ-1 предназначена для анализа питательной, добавочной и котловой вод, конденсата, дистиллята, балластных и льяльных вод. Определение содержания нефтепродуктов в воде основано на экстрагировании нефтепродуктов из воды органическим растворителем (четыреххлористым углеродом CCl_4) с последующим перенесением экстракта на фильтровальную бумагу. Наличие нефтепродуктов в воде обуславливает появление темной полоски на фильтре, ширина которой зависит от количества нефтепродуктов в воде.

Для анализа берется 100 мл воды в делительную воронку и добавляется 10 мл CCl_4 . Смесь тщательно перемешивают в течение 2–3 мин, затем дают ей отстояться до полного расслоения. Нижний слой (экстракт) сливают в пробирку. Из пробирки с помощью пипетки 1 мл экстракта переносят в стакан и вставляют в него полоску фильтровальной бумаги.

После испарения растворителя на фильтровальной бумаге образуется темная полоса. Измеряя ее ширину после испарения четыреххлористого углерода в течение не менее 1 ч и сравнивая результат измерения с эталонными графиками, определяют содержание нефтепродуктов в льяльных и балластных водах. При анализе необходимо предварительно установить преобладающий сорт загрязняющего нефтепродукта, так как эталонные графики построены для определенного нефтепродукта.

Определение содержания нефти и нефтепродуктов в воде с помощью лаборатории СЭЛ-1М основано на визуальном сравнении интенсивности окраски бензинового экстракта из исследуемой пробы воды с окраской специально приготовленного эталона. Шкалу эталонов готовят путем разбавления в авиационном бензине определенного количества нефтепродукта, наиболее употребляемого на судне. Эталонные пробирки обычно содержат следующее количество нефтепродуктов (мг/л): 0, 20, 50, 100, 150. При светлых сортах загрязняющих воду нефтепродуктов шкалу эталонов готовят со следующими значениями (мг/л): 0, 40, 100, 200, 300. Срок годности приготовленной шкалы эталонов не более 5 сут.

Экстрагирование нефтепродуктов из исследуемой пробы производят с помощью авиационного бензина. Отстой бензина с растворенными нефтепродуктами сравнивают с эталонными образцами. Диапазон измерений содержания нефтепродуктов в исследуемой пробе 0—300 мг/л, погрешность измерений $\pm 15\%$.

Существенным фактором для правильного определения количества нефтепродукта в нефтесодержащей воде является соблюдение правил отбора, консервирования и хранения проб. Устройство и места отбора проб должны соответствовать требованиям Регистра СССР.

Для отбора проб используют бутылки емкостью 1 л, которые должны быть тщательно вымыты и освобождены от следов жира. Бутылку заполняют строго по метке исследуемой водой. Слив излишней жидкости в случае перелива выше метки не допускается. Бутылку должна быть закрыта притертой пробкой (корковой или полиэтиленовой), обернутой фольгой. Между пробкой и слоем воды должно оставаться пустое пространство высотой 2 см.

Так как нефтепродукты подвергаются биохимическому окислению, при котором изменяется не только их содержание, но и качественный состав, экстракцию проводят вскоре после отбора пробы воды. Если проведение экстракции отбора пробы невозможно, допускается ее консервирование путем добавления 10% уксусной кислоты в пробу объемом 1 л. Раствор соляной кислоты получается смешением равных количеств концентрированной HCl и дистиллированной воды. Учитывая, что нефтепродукты легко адсорбируются на стенках сосуда, при отборе необходимо использовать пробу полностью, тщательно ополаскивая емкость четыреххлористым углеродом.

§ 2.5. Сточная и хозяйственно-бытовая вода

Качество сточных и хозяйственно-бытовых вод (как уже упоминалось выше) определяют следующие основные показатели:

- коли-индекс;
- взвешенные вещества;
- биохимическое потребление кислорода за 5 сут (БПК₅);
- свободный активный хлор (в случае применения хлорсодержащего вещества как обеззараживающего).

Приведенные показатели определяются как средние-геометрические величины из взятого количества проб по формуле $C_{сг} = (C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \dots C_n)^{1/n}$, где $C_{сг}$ — среднегеометрические величины показателя; $C_1 \dots C_n$ — показатели каждой пробы; n — число проб.

Коли-индекс. При проведении анализа сточных вод на содержание коли-бактерий большое внимание следует уделять правильному отбору проб. Сначала кран, из которого производится отбор проб стерилизуют пламенем спиртовки, затем сточная вода при полностью открытом кране сливается в течение 0,5—1 мин и только после этого в стерильную посуду отбирается 250—350 мл пробы. Горлышко посуды, в которую отбирается проба, стерилизуют открытым пламенем спиртовки и закрывают стерильным тампоном. Для ликвидации действия обеззараживающего агента, присутствующего в отобранной пробе, в посуде для отбора проб должно находиться не менее 10 мл 33%-ного раствора серноватистокислого натрия. Анализ должен проводиться не более чем через 2 ч после отбора проб. Пробы консервации не подлежат.

Для определения коли-индекса используют два метода: бродильный и фильтрованием на мембранных фильтрах.

При бродильном методе используют методику предельных разведений. При этом пробу разбавляют стерильной водой в десять раз, из разбавленной пробы берут ее часть, которую разбавляют еще раз и т. д. Разбавление проводят до тех пор, пока в последней пробе анализ покажет отсутствие бактерий, затем по количеству разбавлений определяют содержание коли-бактерий в исходной пробе.

Бродильный метод анализа трудоемок и позволяет определить концентрацию коли-бактерий с точностью до порядка.

Метод определения коли-индекса на мембранных фильтрах позволяет определить точное число коли-бактерий в пробах воды.

При проведении этого анализа через мембранный фильтр пропускают такое количество сточной воды, чтобы на фильтре при его инкубации на среде эндо-агара образовалось не более 50 колоний кишечной палочки, для этого пробу сточных вод разводят стерильной дистиллированной водой.

Для анализа необработанных сточных вод пробу разводят в 100–10000 раз и фильтруют через мембранный фильтр 1–10 мл воды, взятой из объема разведенной пробы. Для обработанных сточных вод через мембранный фильтр фильтруют три пробы объемом 10, 1 и 0,1 мл.

Для фильтрации сточных вод используют фильтры № 3 и № 6, причем для фильтрования проб очищенной воды служат фильтры № 3, а для анализов проб неочищенной воды – фильтры № 3 и № 6, уложенные один на другой. При подсчете числа колоний кишечной палочки суммируют число колоний, образовавшихся на обоих фильтрах. Затем мембранные фильтры укладывают в чашки Петри со средой эндо-агара. При этом мембранные фильтры следует укладывать так, чтобы сторона фильтра, через которую проводилось фильтрование, была обращена вверх. При укладке в чашку Петри нескольких фильтров, последние не должны соприкасаться между собой. После этого чашки Петри закрывают и помещают в термостат вверх дном, где их выдерживают в течение 16–20 ч при температуре $37 \pm 0,5^\circ\text{C}$.

При инкубации коли-бактерий на среде эндо-агара образуются округлые колонии бактерий темно-красного цвета с металлическим блеском. Могут также образовываться колонии параколи-бактерий розового цвета.

Точный подсчет колоний бактерий возможен, если колонии изолированы друг от друга. Если колонии сливаются, значит, в пробе, взятой для анализа, слишком много колоний, и результат определения содержания коли-бактерий не учитывается. Для повторного анализа берут следующие пробы меньшего объема. Если на фильтре после инкубации нет колоний, характерных для кишечной палочки, но замечен рост колоний, не характерных для кишечной палочки (плотчатые, губчатые с неровной поверхностью и краями, плесневые и др.), можно сделать вывод, что в этой пробе бактерии группы кишечной палочки отсутствуют.

Если на фильтрах после инкубации наблюдаются изолированные колонии, их подсчитывают, причем подсчет ведется отдельно для каждого характерного типа колоний: темно-красных с металлическим блеском, темно-красных без блеска, красных крупных слизистых с отпечатком на обратной стороне фильтра, розовых. Из каждой группы колоний выборочно по две-три колонии переносят на полужидкую среду с лактозой, которая находится в пробирках, и инкубируют в термостате при температуре $37 \pm 0,5^\circ\text{C}$ в течение 6 ч.

При появлении в пробирках с лактозой кислоты и газа отобранные колонии бактерий относят к группе бактерий кишечной палочки. Если при инкубации образуется только кислота, то эти пробы продолжают инкубировать до 24 ч. Если произошло образование газа, то данную колонию также относят к бактериям группы кишечной палочки.

При подсчете коли-индекса учитывают только те группы колоний бактерий, взятых для анализа на лактозе, которые разлагают ее на полужидких средах с образованием кислоты и газа. Результат бактериологического анализа выражают в виде коли-индекса, т. е. числа лактозоположительных кишечных палочек в 1 л воды.

Коли-индекс в каждой пробе сточной воды рассчитывают по формуле $K = (1000 I) / V$, где I – количество лактозоположительных кишечных палочек в пробе воды; V – объем пробы, мл.

Взвешенные вещества. Содержание взвешенных веществ в пробах воды определяют фильтрованием через предварительно высушенные и доведенные до постоянной массы фильтры – мембранный № 6 или бумажные „синяя лента” или „красная лента”.

В процессе фильтрования на фильтре задерживаются взвешенные вещества, при этом для мембранного фильтра берут пробы объемом 100–500 мл, а для бумажного – пробы такого объема, чтобы в них содержалось 100–250 мг взвешенного вещества. После фильтрования необходимо промыть фильтр дистиллированной водой для удаления с его поверхности растворенных минеральных примесей. Затем мембранный фильтр высушивают в сушильном шкафу при $40\text{--}50^\circ\text{C}$, а после этого досушивают в течение 1 ч при 105°C до постоянной массы. Бумажные фильтры

сушат сразу же после фильтрования при температуре 105° С в течение 2–3 ч до постоянной массы.

Точность результатов анализа зависит, в основном, от точности доведения фильтров до постоянной массы до фильтрования и после него.

Округление результатов анализа проводят до 1 мг.

Биохимическое потребление кислорода (БПК₅). Определение БПК₅ проводят в начальной или соответственно разбавленной пробе воды по разности между содержанием кислорода до и после выдержки пробы в стандартных условиях. Стандартной признана продолжительность инкубации, равная 5 сут, при 20° С, без доступа воздуха и света.

Определение БПК₅ проводят в специальных колбах (рис. 2.1), которые позволяют значительно увеличить точность анализа, так как использование двойной пробки, заполненной водой, гарантирует предотвращение диффузии кислорода из воздуха в анализируемую воду.

После предварительного отстаивания пробу разбавляют водой таким образом, чтобы содержащегося в ней кислорода с избытком хватило для окисления всех органических загрязнений или для протекания аэробных биохимических процессов.

Определив содержание растворенного кислорода в полученной смеси, ее оставляют в закрытой склянке на 5 сут, после чего находят количество оставшегося кислорода. Уменьшение количества кислорода в пробе показывает, сколько его израсходовано на окисление в ней органических веществ. Это количество, отнесенное к 1 л воды, и является биохимическим потребителем кислорода анализируемой воды.

При определении БПК₅ необходимо также выполнять ряд требований, соблюдение которых способствует получению правильных результатов. В первую очередь следует строго соблюдать условия, при которых количество растворенного кислорода соответствовало бы его потреблению. Это соответствие зависит от степени разбавления проб с большим биохимическим потреблением кислорода, от применения одной и той же разбавляющей воды, одного и того же способа обработки воды перед анализом.

В течение всего времени инкубации содержание кислорода в начальной или разбавленной пробе должно оставаться таким, чтобы обеспечивались нормальные условия протекания аэробных биохимических процессов.

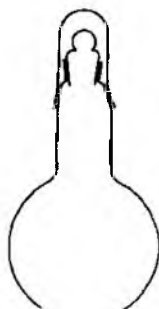


Рис. 2.1. Колба для определения БПК₅.

Таблица 2.4

Рекомендуемое количество воды для разбавления проб при определении БПК₅

Отношение объема взятой пробы к объему разбавленной пробы	Объем пробы в 1 л смеси, мл	БПК ₅ , мг/л	Округление результата анализа, мг/л
1	1000 (неразбавленная проба)	0–6	0,1
0,5	500	4–72	0,2
0,2	200	10–30	0,5
0,1	100	20–60	1
0,05	50	40–120	2
0,02	20	100–300	5
0,01	10	200–600	10

П р и м е ч а н и е. При отмеривании пробы цилиндром надо произвести ее до полного разбавления.

Разбавление пробы проводят на основании предполагаемой величины БПК₅ в соответствии с данными табл. 2.4.

Для приблизительного расчета количества воды для разбавления пробы можно использовать величину окисляемости воды (ХПК), если известно соотношение между ХПК и БПК₅ для данного вида воды.

Сточные воды, содержащие активный хлор или другие обеззараживающие окислители, должны быть обработаны сульфитом натрия, который добавляют в количестве, эквивалентном содержанию обеззараживающего вещества.

Вещества, реагирующие непосредственно с растворенным кислородом, завышают результат определения БПК. Мешающее влияние таких веществ устраняют увеличением времени между разбавлением пробы водой и определением кислорода в колбе (см. рис. 2.1) в день отбора пробы. Количество кислорода определяют через 1 ч после разбавления или аэрации пробы.

В установках для физико-химической обработки сточных вод допускается определение БПК₅ по разности ХПК в отобранной пробе и после ее выдержки в течение 5 сут, при этом исследуемая вода, содержащая органические вещества в количестве не более 1600 мг/л (в расчете на ХПК), не нуждается в разбавлении. Если сточная вода содержит более 1600 мг/л (по ХПК) органических веществ, ее разбавляют дистиллированной водой.

Для торможения процесса нитрификации сточных вод необходимо использовать ингибитор — этилентинномочевину.

Расчет БПК₅ каждой пробы выполняют по формуле $СБПК_5 = (СХПК_n - СХПК_K) \cdot 1,11 R$, где $СХПК_n$ — ХПК отобранной пробы; $СХПК_K$ — ХПК пробы после ее выдержки в течение 5 сут; 1,11 — коэффициент, учитывающий разбавление пробы реактивами; R — отношение объема взятой пробы к объему разбавленной пробы (если разбавление не производится, $R = 1$).

Свободный активный хлор. Свободный активный хлор определяют с помощью объемного нодометрического метода и колориметрического метода с использованием *о*-толидина.

И н о д о м е т р и ч е с к и й м е т о д рекомендуется для анализа воды, содержащей более 1 мг/л свободного активного хлора.

К о л о р и м е т р и ч е с к и м м е т о д о м пользуются при концентрации свободного активного хлора в пробе от 0,1 до 7 мг/л.

Определение свободного активного хлора проводят сразу же после отбора проб, так как свободный активный хлор улетучивается из исследуемых растворов и взаимодействует с органическими веществами, содержащимися в отобранной пробе.

При нодометрическом определении хлор выделяет иод из раствора иодида. Затем образовавшийся иод оттитровывают тиосульфатом натрия. Индикатором иода является 0,5%-ный раствор крахмала. Титрование тиосульфатом проводят до исчезновения голубой окраски раствора.

Определению свободного активного хлора мешают большие количества нитритов железа и органические вещества.

При колориметрическом методе определяют свободный хлор по его реакции с *о*-толидином в кислой среде. При этом раствор окрашивается в желтый или оранжевый цвет. При концентрации свободного активного хлора 0,1–1,5 мг/л пользуются светофильтром, имеющим максимальное светопропускание 400–450 мм; при концентрации 0,5–7 мг/л — светофильтром, имеющим максимум светопропускания в области 490 мм.

Реакция хлора с *о*-толидином отличается большой чувствительностью, позволяя при объеме пробы 100 мл непосредственно определить 0,01–7 мг/л активного хлора.

Результаты анализов с *о*-толидином искажаются при наличии в пробе железа (более 0,3 мг/л), марганца (более 0,01 мг/л) и нитритов (более 0,1 мг/л), при этом необходимо вводить поправку на „холостой” опыт.

Глава 3
ЗАГРЯЗНЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ.
ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА
ОЧИЩЕННЫХ ЖИДКОСТЕЙ

§ 3.1. Источники загрязнения

Источники загрязнения различных жидкостей в судовых системах весьма разнообразны. Рассмотрим основные из них для отдельных жидкостей.

Топливо. Основными причинами появления в топливе твердых примесей является негерметичность резервуаров, коррозия трубопроводов, недостаточная зачистка резервуаров, нестабильность топлив.

В процессе производства топливо может загрязняться продуктами коррозии заводского оборудования, в которых содержатся кроме железа кремний, кальций, алюминий и другие металлы. В этих загрязнениях присутствует значительное количество серы, азота и кислорода.

При транспортировке топлива на нефтебазы, осуществляемой в основном тремя видами транспорта, — железнодорожным, автомобильным и трубопроводным — количество загрязнений возрастает. Состав загрязнений характеризуется повышенной зольностью и значительным содержанием кремния и кальция, которые попадают в топливо из воздуха вместе с пылью в пунктах налива и слива.

Таблица 3.1
Классификация причин загрязнений топлива

Загрязнения	Причины возникновения	Условия возникновения	Меры предотвращения
Атмосферные	Контакт с запыленным и влажным воздухом	При больших и малых дыханиях резервуаров, открытом сливе и налив	Герметизация средств хранения и транспорта Очистка и осушка воздуха
Контактные	Коррозия металлов, разрушение покрытий и резинотехнических изделий	При взаимодействии нефтепродукта с материалами средств транспортировки и заправки	Применение стойких к нефтепродуктам материалов
Продукты износа	Износ рабочих насосов, запорных устройств, аппаратуры и т. д.	При перекачке нефтепродуктов	Применение износостойких материалов
Продукты окисления	Окисление углеводородов, входящих в состав нефтепродуктов	При длительном хранении (особенно при повышенной температуре)	Герметизация и теплоизоляция

В табл. 3.1 приведена классификация причин эксплуатационных загрязнений топлива и меры их предотвращения.

Вода попадает в топливо, так же как и механические примеси, при транспортировке, перекачке и хранении. Особенно сильное обводнение топлива происходит в период зимнего хранения на бункеровочных станциях. На обводнение топлива оказывают влияние Давление окружающего воздуха, температура, толщина слоя нефтепродукта и объем газовой смеси над топливом.

При разогреве топлива острым паром возможны его „аварийные“ обводнения и образование стойких водотопливных эмульсий. На бункеровочных станциях обводнение может происходить за счет конденсации влаги на стенках емкостей из-за неправильного хранения топлива в зимних условиях (в период зимнего отстоя судов). При резких перепадах температуры осенью процесс конденсации усиливается. В конце навигации (перед зимним отстоем) вода, попавшая в топливо, сливается из расходных и запасных емкостей бункеровочных станций.

На процесс полимеризации углеводородов топлива оказывают влияние многие факторы: температура, кислород воздуха, каталитическое действие металлов и др. Продукты коррозии увеличивают, например, скорость окисления нефтепродуктов, в результате чего возрастает кислотность как смолистых веществ, так и осадков.

Образование смолистых веществ и осадков при хранении топлива происходит в результате процессов окисления. При хранении нефтепродуктов, содержащих в своем составе непредельные углеводороды, образование смол и осадков происходит значительно интенсивнее, чем у нефтепродуктов, не содержащих непредельные углеводороды. Если коэффициент заполнения резервуаров близок к 0,9, то процессы окисления замедляются. При уменьшении коэффициента заполнения скорость образования смолистых веществ значительно увеличивается. Так, при снижении коэффициента заполнения с 0,95 до 0,25 содержание смол может возрасти у хранящихся топлив почти в четыре раза.

Скорость образования смолистых веществ возрастает с увеличением количества кислорода в газовом пространстве над топливом и повышением температуры хранения.

При хранении топлив над слоем воды скорость их осмоления может возрасти в два раза и более.

Масла и рабочие жидкости. На загрязненность масел и рабочих жидкостей влияют условия и продолжительность хранения, материал, из которых изготовлены резервуары, их герметичность, запыленность окружающего воздуха, интенсивность коррозии складского и заправочного оборудования.

При длительном хранении масел и рабочих жидкостей происходит медленное накопление продуктов окисления и органических соединений, в состав которых входят высокомолекулярные смолы и присадки. При окислении масел образуются, например, нефтеновые кислоты, которые вызывают коррозию деталей.

При изготовлении, сборке и испытании машин и механизмов загрязнения в масла и рабочие жидкости попадают в тех случаях, когда для уплотнения резьбовых соединений применяются неправильно выбранные материалы (текстильные материалы, краска, густая смазка и др.), либо сборку элементов систем (наносы, золотники, клапаны и т. д.), а также их наладку и регулировку производят в помещениях с запыленной атмосферой и на загрязненных рабочих местах.

Наибольшее количество загрязнений попадает в масла и рабочие жидкости в процессе эксплуатации масляных и гидравлических систем. Под воздействием температуры, давления, кислорода воздуха, продуктов износа механизмов и постоянных примесей, поступающих извне, масло и рабочие жидкости загрязняются непрерывно самыми различными видами загрязнителей. При нагревании жидкостей в процессе эксплуатации увеличивается количество осадков, называемых окислением.

Вода в масла и рабочие жидкости может поступать через неплотности судовых систем, накапливаясь в результате образования росы за счет разности температур окружающего воздуха и самих жидкостей, а также благодаря гигроскопичности последних. Попадая в минеральные масла и рабочие жидкости, вода, являясь окислителем, приводит к распаду этих нефтепродуктов и образованию вязких смолообразных компонентов.

Пресная природная вода. Пополнение судовых запасов воды производится, в основном, за счет пресной поверхностной воды, в ограниченном количестве используется вода морей и океанов.

Состав пресной поверхностной воды определяется количеством и качеством поступающих в нее подземных вод, а также стоков от промышленных и коммунальных предприятий.

Встречающаяся в природе вода (атмосферные осадки, вода рек, озер, морей, океанов) содержит различные примеси. В соответствии с этим понятие „вода” следует рассматривать в двух значениях: вода как вещество (H_2O), имеющее определенный состав и точно известные физические и химические свойства, и вода как смесь, состоящая из H_2O и содержащихся в ней примесей, концентрация и характер которых определяют качество воды, т. е. возможность использования ее для тех или иных народнохозяйственных целей.

Поскольку расходы воды в любой реке меняются в течение года в значительных пределах (периоды снеготаяния, периоды редких дождей и т. п.), меняется также и качество речной воды. Сооружение на реках гидростанций с водохранилищами способствует стабилизации качества воды рек ниже плотин.

Содержание растворенного кислорода в воде рек бывает близким к его растворимости при данной температуре. Исключением является подледный период, когда может наблюдаться дефицит растворенного кислорода. Концентрация водородных ионов pH обычно находится в пределах 6,5–8,5.

Содержание взвешенных веществ в речной воде сильно изменяется в зависимости от времени года и количества осадков. Наибольшее количество взвеси содержит вода рек в период после вскрытия ледяного покрова, минимальное содержание взвешенных веществ бывает зимой, когда реки покрыты льдом и в них поступают преимущественно грунтовые стоки.

Концентрация растворенных в речной воде солей в течение года примерно обратно пропорциональна расходу воды в реке. Зимой речная вода характеризуется повышенной минерализованностью и жесткостью. В летнее время качество воды определяется соотношением между количеством вод подземного и поверхностного стоков, питающих реку.

Основными компонентами химического состава речной воды являются катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ и анионы HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- . Маломинерализованная вода рек содержит преимущественно ионы Ca^{2+} и HCO_3^- . По мере повышения минерализации речной воды содержание в ней Na^+ , SO_4^{2-} и Cl^- повышается. Различают минерализацию малую (до 0,2 г/л), среднюю (0,2–0,5 г/л), повышенную (0,5–1 г/л) и высокую (свыше 1 г/л). Вода большинства рек земного шара имеет малую и среднюю минерализацию, высокая минерализация встречается редко.

Минерализация воды некоторых рек мира (мг/л): Волги—458; Волхова—397; Дуная—331; Колорадо—391,1; Колумбии—112,9; Маккензи—212; Миссисипи—210,6; Миссури—419,8; Москвы—358,5; Невы—46; Нила—119,1; Рейна—281,2; Северной Двины—247; Св. Лаврентия—200,2; Темзы—358,3.

Минеральный состав речной воды разнообразен и определяется химическим составом пород, слагающих водосборную площадь бассейна реки, климатом, рельефом и гидрогеологией бассейна реки. В настоящее время на минеральный состав речной воды большое влияние оказывают промышленные стоки и минеральные удобрения, вымываемые с полей.

Ионный состав речной воды весьма разнообразен (табл. 3.2).

Органические вещества в речной воде присутствуют в виде веществ гумусового происхождения, смываемых с почв и болот, и в виде продуктов распада различных органических веществ преимущественно растительного происхождения.

Концентрацию органических веществ обычно определяют по величине перманганатной окисляемости, которая для речной воды колеблется от 2 до 30 мг/л. Наибольшая величина перманганатной окисляемости характерна для рек Севера.

В воде океанов и открытых морей содержание растворенных минеральных веществ достигает 35 г/л и имеет следующий состав (г/л): хлориды — 19,35; сульфаты — 2,7; гидрокарбонаты — 0,14; бромиды — $7 \cdot 10^{-2}$; фториды — $1,3 \cdot 10^{-3}$;

борная кислота — $2,7 \cdot 10^{-2}$; натрий — 10,76; магний — 1,3; кальций — 0,41; калий — 0,39; стронций — $1,36 \cdot 10^{-2}$; сумма ионов — 35,16.

Необходимо отметить, что в воде открытого океана, независимо от абсолютной концентрации минеральных веществ, количественные соотношения между концентрациями главных ионов всегда одинаковы.

Распределение солёности воды на поверхности Мирового океана имеет неравномерный характер. Зона низких широт по сравнению с полярными широтами отличается более высокой величиной солёности. Особенно сильно опреснен Арктический бассейн, поскольку он более изолирован от других океанов материками и в него, в отличие от Антарктического бассейна, впадает большое число крупных рек.

Наибольшая величина солёности отмечается в тропических зонах, причем в экваториальной зоне она несколько меньше.

Солёность поверхностной воды внутренних морей, имеющих затрудненный водообмен с океаном, под влиянием материкового стока обычно значительно ниже, чем в океанах. Но внутренние моря, находящиеся в районах с засушливым климатом, наоборот, имеют повышенную, по сравнению с океаном, солёность поверхностной воды. В Средиземном море, например, на поверхности солёность достигает 37–38 г/л, а в Красном море, почти лишенном материкового стока, наибольшая величина солёности доходит до 40–42 г/л.

Органические вещества находятся в океанической воде в растворенном, коллоидном и взвешенном состояниях. Источником органических веществ в океане являются продукты биохимического распада остатков морских организмов, продукты их обмена и различные виды водорослей и планктонов. Химический состав органических веществ океана весьма сложен (в настоящее время еще мало изучен). В частности, в их составе обнаружены пектиновые, гумусовые, белковые вещества, углеводы, жирные кислоты и другие органические вещества.

Концентрация органических веществ в океанской воде невелика и изменяется в зависимости от географических координат от $200 \cdot 10^{-3}$ до $10 \cdot 10^{-3}$ г/л.

Охлаждающая и пресная бытовая вода. Источники загрязнения воды можно разделить на четыре группы: естественные; вызванные приемом и транспортированием воды по судну; связанные с хранением воды; связанные с использованием воды по прямому назначению.

Для заборной пресной (речной) и соленой (морской) воды характерны естественные источники загрязнения. Загрязнение воды происходит в результате действия: процессов разрушения почвы и горных пород; процессов растворения газов из воздуха; выпадающих осадков (дождь, снег); солнечной радиации; жизнедеятельности населяющих воду микроорганизмов, зоо- и фитопланктона; колебаний температуры воздуха; спускаемых промышленных и бытовых сточных вод. Эти процессы и явления придают природной воде специфические свойства, которые характеризуют следующие показатели: солесодержание, солевой состав, электропроводимость, сухой остаток, окисляемость, жесткость, цветность и др.

Как правило, потребитель не может влиять на естественные источники загрязнений (кроме сбросов в воду), он лишь может в зависимости от условий использования воды выбрать тот или иной природный водоисточник.

Из естественных источников загрязнений в воду попадают: ионы солей, коллоидные частицы, планктон, бактерии, растворенные газы, микроэлементы и т. д.

Химический состав воды некоторых рек (мг/л)

Таблица 3.2

Река	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Сумма ионов
Северная Двина	41,4	9,4	13,4	122	47,1	14	247
Волхов	27,4	5,8	20,8	80,4	13,3	38,4	186
Дон	82	18	52,2	260	112	44	568
Волга	80,4	22,3	12,5	210,4	112,3	19,9	458
Москва	61,5	14,2	23	250	5,6	2,3	358,5

Таблица 3.3

Примерный солевой состав пресной воды в портах СССР

Порт	Содержание элементов, мг-экв/л						Соле- содержание, мг/л
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	
Архангельск	2,18	0,74	0,2	1,91	0,96	0,24	228
Астрахань	2,56	1,04	0,3	1,42	1,76	0,72	430
Батуми	0,3	0,06	0,33	0,36	0,22	0,11	51
Впадивосток	0,17	0,16	0,52	0,25	0,09	0,51	55
Керчь	10,8	1,3	8,88	5,72	4,86	10,4	1388
Клайпеда	3,32	2,94	5,03	6,6	2,1	2,61	1208
Ленинград	0,41	0,21	0,43	0,55	0,18	0,33	75
Мурманск	0,16	0,08	0,25	0,15	0,13	0,21	33
Новороссийск	4	0,65	2,14	3,22	2,16	1,41	495
Одесса	3,94	0,9	1,37	3,22	1,24	0,85	408
Севастополь	5,25	0,68	1,78	4,5	0,59	2,62	738
Таллин	2,85	0,67	0,31	2,39	0,98	0,41	280
Туапсе	7,7	1,23	0,63	5,72	1,3	2,54	686

Таблица 3.4

Примерный солевой состав вод некоторых океанов и морей

Океаны и моря	Содержание элементов, мг-экв/л						Соле- содержание, мг/л
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	
Атлантичес- кий	21,46	112,45	504,05	2,47	59,30	575,32	36 900
Тихий	20,85	109,35	489,90	2,40	57,62	559,41	36 050
Средиземное	3,20	223,00	455,60	1,70	110,10	560,00	38 560
Каспийское	17,60	62,40	141,60	4,20	64,20	153,20	13 127
Северное	20,85	109,35	489,90	2,40	57,62	559,41	36 050
Черное	6,10	38,20	242,90	7,30	270,50	9,40	16 680
Азовское	4,50	35,20	168,00	6,10	16,90	184,70	12 015
Красное	24,45	128,15	574,02	2,82	67,51	655,21	42 050
Аравийское	21,46	112,50	504,85	2,47	59,30	575,32	36 900
Японское	20,27	106,24	476,06	2,36	56,04	543,48	34 850
Охотское	19,08	100,01	447,85	2,19	52,70	511,22	32 800
Берингово	18,77	98,42	440,87	2,16	51,85	503,41	32 550
Баренцево	20,85	100,01	447,85	2,19	52,70	511,22	32 800

Примерный солевой состав пресной воды в портах СССР представлен в табл. 3.3, состав океанской и морской воды — в табл. 3.4.

В случае несоблюдения гигиенических требований, предъявляемых к портовым и палубным водозаборным устройствам (гидрантам, шлангам, приемным патрубкам и т. д.), возможно вторичное загрязнение воды, т. е. загрязнение, вызванное приемом и транспортированием воды по судну. Транспортирование воды по судовым трубопроводам приводит к их коррозии (табл. 3.5) и переходу продуктов коррозии в воду. Для этой группы характерными загрязнениями являются: коллоидные частицы окислов металлов, бактерии, газы и т. д.

При хранении воды в судовых цистернах неизбежно происходят процессы частичного разрушения антикоррозионных покрытий и коррозии оголившегося металла. Из покрытий в воду мигрируют вещества, отличающиеся своей природой (органические и неорганические), агрегатным состоянием и концентрацией, причем последняя может быть соизмерима с количеством веществ, растворенных в исходной воде. Кроме того, в воде непрерывно протекают процессы жизнедея-

Скорость коррозии судовых трубопроводов

Материал трубопровода	Скорость воды, м/с, не более	Скорость коррозии, мм/год	
		общей	язвочной
Медно-никелевый сплав МНЖ5-1	3	0,1-0,15	0,4-0,5
Медь МЗр	1-2	0,2	0,5-0,6
Сталь: нержавеющая OX18H10T	1,5-40	0,025	2-4 (в неподвижной воде)
углеродистая оцинкованная	3 4	0,75 0,08-0,54	1,5 —

П р и м е ч а н и е. Для углеродистой стали данные приведены применительно к пресной воде, для остальных материалов — к морской воде.

ности микроорганизмов, интенсивность которых при повышенных температурах (20-40°С) возрастает. Бактерии, как и взвешенные частицы примесей, являются объектами, загрязняющими воду.

При хранении воды характерным является повышение жесткости и щелочности (для цементных покрытий), содержание железа, запаха, окисляемости, общего микробного числа. В то же время снижаются прозрачность и коли-титр. В результате хранения в воду попадают частицы антикоррозионных покрытий, гидроокиси металлов, бактерии и т. д.

При использовании воды по прямому назначению могут наблюдаться процессы коррозии охлаждающих поверхностей оборудования, образование накипи и др. Охлаждающая вода при соприкосновении с охлаждаемыми (нагретыми) поверхностями может загрязняться частицами накипи (шламом), продуктами коррозии металлов, насыщаться газами вследствие фазовых превращений воды. Мытьевая вода загрязняется в процессе мытья частицами жира, клетчатки, волосами, поверхностно-активными веществами, бактериями, растворенными соединениями. Мытьевая вода, используемая в технологических процессах (например, при рыбопереработке), обогащается жиром, хитином и другими отходами органического происхождения.

Трюмная вода. Наличие трюмной воды отрицательно влияет на нормальную эксплуатацию судна, поэтому ее следует периодически удалять из льял и колодцев машинно-котельного отделения и трюмов. Основной загрязнитель трюмной воды — нефтепродукты (топлива и масла), используемые энергетической установкой судна и различными вспомогательными механизмами.

Источниками образования трюмной воды и ее загрязнителей являются: пропуск воды через неплотности в корпусе судна; пропуск воды через неплотности трубопроводов и арматуры; конденсация водяных паров на внутренних поверхностях корпуса; пропуск воды через дейдвудное устройство валопроводов; утечки пара и воды из судового оборудования (котлы, насосы, опреснительные установки и т. п.); мытье водой переборки и плит машинного отделения; спуск воды из охлаждающих систем дизелей, опреснителей, холодильников, расширительных баков, вспомогательных механизмов; утечки нефтепродуктов через неплотности трубопроводов и арматуры; спуск воды с примесью нефтепродуктов из отстойных и расходных цистерн топлива и масла; утечки топлива и масла из сальников насосов и других механизмов; спуск нефтеводяной смеси после промывки картеров, деталей судовых двигателей и механизмов; неправильная эксплуатация, приводящая к переливам цистерн и случайным разливам при ремонтных работах.

Количество и состав трюмной воды зависят от многих факторов, основные из которых: тип судна и его техническое состояние, водоизмещение, мощность и тип

энергетической установки, режим работы, квалификация обслуживающего персонала.

Сточная и хозяйственно-бытовая вода. Загрязнения в сточной воде образуются в основном в результате жизнедеятельности членов экипажа судна и являются продуктами, выводимыми из организма человека. Кроме того, в их состав входят загрязнения, попадающие в сточные системы судна при уборке помещений, а также различные загрязнения из медицинских помещений судна. Загрязнения имеют различный химический и фазовый составы и образуются при мытье членов экипажа, мойке и уборке помещений судна, при стирке белья. Кроме того, в хозяйственно-бытовую воду попадают камбузные воды, содержащие загрязнения, образующиеся при приготовлении пищи, мойке посуды и помещений камбуза.

§ 3.2. Состав загрязнений

Физический и химический состав веществ, загрязняющих жидкости, различен. Рассмотрим основные загрязнители для отдельных жидкостей.

Топливо. Загрязнителями топлива могут быть как органические, так и неорганические вещества в виде примесей.

К органическим примесям относятся асфальтосмолистые вещества окислительной полимеризации нестабильных компонентов топлива (ненасыщенные углеводороды, сернистые, азотистые и кислородные соединения). Средняя молекулярная масса этих веществ превышает молекулярную массу соответствующих исходных топлив. Плотность смолистых веществ приближается к 1000 кг/м^3 . Смолы имеют циклическую структуру и представляют собой сложную смесь сернистых, азотистых и кислородных соединений.

Появление в топливах смолистых веществ и осадков определяется в основном наличием непредельных углеводородов и гетероорганических соединений. В дизельных топливах, получаемых методом каталитического крекинга, содержится 5–7% непредельных углеводородов, 20–88% ароматических, 28–53% алкановых, 6–15% цикловых углеводородов.

Асфальтены, содержащиеся в топливах, повышают его вязкость и представляют собой смеси различных веществ. Они набухают и образуют коллоидную систему.

В низкомолекулярных предельных углеводородах асфальтены могут коагулировать и выпадать в осадок. Поэтому при разбавлении высоковязких топлив маловязкими (смешение) может произойти коагуляция диспергированных карбондов и асфальтенов и осаждение их на днище емкостей либо в барабане сепаратора.

Вода может находиться в топливе в растворенном виде, в свободном состоянии и в виде водотопливной эмульсии. Растворимость воды зависит от химического состава топлива. Наибольшая растворимость воды наблюдается в бензине, меньшая — в дизельном топливе и еще меньшая — в мазуте. Растворимость повышается с повышением температуры. Свободная вода находится обычно на дне резервуаров. В легких маловязких топливах вода быстро оседает на дно. В более тяжелых высоковязких топливах вода может образовывать водотопливные эмульсии, которые не разлагаются под действием температуры и сил гравитации. Устойчивость эмульсий повышается с увеличением содержания в топливе смолистых и высокомолекулярных соединений, а также сернистых соединений.

Топливные эмульсии — это грубодисперсные системы с размером частиц 1–100 мкм и более. Веществами, склонными к образованию эмульсий, являются высокомолекулярные соединения в коллоидном состоянии. Такие вещества способствуют образованию на поверхности глобул воды упругой оболочки, обладающей прочностью и структурной вязкостью. Эти оболочки увеличивают диаметр капель воды, снижая скорость отстаивания и эффективность сепарирования, и препятствуют слианию капель воды при их столкновении.

Органические и неорганические загрязнения присутствуют в топливе в виде механических примесей. Химический состав неорганических загрязнений — окислы кремния (кремнезем), алюминия (глинозем), железа и цинка. В состав органических соединений входят углерод, водород, кислород, сера, азот.

Микроанализ загрязнений топлива показывает, что размеры частиц примесей колеблются от 1 до 200 мкм. Наибольшее количество частиц имеет размер 4—5 мкм.

Масла и рабочие жидкости. Основными загрязнителями масел и рабочих жидкостей являются вещества органического и неорганического происхождения и вода с растворенными в ней примесями.

Состав загрязнений характеризуется высоким содержанием органических веществ, которые образуются при окислении масел. Основным продуктом на первой стадии окисления (масел и рабочих жидкостей) являются высокомолекулярные карбеновые кислоты (перекиси), которые способствуют образованию смол, асфальтенов, карбенов и карбонидов.

Смолы — текущие полужидкие вещества темно-желтого или коричневого цвета, которые образуют в маслах истинный раствор и придают им темную окраску. Смолы хорошо растворимы в петролейном эфире и в самой жидкости.

Асфальтены — твердые вещества темно-бурого или черного цвета, образуют в маслах и рабочих жидкостях коллоидный раствор и придают им темную окраску. Асфальтены растворимы в нефтяных смолах, бензоле и хлороформе.

Карбены и карбониды — внешне отличаются от асфальтенов более темной окраской. Карбены растворимы в сероуглероде, карбониды нерастворимы ни в каких растворителях.

Состав неорганических загрязнений разнообразен. В неорганической части загрязнений масла может содержаться железо, кремний, алюминий, кальций, ванадий, натрий и другие компоненты. Загрязнения могут вызвать закупоривание фильтров (необразивший осадок), коррозию деталей, абразивный износ и т. д.

Вода в маслах и рабочих жидкостях (как и в других нефтепродуктах) может находиться в растворенном и свободном состояниях, а также в составе эмульсий. Растворимость воды зависит от химического состава масел и рабочих жидкостей и внешних условий. Вода в маслах и рабочих жидкостях растворяется слабо. С повышением температуры растворимость воды значительно увеличивается. Свободная вода обычно находится на дне резервуара и является источником образования водомасляной эмульсии. Она обуславливает также полное насыщение масел и рабочих жидкостей растворимой водой. Устойчивость эмульсии возрастает в присутствии смолистых и высокомолекулярных веществ, а также сернистых, азотистых и кислородных соединений. Кроме того, на стабильность эмульсии оказывают влияние размеры капель, температура, вязкость масел и т. д.

Вода. Классификация примесей, находящихся в воде, основана на их физико-химических характеристиках: фазовом состоянии и дисперсности. Примеси разделены на четыре группы. Примеси первой и второй групп (кроме высокомолекулярных соединений) образуют устойчивые гетерогенные системы, а примеси третьей и четвертой групп — термодинамически равновесные и обратимые гомогенные системы.

Группа первая — нерастворимые в воде взвеси, которые кинетически неустойчивы и удерживаются во взвешенном состоянии силами водного потока. В состоянии покоя взвеси осаждаются. К этой группе относятся также бактерии и планктон. Размер частиц более 0,1 мкм.

Группа вторая — гидрофильные (смачиваемые водой) и гидрофобные (не смачиваемые водой) минеральные и органо-минеральные коллоидные частицы почв и грунтов, нерастворимые и недиссоциированные гумусовые вещества. К этой группе относятся также вирусы и другие микроорганизмы. Размер частиц 0,1—0,01 мкм.

Группа третья — молекулярно растворенные соединения — газы, органические вещества (например, биологического происхождения). Размер частиц 0,01—0,001 мкм.

Группа четвертая — электролиты, т. е. вещества с ионной или сильно-полярной связью, которые под влиянием полярных молекул воды распадаются на ионы. Размер частиц менее 0,001 мкм.

Фазово-дисперсное состояние примесей воды с учетом их химической природы обуславливает поведение этих веществ в процессе водообработки, а также то, что каждому фазово-дисперсному состоянию примесей соответствуют оптимальные методы кондиционирования воды.

При микроскопическом исследовании проб судовой воды легко обнаружить микрочастицы примесей. Обычно они полидисперсны и имеют неправильную геометрическую форму. Вследствие спонтанных процессов коагуляции и гетерокоагуляции отдельные частицы могут соединяться между собой в пространственные агрегаты, насчитывающие несколько десятков и даже сотен частиц. Частицы размером менее 1 мкм осаждаются очень медленно, под микроскопом хорошо видно их броуновское движение.

От 60 до 70% всех частиц в пробе имеют размеры 0,2–1 мкм и образуют устойчивую коллоидную систему. Частицы размером 1–10 мкм составляют 20–25% от общего количества частиц в пробе,

частицы размером 10–15 мкм – 1–5%, агрегаты размером 50–80 мкм являются единичными. Минимальный размер частиц, определенный по электронным микрофотографиям, 0,018 мкм.

Относительная доля агрегатированных частиц выше в пробах воды с большим сроком хранения (рис. 3.1), что объясняется нарастанием со временем массы взвешенных веществ и последующей коагуляцией частиц. Бактерии присутствуют в воде в форме палочек и кокков.

Вследствие поверхностной ионизации или адсорбции ионов частицы примесей в воде окружены двойным электрическим слоем, что обуславливает их электрическую заряженность. Заряд частиц характеризуется электрокинетическим потенциалом (ζ -потенциалом), значения которого лежат в пределах 28–70 мВ.

Частицы имеют в воде поверхностный заряд преимущественно отрицательного знака (табл. 3.6). Данные таблицы свидетельствуют о том, что вода загрязнена в основном частицами, имеющими размер менее 1 мкм, которые образуют агрегатно-устойчивую коллоидную систему.

Отделение частиц от воды с целью ее очистки возможно либо путем предварительного укрупнения и последующего фильтрования через макрофильтр, либо непосредственным фильтрованием через микрофильтрационные перегородки.

Сточная и хозяйственно-бытовая вода. Физико-химический состав загрязнений сточной и хозяйственно-бытовой воды довольно сложен и включает в себя минеральные, органические и биологические загрязнения, находящиеся в стоках в раст-

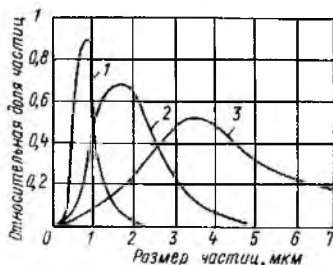


Рис. 3.1. Дифференциальные кривые распределения по размерам частиц дисперсной фазы в зависимости от срока хранения воды в цистерне морского судна.

Таблица 3.6

Некоторые характеристики частиц антикоррозионных покрытий, присутствующих в судовой воде

Антикоррозионное покрытие	Размер частиц, мкм	Статистически вероятный размер частиц, мкм	ζ -потенциал, мВ
Эмаль:			
ХС-76	0,11–7,4	0,46	–14,4
ХС-769П	0,19–17,6	0,98	–18,9
ЭП-755	0,07–8,8	0,29	–16,7
„Гелитанк”	0,21–14,4	1,4	–13
Краска:			
ЭКЖС-40	0,072–12	0,33	–20,2
КО-2	0,22–39,7	0,87	–24,1
Грунт ВЛ-03	0,094–4,4	0,51	–18,7

воренном, коллоидном и взвешенном состоянии. Кроме того, содержатся также крупнофракционные загрязнения, такие как бумага, вата, волокнистые вещества и т. п.

Минеральные загрязнения состоят в основном из солей, кислот, щелочей, растворенных газов, нерастворимых частиц, минеральных загрязнений.

Органические загрязнения состоят из веществ растительного и животного происхождения. К растительным загрязнениям относятся остатки непереваренных растений, плодов, бумага, растительные масла. Загрязнения животного происхождения включают в себя физиологические выделения, остатки мышечных тканей людей и животных, слизистые вещества и биологические загрязнения, состоящие из различных микроорганизмов, дрожжевых и плесневых грибов, бактерий, в том числе болезнетворных (возбудителей брюшного тифа и паратифа, дизентерии, холеры и ряда других).

Кроме того, в сточных водах содержатся поверхностно-активные вещества (стиральные порошки и мыла), минеральные масла, дезинфицирующие вещества, используемые при уборке помещений, а также вещества, попадающие из заборной воды, количество и состав которых зависят от местонахождения судна. Состав загрязнений, попадающих из заборной воды, включает в себя минеральные и органические загрязнения микрофлорой и микрофауной заборной воды.

Учитывая замкнутость судовых систем, исключающих попадание в них различных производственных стоков и относительно небольшую протяженность судовых сточных магистралей, можно с достаточной достоверностью считать, что химический состав загрязнений в сточных водах соответствует составу веществ, выделяемых организмом человека.

В сточных водах содержится следующее количество органических и минеральных веществ [г/(чел. сут)]:

органические вещества: мочевины—30; мочевая кислота—0,7; креатинин—1,5; гипуровая кислота—0,7; бактерии—14; детрит—13; мышечные волокна—2; жир—0,75; мыла—0,7; старкобилин—0,4; амилаза—0,1; аминокислоты— $1,9 \cdot 10^{-2}$; органические кислоты— $1,5 \cdot 10^{-2}$; летучие жирные кислоты— $8 \cdot 10^{-3}$; ферменты (трипсин, липаза)— $5 \cdot 10^{-3}$; белок— $2 \cdot 10^{-3}$; остальные органические вещества—2,1.

минеральные вещества: хлориды—1,5; сульфаты—2,5; натриевые соли—7,9; фосфаты—2,5; калиевые соли—3,3; аммонийные соли—0,7; кальциевые соли—0,8; магниевые соли—0,8; аммиак— $3 \cdot 10^{-3}$; известковые соли—0,2—0,3; вода—1500—2000.

Бактериальная загрязненность судовых сточных вод составляет не менее 10^6 — 10^7 шт. бактерий на 1 л. Бактерии, в свою очередь, состоят из 85% воды и 15% сухих веществ, в состав которых входят 75% белка и 25% углеводов.

Кроме того, в сточных водах содержатся крупнодисперсные загрязнения (бумага, вата, волокнистые материалы) в количестве 0,12—0,15 г/л. Концентрация загрязнений в сточных водах определяется исходя из норм водопотребления, которые в свою очередь зависят от категории судна, района его эксплуатации, типа используемой сточно-фановой системы и конструкции санитарно-технических устройств.

Для морских судов при норме образующихся сточных вод 50 л/ч в сутки концентрация загрязнений в сточных водах составляет: минеральные вещества—0,675 г/л, органические вещества—0,8—1,4 г/л, биологические вещества (живые бактерии)— 10^5 — 10^6 шт/л.

Загрязнения в сточных водах находятся в растворенном, коллоидном и взвешенном состоянии.

Минеральные загрязнения растворимы на 85—95%, органические загрязнения растворимы на 30—40%. Нерастворимые минеральные, органические и биологические загрязнения находятся в стоках в коллоидном и взвешенном состоянии.

Состав загрязнений хозяйственно-бытовой воды неравномерен во времени и зависит, в первую очередь, от жизнедеятельности экипажа. При стирке в хозяйственно-бытовых водах резко возрастает концентрация поверхностно-активных и взвешенных веществ, при мойке посуды и приготовлении пищи увеличивается концентрация органических веществ растительного и животного происхождения, при мытье членов экипажа увеличивается загрязненность хозяйственно-бытовых вод минераль-

ными и биологически активными веществами. Характер загрязненности хозяйственно-бытовых вод обычно меняется несколько раз в пределах одних суток.

Концентрация загрязнений в хозяйственно-бытовых сточных водах колеблется от 0,100 до 0,400 г/л. Из них растворимые минеральные и органические загрязнения составляют 40–50%. Бактериальная загрязненность составляет 10^3 – 10^6 шт./л.

§ 3.3. Загрязненность жидкостей

Для различных жидкостей количественные значения величин, характеризующих загрязненность, изменяются в широких пределах.

Топливо. Размеры и количество частиц загрязнений в топливе могут колебаться в широких пределах. Анализ показывает, что уже на пути следования топлива от нефтеперегонного завода до судна происходит нарастание содержания механических примесей, количество которых может возрасти в 20 раз по сравнению с количеством, регламентируемым ГОСТом.

Размеры частиц механических примесей могут достигать 200 мкм. В бензине и дизельном топливе количество частиц механических примесей составляет 20 000–40 000 шт./мл, а в мазуте более 500 000 шт./мл.

Распределение количества твердых частиц в 1 см³ мазута следующее:

Размер частиц, мкм	Количество частиц, шт.
1–5	9800
5–20	2200
20–30	100

При очистке топлив тяжелых сортов, особенно при сепарировании, в барабане сепаратора выделяются не только вода и механические примеси, но также и смолистые вещества. В первую очередь осаждаются продукты полимеризации — карбены и карбоиды, находящиеся в грубо взвешенном состоянии. В меньшей степени выделяются асфальтены, находящиеся в коллоидном состоянии. Карбены, карбоиды и асфальтены адсорбируют смолы и высокомолекулярные циклические углеводороды, образующие оболочки на поверхности коллоидных частиц, и агрегируются в крупные агломераты. Поэтому в шлам при сепарировании выпадают смолистые вещества, количество которых увеличивается с ростом вязкости топлив. У моторных топлив ДТ количество смолистых веществ может составить до 0,5% от массы топлива, у флотских мазутов до 1%, у котельных мазутов до 5–7%. В результате происходит быстрое засорение барабана сепаратора, что приводит к необходимости его разгрузки.

Как правило, содержание воды в высоковязких топливах (в процентах по массе) больше, чем в маловязких. На судах обводнение топлива более чем на 3% считается „аварийным“. Особенно опасно обводнение морской водой, которая содержит составляющие, оказывающие вредное воздействие на детали двигателя.

В табл. 3.7 представлена загрязненность топлива различных марок. Пробы были взяты из емкостей нефтебаз и цистерн запаса различных судов. Из данных таблицы видно, что на нефтебазах содержание примесей меньше, чем в судовой топливной системе. Наибольшее количество примесей приходится на частицы размером 1–10 мкм.

Масла и рабочие жидкости. Отсутствие загрязнений в чистом масле (состояние поставки) устанавливает ГОСТ 6370–59.

В условиях эксплуатации органическая часть загрязнений в маслах и рабочих жидкостях составляет 83–97% от общего количества механических примесей, содержащихся в них. Основную массу загрязнений (85–90%) составляют частицы размером 1–10 мкм. Однако в процессе эксплуатации систем в маслах и рабочих жидкостях появляются отдельные частицы загрязнений (например, кварца, окислы, ржавчины) размером до 30 мкм и даже до 100 мкм. Дисперсный состав частиц определяется по ГОСТ 17602–72. В органической части загрязнений масла

Содержание примесей в топливах

Марка топлива	Место отбора пробы	Содержание примесей, % (по массе)			Содержание воды, %
		общих	органических	неорганических	
Мазут экспортный +10	Из емкостей нефтебаз	0,433 8— —0,493 7	0,401— —0,427 7	0,037— —0,066 0	0,119 2— —0,303 2
Мазут топочный 40		0,361 0— —3,052 0	0,345 9— —2,915 2	0,015 1— —0,136 8	0,064 9— —3,971
Мазут флотский Ф-12		0,165 8— —0,460 0	0,123 8— —0,433 9	0,026 1— —0,061 9	0,126 7— —0,480
Моторное топливо ДТ		0,091 3— —0,375 7	0,081 7— —0,312 7	0,015 6— —0,063 0	0,161 2— —0,662 5
Дизельное топливо		0,000 6— —0,009	0,000 5— —0,009	0,000 1— —0,001	0,001 3— —0,118
Моторное топливо	Из судовых цистерн запаса	0,092 5— —0,425	0,092 5— —0,398	0,027 0— —0,098	0,02—0,17
Дизельное топливо		0,002 3— —0,013 6	0,002 2— —0,013 6	0,000 1— —0,000 4	0,011—0,053

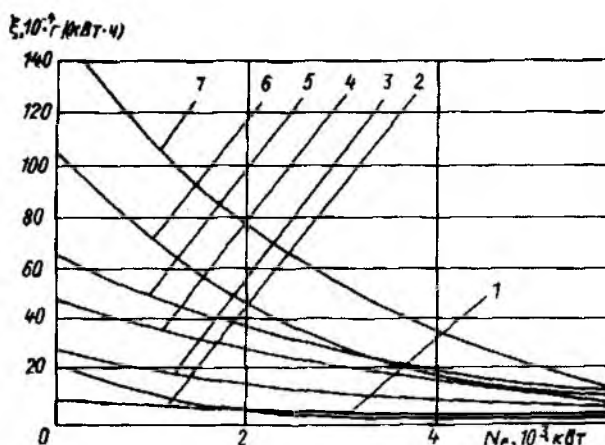


Рис. 3.2. Зависимость средней удельной интенсивности загрязнения циркуляционных масел ξ от мощности N_e различных типов судовых энергетических установок.

1 — паротурбинных; 2 — дизельных крейскопфных с поршнями, охлаждаемыми водой; 3 — дизельных крейскопфных с поршнями, охлаждаемыми маслом; 4 — дизельных тронковых без охлаждения поршней, работающих непосредственно на винт; 5 — дизельных тронковых с поршнями, охлаждаемыми маслом, непосредственно работающих на винт; 6 — дизельных тронковых без охлаждения поршней, работающих на винт через редуктор; 7 — дизельных тронковых с поршнями, охлаждаемыми маслом, работающих на винт через редуктор.

содержание соединения Fe достигает 10%, Si – 0,1%, Al – 3%, Ca – 3%, V – 0,05% и Na – 3%.

Зависимость средней удельной интенсивности загрязнения смазочных циркуляционных масел частицами примесей размером 3 мкм и более от мощности энергетической установки представлена на рис. 3.2. Как видно, при увеличении мощности двигателя от 400 до 4000 кВт интенсивность загрязнения смазочных циркуляционных масел снижается на 8–9%, а абсолютное увеличение количества загрязнений возрастает в 7–8 раз. Из этого же графика следует, что наибольшее количество примесей образуется в смазочных циркуляционных маслах дизелей тронкового типа.

Значения массовой концентрации загрязнений масел и рабочих жидкостей систем различных судовых энергетических установок, определенные методом центрифугирования, представлены в табл. 3.8.

Загрязнение жидкостей систем водоснабжения. На судах используют в основном две отдельные системы водоснабжения: для санитарно-технических устройств судна подается забортная вода, а для хозяйственно-бытовых целей – пресная из системы мытьевого водоснабжения. Для системы мытьевого водоснабжения воду получают

Таблица 3.8

Массовая концентрация загрязнений циркуляционных масел и рабочих жидкостей судовых энергетических установок

Тип судовой энергетической установки	Концентрация механических примесей, %		Содержание воды, %
	органических	неорганических	
Паротурбинная	0,004 8–0,092 7	0,005 8–0,062 0	0,001–0,808 6
Дизель крейцкопфный с поршнями, охлаждаемыми водой	0,01–0,182 6	0,002 5–0,163	0,012 5–0,24
Дизель крейцкопфный с поршнями, охлаждаемыми маслом	0,009 9–0,149 7	0,006 1–0,858	0,019 7–1,54
Дизель тронковый без охлаждения поршней, работающий непосредственно на винт	0,009 8–2,479	0,005 5–1,021	0,010 5–0,197
Дизель тронковый с поршнями, охлаждаемыми маслом, непосредственно работающий на винт	0,009 7–0,491 6	0,003 9–0,161	0,002 0–0,958
Дизель тронковый без охлаждения поршней, работающий на винт через редуктор	0,043 0–0,384	0,015–0,173 6	0,012 1–1,813 2
Дизель тронковый с поршнями, охлаждаемыми маслом, работающий на винт через редуктор	0,035 6–0,843 6	0,022 9–0,120	0,019 1–0,080 2
Гидросистема	0,004 2–0,047 6	0,005 0–0,044 9	0,022 1–0,092

двумя методами: используя пресную воду с берега или получая пресную воду из заботной морской воды (опреснение).

В случае использования для санитарно-технических целей заборной воды минеральный состав и концентрация загрязнений, содержащихся в смывной воде, колеблется в широких пределах.

Для воды систем мытьевого водоснабжения при получении пресной воды с берега содержание минеральных и взвешенных веществ регламентируется ГОСТ 2874-82.

Бактериологические показатели мытьевой воды должны отвечать тем же требованиям, что и показатели питьевой воды.

При использовании на судах для системы мытьевых вод опресненной воды минерализация воды значительно ниже и не превышает 40 мг/л. Так, в пресной воде, полученной в судовом опреснителе WV-14, концентрация ионов достигает следующих значений (мг/л): кальция - 1; магния - 0,6; натрия и калия - 4,4; хлориды - 6,95; гидрокарбонаты - 3,05; сульфаты - 2; общая минерализация - 18.

Дистиллят судовых опреснительных установок нередко содержит органические загрязнения.

Биологическая загрязненность дистиллята зависит от типа опреснителя. В высокотемпературных опреснителях (рабочая температура от 80°С и выше) обеспечивается постоянный эффект обеззараживания стоков, а для низкотемпературных (вакуумных) опреснителей превышение допустимого коли-индекса достигает 15% причем в ряде проб этот показатель может достигать 800.

§ 3.4. Показатели качества очищенных жидкостей

Качество очистки жидкости характеризуется рядом показателей. Эти показатели зависят от назначения жидкости.

Топливо. Требования, предъявляемые к топливу, обусловлены областью его применения. Удовлетворение этих требований для конкретных типов дизелей обеспечивается нормируемыми показателями качества топлива.

На судах применяют следующие сорта топлива: автомобильный бензин А72, А76 (ГОСТ 2084-77), дизельное топливо (ГОСТ 305-82), газотурбинное топливо (ГОСТ 10433-75), моторное топливо Дт, ДМ (ГОСТ 1667-68), мазут топочный 40, 100 (ГОСТ 10585-75).

К показателям качества топлива, определяющим степень эффективности его использования в соответствующих типах дизелей, относятся: цетановое число, вязкость, плотность, температура вспышки и застывания, содержание серы, воды и механических примесей.

В высоковязком топливе допускается сравнительно высокое содержание примесей; в топливе ДМ - 0,2%, в топочных мазутах 40 и 100 - соответственно до 0,8 и 1,5%.

Максимальный размер частиц механических примесей, остающихся в очищенном топливе, должен быть меньше зазора в прецизионных узлах трения плунжерного насоса. Для разных двигателей этот зазор колеблется в пределах 6-12 мкм.

Наличие воды в дизельном топливе не допускается. В моторном топливе ДТ допускается 1% воды, в газотурбинном топливе - до 0,5%, в мазутах флотских Ф-5 и Ф-12 - до 0,3%.

В высоковязком топливе допускается повышенное содержание воды: в топливе типа ДМ и топочных мазутах 40 и 100 - 1,5%.

В топливе, уходящем с завода, содержание примесей должно соответствовать требованиям ГОСТа. Однако, когда топливо прибывает на судно, то содержание механических примесей и воды в нем может резко возрасти. Поэтому для топлива на судах предусматривается система топливоподготовки.

Самым легким является топливо для карбюраторных двигателей - бензины, показатели которых представлены в табл. 3.9.

Основные показатели качества дизельного топлива представлены в табл. 3.10 и 3.11.

Топливо для средне- и малооборотных дизелей должно соответствовать ГОСТ 1667-68 (тяжелые сорта топлива). В отличие от легкого дизельного топлива,

Основные показатели качества бензинов (ГОСТ 2084-77)

Показатель	АИ98	АИ93	А76	А72
Октановое число, не менее:				
по моторному методу	89	85	76	72
по исследовательскому методу	98	93	Не нормируется	
Содержание тетраэтилсвинца, г, на 1 кг бензина, не более	0,5	0,5	0,24	—
Давление насыщенных паров, МПа, не выше	0,066 5	0,066 5	0,066 5	0,066 5
Кислотное число, мг КОН на 100 мл, не более	3	3	3	3
Содержание смол, мг на 100 мл, не более	7	7	10	10
Содержание механических примесей, %	—	—	—	—
Содержание серы, %, не более	0,1	0,1	0,1	0,12

тяжелые сорта топлива характеризуются более высокой вязкостью, плотностью, повышенным содержанием смолистых веществ (табл. 3.12).

Мазуты Ф-5 и Ф-12 также применяют в дизельных двигателях. Для использования в дизеле пригоден и топочный мазут 40. Основные показатели качества мазутов Ф-5, Ф-12 и 40 (ГОСТ 10585-75) представлены в табл. 3.13.

В судовых дизелях довольно широко применяют газотурбинное топливо, отличающееся небольшой вязкостью (2°ВУ при 50°C), но имеющее значительное содержание смолистых веществ. Это обстоятельство усложняет сепарирование такого топлива и вызывает трудности, связанные с утилизацией шлама. Основные показатели качества газотурбинного топлива приведены в табл. 3.14.

Таблица 3.10

Основные показатели качества дизельного топлива (ГОСТ 305-82)

Показатель	ДЛ	ДЗ	ДА	ДС	Высшая категория качества ДС
Цетановое число, не менее	45	45	45	50	52
Температура перегонки, $^\circ \text{C}$, не выше:					
первых 10% топлива	—	200	200	—	—
первых 50% топлива	290	280	255	280	280
первых 96% топлива	360	340	330	340	340
Вязкость кинематическая при 20°C , $\text{мм}^2/\text{с}$	3,5-6	3,5-6	1,5-4	4,5-8	4,5-8
Температура вспышки в закрытом тигле, $^\circ \text{C}$, не ниже	65	50	35	90	90
Содержание смол, мг на 100 мг топлива, не более	50	30	30	50	50
Содержание серы, %, не более	0,2	0,2	0,2	0,2	0,15

Таблица 3.11

Основные показатели качества топлива для быстроходных дизелей

Показатель	А	ЗС	З	Л
Цетановое число, не менее	45	45	45	45
Температура перегонки, °С не выше:				
50% топлива	240	280	250	280
96% топлива	330	340	340	360
Вязкость кинематическая при 20°С, мм ² /с	—	—	2,2–5	3,5–6
Кислотное число мг КОН на 100 мл, не более	5	5	5	5
Содержание серы, %, не более	0,2	0,2	0,2	0,2
Температура вспышки в закрытом тигле, °С, не ниже	—	—	40	61
Содержание смол, мг на 100 мл, не более	30	30	30	40

В табл. 3.15 приведены показатели качества дизельного топлива по спецификации США ASTM D975-68T.

Масла и рабочие жидкости. Главное назначение смазочных масел и рабочих жидкостей гидравлических систем – уменьшение трения в подшипниках и опорах, уменьшение или предотвращение износа трущихся поверхностей, охлаждение узлов трения и обеспечение работы гидроприводов и устройств. Требования к чистоте масел и рабочих жидкостей предусмотрены соответствующими государственными стандартами и техническими условиями.

Наибольшую опасность для трущихся поверхностей главных двигателей, механизмов и оборудования представляют частицы размером 5–12,5 мкм, так как зазоры в трущихся парах механизмов составляют 4–15 мкм, а толщина масляной пленки в этих узлах не превышает 4,5–9 мкм. Поэтому попадание между трущимися поверхностями с толщиной масляной пленки 4,5–9 мкм частиц размером более 5–

Таблица 3.12

Основные показатели качества топлива для средне- и малооборотных дизелей (ГОСТ 1667–68)

Показатель	ДТ	ДМ
Плотность при 20°С, г/см ³ , не более	0,93	0,97
Количество топлива, перегоняемое при температуре до 250°С, %, не более	15	10
Вязкость при 50°С:		
кинематическая, мм ² /с, не более	36	150
условная, °ВУ (Па·с), не более	5 (0,03)	20 (0,12)
Коксуемость, %, не более	3	10
Зольность, %, не более	0,04	0,15
Содержание серы в топливе, %, не более:		
малосернистом	0,5	—
сернистом	1,5	3
Содержание в топливе, %, не более:		
механических примесей	0,1	0,2
воды	1	1,5
Температура, °С:		
вспышки в закрытом тигле, не ниже	65	85
застывания, не выше	–5	10

Основные показатели качества мазутов (ГОСТ 10585-75)

Показатель	Ф5	Ф12	40
Вязкость условная, °ВУ (Па·с), не более:			
при 50°C	5 (0,03)	12 (0,072)	—
при 80°C	—	—	8 (0,05)
Удельная теплота сгорания, низшая в пересчете на сухое топливо, кДж/кг:			
для малосернистого и сернистого	41 300	41 300	40 500
для высокосернистого	—	40 000	—
Температура застывания, °С, не выше	-5	-8	10
Температура вспышки, °С, не ниже:			
в закрытом тигле	80	90	—
в открытом тигле	—	—	90
Общее содержание серы, %, не более	2	0,8	0,5 (малосернистое) 2 (сернистое) 3,5 (высокосернистое)
Содержание, %, не более:			
механических примесей	0,1	0,15	1
воды	1	1	2
смолистых веществ	50	50	—
зола	0,1	0,1	0,15

7 мкм может привести к задирам поверхностей подвижных и неподвижных деталей. Увеличение концентрации частиц примесей в маслах и рабочих жидкостях, также нежелательное явление. Вода, содержащаяся в маслах и рабочих жидкостях, вызывает коррозионный износ деталей механизмов и оборудования. Наличие воды в маслах и рабочих жидкостях снижает их качество и смазывающую способность.

Экономически целесообразна очистка жидкости от воды до ее следов, а механических примесей от частиц размером до 5 мкм (неорганических) и 7 мкм (органических).

В качестве смазочных масел и рабочих жидкостей для трущихся частей судовых энергетических установок и устройств применяют минеральные масла и жидкости,

Таблица 3.14

Топливо нефтяное для газотурбинных двигателей (ГОСТ 10433-75)

Показатель	Числовое значение
Вязкость условная при 50°C, °ВУ (Па·с), не более	2 (0,01)
Температура застывания, °С, не выше	5
Температура вспышки в закрытом тигле, °С, не ниже	65
Содержание, %, не более:	
серы	3
механических примесей	0,04
смолистых веществ	25
воды	Следы
зола	0,02
Плотность при 20°C, г/см ³ , не более	0,935

Показатель	1D	2D	4D
Цетановое число, не ниже	40	40	30
Температура перегонки 10% топлива, °C:			
не ниже	—	282	—
не выше	287	338	—
Коксуемость 10%-ного остатка, % не более	0,15	0,35	—
Зольность, %, не более	0,01	0,02	0,1
Температура вспышки в закрытом тигле, °C, не ниже	37,8	51,7	54,4
Содержание, %, не более:			
серы	0,5	0,5	2
воды и механических примесей	Следы	0,1	0,5

полученные в результате перегонки и последующей химической обработки нефти. Для улучшения свойств масел и рабочих жидкостей к ним добавляют различные присадки.

Масла, применяемые в судовых энергетических установках, можно разделить на масла для двигателей внутреннего сгорания (моторные), турбин и вспомогательных механизмов.

Из существующего ассортимента смазочных масел для судовых установок используют следующие: моторное (ГОСТ 6360-58), дизельные (ГОСТ 8581-78) и турбинные (ГОСТ 32-74), а также новые масла М10Г₂ ЦС и др.: показатели качества этих масел указаны в табл. 3.16 и 3.17.

В СССР действует ГОСТ 17216-71 „Классы чистоты жидкостей“, обязывающий указывать в технических требованиях соответствующий класс чистоты жидкостей, применяемых при эксплуатации, изготовлении и ремонте машин, механизмов и устройств. Всего установлено 19 классов чистоты жидкостей (табл. 3.18).

Масса загрязнений для классов 6-12 не является обязательным контрольным параметром. Для классов 13-17 число контролируемых размерных групп частиц сокращено, поэтому масса загрязнений — обязательный контрольный параметр. Классы 00-2 распространяются на особо точные приборы, классы 3-12 — на судовые гидравлические системы и классы 13-17 на механизмы и оборудование.

О качестве работающих смазочных масел и судовых энергетических установок можно судить по изменению их показателей. К таким показателям относятся: водорастворимые кислоты, вязкость, температура вспышки, щелочное число, диспергирующая способность (способность масла поддерживать углеродистые загрязняющие примеси в тонкой дисперсии), содержание нерастворимых в бензине загрязнений, содержание воды.

Предельные значения указанных показателей для масел в табл. 3.19 являются браковочными.

Котловая и питательная вода. Нормы качества питательной и котловой воды, указанные в инструкциях по эксплуатации или установленные по каждой серии судов в зависимости от параметров пара, способа водоподготовки и конструктивных особенностей котлов, определяют водный режим паровых котлов, который регулярно контролируют при помощи указывающих и регистрирующих приборов (солемеров, кислородомеров, pH-метров), а также путем периодических химических анализов средствами судовой лаборатории водоконтроля.

Способами достижения установленных норм качества питательной и котловой воды служат: докотловая обработка питательной и добавочной воды, обеспечение высокого качества и максимального возврата конденсата, внутрикотловая обработка воды, верхняя и нижняя продувка котлов.

Показатели качества турбинных и дизельных масел

Показатель	Масло турбинное (ГОСТ 32-74) марок				Масло дизельное (ГОСТ 8581-78) марки ДС-11 (МДОВ) с при- садкой	Масло вер- тенное АУ (ГОСТ 1642- -75)	Масло при- борное МВП (ГОСТ 1805-76)	Масло моторное (ГОСТ 6360-58) марки МТ-16П
	T22	T30	T46	T57				
Вязкость кинематическая, мм ² /с: при 20°C, не более	—	—	—	—	—	49	—	—
при 50°C	20-23	28-32	44-48	55-59	—	12-14	6,5-8	—
при 100°C	—	—	—	—	—	—	—	16-17,5
при 0°C, не более	—	—	—	—	2500	—	—	Не нормиру- ется
Кислотное число, мг КОН на 1 г масла, не более:								
без присадки	0,02	0,02	0,02	0,05	—	0,07	0,05	—
с присадкой	—	—	—	—	0,02	—	—	0,15
Содержание воды, %, не более	—	—	—	—	Следы	—	—	—
Температура вспышки в тигле, °C, не ниже:								
в закрытом	—	—	—	—	200	—	125	200
в открытом	180	180	195	195	—	163	—	—
Температура застывания, °C, не выше	-15	-10	-10	—	15	-45	-60	-25
Плотность при 20°C, г/см ³ , не более	Не нор- мирует- ся	Не нор- мирует- ся	Опреде- ление обя- зательно	Опреде- ление обя- зательно	0,905	0,886-0,896	0,900	0,895

Показатели качества моторных масел

Показатель	М10В ₂	М14ВЦ	М10Г ₂ ЦС	М10Д	М16Д	М16Е30	М16Е60
Вязкость кинематическая при 100°С, мм ² /с	11 ± 1	14 ± 0,5	11 ± 0,5	11 ± 0,5	16 ± 0,5	16 ± 1	16 ± 1
Щелочное число, мг КОН на 1 г масла, не менее	3,5	4	9	9	10	30	60
Зольность сульфатная масла с присадкой, %, не более	0,6	1,2	1,5	1,6	1,6	5	10
Содержание механических примесей в масле с присадкой, %, не более	0,025	0,015	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03
Содержание воды, %, не более	Следы	Следы	Следы	Следы	Следы	Следы	Следы
Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже	200	200	210	200	215	190	190
Температура застывания, °С, не выше	-15	-12	-12	-10	-15	-12	-12

Таблица 3.18

Классы чистоты жидкостей (ГОСТ 17216-71)

Класс чистоты	Количество частиц в 100 ± 0,5 см ³ пробы при размере частиц, мкм								Волокна	Масса загрязнений, % общей
	0,5-1	1-2	2-5	5-10	10-25	45-50	50-100	100-200		
00	800	400	32	8	4	1				
0	1600	800	63	16	8	2				
1		1600	125	32	16	3				
2			250	63	32	4	1			
3			500	125	63	8	2			
4				250	125	12	3			
5				500	250	25	4	1		
6				1 000	500	50	6	2	1	0,000 2
7				2 000	1 000	100	12	4	2	0,000 2
8				4 000	2 000	200	25	6	3	0,000 4
9				8 000	4 000	400	50	12	4	0,000 6
10				16 000	8 000	800	100	25	5	0,000 8
11				31 500	16 000	1 600	200	50	10	0,001 6
12				63 000	31 500	3 150	400	100	20	0,003 2
13					63 000	6 300	800	200	40	0,005
14					125 000	12 500	1 600	400	80	0,008
15						25 000	3 150	800	160	0,016
16						50 000	6 300	1 600	315	0,032
17							12 500	3150	630	0,063

Браковочные показатели циркуляционных масел судовых энергетических установок

Браковочный показатель	Значения для масел	
	без присадок	с моющими присадками
Водорастворимые кислоты	Реакция кислая	Не определяется
Вязкость кинематическая при 100°C, мм ² /с	Изменение вязкости от исходного значения $\pm 20\%$	Изменение вязкости от исходного значения $\pm 30\%$
Температура вспышки, °C, не ниже	170	170
Содержание воды, %, не выше	1	0,5
Щелочное число, мг КОН на 1 г, не ниже для масел группы:		
В	Не определяется	1
Д	—	3
Диспергирующая способность для масел групп В, Г, Д	Не определяется	Потеря диспергирующей способности
Содержание нерастворимых в бензине загрязнений, %, не выше	1	Не определяется

Питательная вода для паровых котлов должна содержать минимальное количество посторонних примесей (растворенных солей, газов, органических веществ, нефтепродуктов и нерастворимых взвешенных частиц).

Показатели качества воды, применяемой для впрыскивания при регулировании температуры перегретого пара, должны соответствовать данным, указанным в табл. 3.20 и табл. 3.21. К питательной воде добавляют дистиллят или химически обработанную воду. Показатели качества добавочной воды в месте ввода в питательную систему приведены в табл. 3.22.

Показатели качества котловой воды при водных режимах (см. табл. 3.20) водотрубных и утилизационных котлов должны соответствовать данным, приведенным в табл. 3.23.

Качество котловой воды огнетрубных и комбинированных котлов должно регулироваться по показателям общего солесодержания, содержания ионов хлора, щелочного числа и остаточной жесткости, а при фосфатно-нитратном режиме — также по показателям фосфатного и нитратного чисел (табл. 3.24). В случае отклонения качества котловой воды от установленных норм, оно должно корректироваться. Оперативными приемами регулирования качества котловой воды является изменение дозировки химических реагентов и продувка котла.

Экономически допустимая величина продувки котла составляет:

- для огнетрубных, комбинированных и водотрубных котлов, где в качестве добавочной применяется сырая вода, 5%;
- для водотрубных котлов, питающихся смесью конденсата с умягченной водой, 2%;
- для водотрубных котлов, питающихся смесью конденсата с дистиллятом, 0,5%.

Пресная бытовая вода. П и т ь е в а я в о д а должна приниматься на судно только из береговых коммунальных водопроводов, ее качество должно отвечать требованиям ГОСТ 2874—73. Показатели качества питьевой воды не должны превышать значений, приведенных в табл. 3.25.

М ы т ь е в а я в о д а, подаваемая из судовых цистерн и отсеков в баки, души, ванны и т. п., должна быть без неприятного запаха, ее коли-титр должен быть не менее 100. Хранение мытьевой воды допускается в емкостях второго дна. В качестве мытьевой воды может использоваться дистиллят, полученный в судовых водоопреснительных установках.

Предельные значения показателей качества питательной воды на входе в водотрубный и утилизационный котлы

Водный режим	Показатель	Давление пара за стопорным клапаном, МПа			
		до 1,6	1,6-3	3,1-6,4	6,5-8
Фосфатно-нитратный режим внутрикотловой обработки воды	Общее солесодержание по NaCl, мг/л	6	2	1	—
	Содержание ионов хлора, мг/л	3	0,60	0,10	—
	Общая жесткость, мкг-экв/л	20	5	2	—
	Общая щелочность, мкг-экв/л	10	10	10	—
	Содержание растворенного кислорода, мг/л	0,20	0,05	0,02	—
	Содержание масла и нефтепродуктов, мг/л	1	—	—	—
	Содержание железа, мг/л	Не нормируется	Не нормируется	0,10	—
	Содержание меди, мг/л	То же	То же	0,08	—
Докотловая обработка воды с помощью обессоливания питательной воды	Общее солесодержание по NaCl, мг/л	0,25	0,25	0,25	0,25
	Содержание ионов хлора, мг/л	0,02	0,02	0,02	0,02
	Содержание растворенного кислорода, мг/л	0,20	0,05	0,02	0,02
	Содержание масла и нефтепродуктов, мг/л	—	—	—	—
	Содержание железа, мг/л	0,05	0,05	0,05	0,05
	Содержание меди, мг/л	0,05	0,05	0,05	0,05
	Общее солесодержание по NaCl, мг/л	6	2	1	1
	Содержание ионов хлора, мг/л	3	0,60	0,10	0,10
Фосфатный режим внутрикотловой обработки воды	Общая жесткость, мкг-экв/л	20	5	2	2
	Общая щелочность, мкг-экв/л	10	10	10	10
	Содержание растворенного кислорода, мг/л	0,20	0,05	0,02	0,02
	Содержание масла и нефтепродуктов, мг/л	1	—	—	—
	Содержание железа, мг/л	Не нормируется	Не нормируется	0,10	0,05
	Содержание меди, мг/л	То же	То же	0,10	0,05
	Общее солесодержание по NaCl, мг/л	6	2	1	1
	Содержание ионов хлора, мг/л	3	0,6	0,1	0,1
Докотловая обработка воды с помощью натрий-катионирования питательной воды	Общая жесткость, мкг-экв/л	0,5	0,5	0,5	0,5
	Содержание растворенного кислорода, мг/л	0,20	0,05	0,02	0,02

Водный режим	Показатель	Давление пара за стопорным клапаном, МПа			
		до 1,6	1,6—3	3,1—6,4	6,5—8
Докотловая обработка воды с помощью натрий-катионирования питательной воды	Содержание масла и нефтепродуктов, мг/л	—	—	—	—
	Содержание железа, мг/л	0,05	0,05	0,05	0,05
	Содержание меди, мг/л	0,05	0,05	0,05	0,05

Примечание. Фосфатно-нитратный режим для котлов с давлением пара 6,5—8 МПа не рекомендуется.

Таблица 3.21

Предельные значения показателей качества питательной воды на входе в главный и вспомогательный огнетрубный и комбинированный котлы

Показатель	Тип котла	
	огнетрубный	комбинированный
Общая жесткость, мкг-экв/л	500	300
Содержание масла и нефтепродуктов, мг/л	3	3

Таблица 3.22

Предельные показатели качества добавочной воды на входе в водотрубный котел

Показатель	Давление пара за стопорным клапаном, МПа			
	до 1,6	1,6—3	3,1—6,4	6,5—8
Содержание ионов хлора, мг/л	2	2	0,3	0,05
Общая жесткость, мкг-экв/л	15	15	2	1
Общая щелочность, мкг-экв/л	10	10	10	10

Примечания. 1. Показатели качества добавочной воды огнетрубных котлов не нормируются. 2. Для комбинированных котлов общая жесткость добавочной воды должна быть не более 50 мкг-экв/л.

Минерализационный дистиллят может быть использован (после обеззараживания) в качестве питьевой воды. При минерализации получается вода хлоридно-сульфатно-карбонатного типа с общей соленостью 0,6—0,8 г/л, содержащая оптимальную концентрацию фтора. Для минерализации дистиллята используют наборы солей заводской расфасовки (табл. 3.26).

Показатели качества котловой воды в пароводяном коллекторе водотрубных и утилизационных котлов

Водный режим	Показатель	Давление пара за стопорным клапаном, МПа			
		до 1,6	1,6–3	3,1–6,4	6,5–8
Фосфатно-нитратный режим внутрикотловой обработки воды	Содержание ионов хлора, мг/л, не более	500	100	30	—
	Фосфатное число по PO_4^{3-} , мг/л	30–70	20–70	15–55	—
	Щелочное число по NaOH , мг/л, не более	100	60	40	—
	Нитратное число по NaNO_3 , мг/л	35–50% от щелочного числа	35–50% от щелочного числа	35–50% от щелочного числа	—
Фосфатный режим внутрикотловой обработки воды	Содержание ионов хлора, мг/л, не более	200	100	30	20
	Фосфатное число по PO_4^{3-} , мг/л	30–40	20–30	10–20	7–15
	Щелочное число по NaOH , мг/л, не более	40	25	10	8
Докотловая обработка воды с помощью обессоливания питательной воды	Общее солесодержание по NaCl , мг/л, не более	20	20	20	20
	Содержание ионов хлора, мг/л, не более	10	10	10	10
	Щелочное число по NaOH , мг/л, не более	4	4	4	4
Докотловая обработка воды с помощью натрий-катионирования питательной воды	Общее солесодержание по NaCl , мг/л, не более	350	170	50	30
	Содержание ионов хлора, мг/л, не более	200	100	30	20
	Общая жесткость, мкг-экв/л, не более	200	125	75	50
	Щелочное число по NaOH , мг/л, не более	4	4	4	4

Примечание. Фосфатно-нитратный режим для котлов с давлением пара 6,5–8 МПа не рекомендуется.

Таблица 3.24

Показатели качества котловой воды огнетрубных и комбинированных котлов

Показатель	Тип котла	
	огнетрубный	комбинированный
Общее солесодержание по NaCl , мг/л, не более	1300	3000
Содержание ионов хлора, мг/л, не более	8000	1200
Щелочное число по NaOH , мг/л	150–200	150–200
Фосфатное число по PO_4^{3-} , мг/л	10–30	10–30
Нитратное число по NaNO_3 , мг/л	75–100	75–100
Жесткость остаточная, мг-экв/л, не более	0,4	0,2

Таблица 3.25

Показатели качества питьевой воды (по ГОСТ 2874-82)

Группа показателей	Показатель	Числовое значение
Микробиологические	Число микроорганизмов в 1 мл, не более	100
	Число бактерий группы кишечных палочек в 1 л воды (коли-индекс), не более	3
Токсикологические	Алюминий остаточный, мг/л, не более	0,5
	Бериллий, мг/л, не более	0,0002
	Молибден, мг/л, не более	0,25
	Мышьяк, мг/л, не более	0,05
	Нитраты, мг/л, не более	45
	Полиакриламид остаточный, мг/л, не более	2
	Свинец, мг/л, не более	0,03
	Селен, мг/л, не более	0,001
	Стронций, мг/л, не более	7,0
	Фтор, мг/л, не более, для климатических районов:	
	I, II	1,5
	III	1,2
	IV	0,7
Органолептические	Запах при 20° С и при нагревании до 60° С, баллы, не более	2
	Вкус и привкус при 20° С, баллы, не более	2
	Цветность, градусы, не более	20
	Мутность по стандартной шкале, мг/л не более	1,5
Химические, влияющие на органолептические свойства воды	Водородный показатель pH	6-9
	Железо, мг/л, не более	0,3
	Жесткость общая, мг-экв/л, не более	7
	Марганец, мг/л, не более	0,1
	Медь, мг/л, не более	1
	Полифосфаты остаточные, мг/л, не более	3,5
	Сульфаты, мг/л, не более	500
	Сухой остаток, мг/л, не более	1000
	Хлориды, мг/л, не более	350
	Цинк, мг/л, не более	5

Таблица 3.26

Состав компонентов для минерализации дистиллята

Минерализующий компонент	Соль	Количество соли на 1 т дистиллята, г
I	Бисульфат натрия (NaHSO_4)	96
	Сульфат магния ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	81
II	Хлорид кальция ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	322
III	Бикарбонат натрия (NaHCO_3)	262,6
	Фторид натрия (NaF)	1,8

Таблица 3.27

Показатели качества питьевой воды, приготовленной методом обратноосмотического опреснения

Показатель		Числовое значение		
		мини-мальное	макси-мальное	оптималь-ное
Общее солесодержание, мг/л		100	1000	200–400
Содержание кальция, мг/л		30	140	—
Щелочность, мг-экв/л		0,5	6,5	—
Жесткость, мг-экв/л		1,5	7	—
Содержание, мг/л:				
натрия, не более		—	—	200
магния, не менее		—	—	5
бора, не более				0,5
брома, не более				0,2

Ионный состав минерализованного дистиллята следующий:

Ионы	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	Cl^-	HCO_3^-	SO_4^{2-}	F^-
Концентрация, мг/л	58	8	85	103	146	98	0,8

Водородный показатель pH минерализованного дистиллята должен составлять 6,8–7. Допускаемые колебания концентрации ионов в дистилляте могут составлять $\pm 15\%$. Бактериологические показатели минерализованного дистиллята должны соответствовать ГОСТ 2874–73.

Опресненная морская вода, приготовленная из морской путем электродиализного опреснения, может использоваться для технических и хозяйственно-бытовых нужд при условии раздельного питьевого и мытьевого водоснабжения, доочистки опресненной воды от органических загрязнителей для улучшения ее органолептических свойств и обязательного обеззараживания.

Опресненную методом электродиализа морскую воду (диализат) можно использовать в качестве дополнительного источника питьевой воды при условии разбавления ее природной пресной водой в соотношении 1 : 5 и более, которое обеспечивает необходимую коррекцию микро- и макроэлементного состава и делает ее потребление безопасным.

Применение неразведенной опресненной воды для питьевых целей разрешается только при условии использования эффективных методов и средств по удалению избыточного количества биологически активных элементов бора и брома (до уровня их предельно допустимых концентраций – соответственно 0,5 и 0,2 мг/л), а также после соответствующей очистки и обеззараживания воды.

Солесодержание диализата должно быть в пределах 100–1000 мг/л, а содержание кальция в нем составлять не менее 25 мг/л.

Показатели качества питьевой воды, приготовленной из морской методом обратноосмотического опреснения, должны соответствовать ГОСТ 2874–73 и, кроме того, данным, приведенным в табл. 3.27.

Нормы водопотребления. Для морских судов и судов внутреннего плавания нормы водопотребления различны. В зависимости от района плавания и времени его продолжительности морские транспортные суда подразделяют на четыре категории: I – суда неограниченного района плавания (включая заграничное, арктическое и антарктическое); II – суда ограниченного района плавания (с удалением от берега

до 100 морских миль), совершающие рейсы продолжительностью более 24 ч; III — суда, совершающие рейсы продолжительностью от 6 до 24 ч, а также суда технического флота; IV — суда, совершающие рейсы продолжительностью 6 ч и менее.

Для морских транспортных судов с учетом их категории определены нормы питьевой и мытьевой воды (л) на человека в сутки, так, на судах I, II, III и IV категорий расход питьевой воды должен составлять соответственно 40–80, 30–60, 20–40 и 10–20 л/сут на человека, а мытьевой воды соответственно 60–200, 40–150, 30–100 и 10–70 л/сут на человека.

В зависимости от района плавания, численности экипажа и длины судна промысловые суда подразделяют на четыре категории: I — суда неограниченного района плавания, длиной свыше 65 м независимо от численности экипажа; II — суда неограниченного района плавания, длиной 40–65 м при численности экипажа не более 40 чел.; III — суда ограниченного района плавания с удалением от берега или от обслуживающей плавучей базы до 200 миль, длиной 24–40 м при численности экипажа не более 24 чел.; IV — суда ограниченного района плавания с удалением от берега не более 100 миль, длиной 12–24 м при численности экипажа не более 15 чел., а также несамоходные суда.

Для промысловых судов с учетом их категории определены нормы питьевой и мытьевой воды (л) на человека в сутки, так, на судах I, II, III и IV категорий расход питьевой воды должен составлять соответственно 50, 40, 30 и 30, а мытьевой воды соответственно 100, 90, 40 и 40. На судах I категории эти нормы могут быть увеличены в два раза. На судах III и IV категорий норма мытьевой воды может быть снижена на 25%.

Нормы водопотребления для судов внутреннего плавания и скоростных зависят от продолжительности пребывания членов экипажа на борту. По этому принципу суда делят на три группы: I — суда с продолжительностью пребывания членов экипажа и пассажиров на борту свыше 16 ч; II — то же до 16 ч; III — то же до 8 ч.

Нормы потребления воды (л) на человека в сутки для судов внутреннего плавания следующие: для судов I, II и III групп питьевой воды приходится соответственно 40, 15 и 10, а мытьевой — 30 для судов I группы и 20 для судов II группы.

Норма расхода питьевой воды для скоростных судов II группы составляет 10 л/сут на человека, а для судов III группы — 7 л/сут на человека.

Нормы сброса нефтесодержащих и сточных вод. Мировой океан является важнейшим источником живых ресурсов для человека и имеет первостепенное значение для обеспечения жизни на Земле. Богатства Мирового океана, пока еще мало освоенные человеком, в будущем могут стать одним из основных источников получения продовольствия, энергии, различных материалов, в которых все более и более ощущается потребность из-за оскудения природных богатств Земли.

Море самым непосредственным образом влияет на климат Земли, участвует в круговороте воды и в процессах обмена веществ, происходящих в природе. Значение Мирового океана для жизни людей огромно. Вот почему в последние годы все чаще поднимается вопрос о защите морской среды от загрязнений, в том числе и о защите морей от загрязнений нефтью и нефтепродуктами.

Одним из источников загрязнения морей нефтью и нефтепродуктами являются суда, сбрасывающие свои нефтесодержащие воды в море. Полностью прекратить сброс с судов нефтесодержащих вод в настоящее время нереально, поэтому все актуальнее встает проблема об ограничении их сброса, о повышении требований к качеству очистки нефтесодержащих вод перед сбросом их в море.

Первой попыткой официального введения ограничений по сбросу нефти в море была международная Конвенция 1926 г., принятая в Вашингтоне. Однако, не получив необходимого числа ратификаций, конвенция в силу не вступила. Было осуществлено еще несколько попыток создания международных правил по упорядочению сброса нефтесодержащих вод с судов и, наконец, в 1954 г. в Лондоне была созвана международная конференция морских государств для выработки правил по предотвращению загрязнения моря нефтью. Разработанная на этой конференции международная Конвенция по предотвращению загрязнения моря нефтью 1954 г. вошла в силу в 1958 г.

Конвенция 1954 г. с поправками 1962 и 1969 гг. ввела целый ряд запретов и ограничений по сбросу нефти и нефтеводной смеси в море. Эти ограничения и

запрещения были еще более ужесточены международной Конвенцией по предотвращению загрязнения с судов 1973 г. Необходимость разработки новой конвенции была вызвана все более усиливающимися требованиями по защите морской среды от загрязнений не только нефтью и нефтепродуктами, но также хозяйственно-бытовыми отходами и другими веществами, перевозимыми на судах.

В 1973 г. в Лондоне состоялась международная конференция, которая приняла новую конвенцию. Конвенцией „Марпол 73” и дополнительными документами, принятыми в 1978 г., запрещается любой сброс с судов в море нефти или нефтесодержащей смеси. Исключение составляют случаи, когда одновременно соблюдаются следующие условия:

- 1) для нефтяных танкеров:
 - танкер находится за пределами особого района;
 - танкер находится на расстоянии более 50 морских миль от ближайшего берега;
 - танкер находится в пути;
 - мгновенная интенсивность сброса нефти не превышает 60 л на морскую милю;
 - общее количество сброшенной в море нефти с существующих танкеров не превышает 1/15 000 общего количества данного вида груза, из которого образовался остаток, а с новых танкеров — 1/30 000 общего количества груза, из которого образовался остаток;
 - на танкере действует система автоматического замера, регистрации и управления сбросом, обеспечивающая выполнение условий по мгновенной интенсивности и общему количеству сброса нефти;
 - на танкере имеются отстойные танки для отстоя нефтесодержащей смеси перед ее сливом;
- 2) для судов валовой вместимостью 400 рег. т и более, не являющихся нефтяными танкерами, а также для машинного отделения нефтяных танкеров:
 - судно находится за пределами особого района;
 - судно находится на расстоянии более 12 морских миль от ближайшего берега;
 - судно находится в пути;
 - содержание нефти в стоке составляет менее 100 млн.⁻¹;
 - на судне действует оборудование для сепарации нефтеводной смеси или система фильтрации нефти;
 - на судне валовой вместимостью 10 000 рег. т и более, а также на судне валовой вместимостью 400 рег. т и более, когда оно имеет на своем борту большое количество топлива, действует система автоматического замера, регистрации и управления сбросом.

Положения пункта 1 не распространяются на сброс чистого или изолированного балласта. К изолированному балласту относится балластная вода, принятая в танк, который полностью отделен от нефтяной грузовой и топливной систем и предназначен только для водяного балласта или груза, не являющегося нефтью или вредными веществами. Чистый балласт — нефтеводная смесь, образующаяся в судовом танке, очищенном от нефти таким образом, что сброс ее с неподвижного судна в чистую спокойную воду при ясной погоде не приводит к появлению видимых следов нефти на поверхности воды или на побережье. Если сброс чистого балласта контролируется системой автоматического замера, регистрации и управления сбросом нефти, то показания такой системы о том, что содержание нефти в сбрасываемом стоке не превышает 15 млн.⁻¹, является подтверждением чистоты балласта независимо от наличия видимых следов.

Положения пункта 2 не распространяются (за исключением особого района) на сброс нефтесодержащей смеси, содержание нефти в которой без разбавления не превышает 15 млн.⁻¹.

В конвенции „Марпол 73” отдельно выделены условия по сбросу нефтесодержащих вод с судов при плавании в особых районах. К особым районам отнесены моря: Средиземное, Балтийское, Черное, Красное и „Район заливов”. В этих морских районах запрещается любой сброс в море нефти или нефтесодержащей смеси с любого нефтяного танкера или любого судна валовой емкостью 400 рег. т и более, не являющегося нефтяным танкером. Такие суда в пределах особого района должны

сохранять на борту все нефтяные остатки и осадки, грязный балласт и промывочные воды. Для судна валовой вместимостью менее 400 рег. т, не являющегося нефтяным танкером, разрешен сброс нефтесодержащей воды, если содержание нефти в стоке не превышает 15 млн. или соблюдаются одновременно следующие условия:

- судно находится в пути;
- содержание нефти в стоке составляет менее 100 млн.^{-1} ;
- сброс производится как можно дальше, но в любом случае не ближе 12 морских миль от ближайшего берега.

В особом районе разрешен сброс чистого или изолированного балласта. За пределами особого района судно может сбрасывать накопившиеся из судне за время прохождения особого района нефтесодержащие воды в соответствии с изложенными выше положениями.

В соответствии с Приложением IV международной Конвенции 1973 г., касающегося правил предотвращения загрязнения сточными водами судов, сброс в море необработанных сточных вод запрещается. Исключения составляют следующие случаи:

1) судно сбрасывает измельченные и обеззараженные сточные воды на расстоянии более 4 морских миль от ближайшего берега, используя систему, одобренную Регистром СССР, или сбрасывает неизмельченные и необеззараженные сточные воды на расстоянии более 12 морских миль от ближайшего берега при условии, что в любом случае накопленные в сбросных танках сточные воды сбрасываются не мгновенно, а постепенно, когда судно находится в пути при скорости не менее 4 уз; интенсивность сброса должна быть одобрена Регистром СССР на основе нормативов, разработанных ИМО;

2) на судне действует установка для обработки сточных вод, которая освидетельствована Регистром СССР в том, что она соответствует эксплуатационным требованиям, и результаты испытаний установки подтверждены международным свидетельством о предотвращении загрязнения сточными водами;

3) судно находится в водах, находящихся под юрисдикцией какого-либо государства, и сбрасывает сточные воды в соответствии с менее строгими требованиями, которые могут быть установлены этим государством.

Если сточные воды смешаны с отходами или другими загрязненными водами, сброс которых запрещен или ограничен, то применяют более строгие требования.

Требования Конвенции 1973 г. распространяются на следующие суда:

- новые валовой вместимостью более 200 рег. т;
- новые валовой вместимостью не более 200 рег. т, на которых разрешается перевозка более 10 чел.;
- новые с неустановленной валовой вместимостью, на которых разрешается перевозка более 10 чел.;
- существующие валовой вместимостью более 200 рег. т через 10 лет после вступления в силу Приложения IV международной Конвенции 1973 г.;
- существующие валовой вместимостью менее 200 рег. т, на которых разрешается перевозка более 10 чел., через 10 лет после вступления в силу Приложения IV Конвенции 1973 г.;
- существующие с неустановленной валовой вместимостью, на которых разрешается перевозка более 10 чел. через 10 лет после вступления в силу Приложения IV Конвенции 1973 г.

Конвенция 1973 г. в то же время предусматривает исключения из правил, при которых сброс нефти, нефтесодержащих и сточных вод возможен. Эти исключения предусматривают сбросы:

- для обеспечения безопасности судна или спасения человеческой жизни на море;
- в результате повреждения судна или его оборудования;
- веществ, содержащих нефть, предназначенных для борьбы с особыми случаями загрязнения моря, чтобы свести к минимуму ущерб от загрязнения.

В разделах Конвенции 1973 г., касающихся предотвращения загрязнения моря нефтесодержащими и сточными водами, используют следующие термины:

— „нефть” — нефть в любом виде, включая сырую нефть, жидкое топливо, нефтесодержащие осадки и очищенные нефтепродукты;

— „нефтеводная смесь” — смесь с любым содержанием нефти;

— „нефтяное топливо” — любая нефть, используемая в качестве топлива для главных двигателей и вспомогательных механизмов судна, на котором такая нефть перевозится;

— „сточные воды” — стоки и прочие отходы из всех типов туалетов, писсуаров и унитазов; стоки из раковин, ванн и шпигатов, находящихся в медицинских помещениях (амбулаториях, лазаретах и т. п.); стоки из помещений, где содержатся живые животные; прочие стоки, если они смешаны с перечисленными выше стоками;

— „хозяйственно-бытовые воды” — стоки из раковин, ванн, душевых и шпигатов, расположенных в жилых помещениях судна, стоки камбуза.

Глава 4. ФИЛЬТРУЮЩИЕ ОЧИСТИТЕЛИ

§ 4.1. Нефтепродукты

Для очистки нефтепродуктов в судовых условиях широко используют фильтрующие очистители. В настоящее время для судовых нужд выпускается большое количество различных типов фильтров.

Типы фильтров. Очистка нефтепродуктов фильтрованием — это пропускание нефтепродуктов через сетки, зазоры между пластинами, проволочные стаканы, войлок, фетр или специальные пористые фильтровые элементы.

Основным показателем качества фильтра является обеспечиваемая им тонкость отсева, т. е. минимальный размер задерживаемых частиц загрязнения. По этому показателю все средства фильтрования нефтепродуктов делят на фильтры грубой очистки и фильтры тонкой очистки.

На рис. 4.1 приведена схема классификации фильтров. Фильтры для приема нефтепродуктов бывают проволочные и сетчатые. Такие фильтры защищают насос от попадания в него крупных частиц загрязнений и предохраняют его от поломки. Фильтр для приема нефтепродуктов рекомендуется устанавливать также и на заливной горловине бака, это, как правило, предохраняет бак от попадания в него крупных частиц загрязнений. Иногда фильтр для приема нефтепродуктов устанавливают на линии слива нефтепродуктов в бак для уменьшения пенообразования.

Фильтры грубой очистки надежно удерживают крупные частицы загрязнений размером до 250 мкм.

Фильтры грубой очистки бывают:

- щелевые, удерживающие частицы размером 70–100 мкм;
- проволочные, удерживающие частицы размером 40–250 мкм;
- с фильтрующими элементами из стеклоткани, удерживающие частицы размером 30–120 мкм;
- с фильтрующими элементами из металлических сеток, удерживающие частицы размером до 250 мкм.

Фильтры тонкой очистки удерживают крупные и мелкие частицы размером 16–20 мкм и менее.

В фильтрах тонкой очистки применяют:

- элементы из спекшейся металлической сетки, изготавливаемые путем наматывания и спекания бронзовых и стальных проволочных сеток, лучшие фильтры такого типа удерживают частицы размером 3 мкм;
- бумажные элементы, изготавливаемые в виде гофрированных цилиндров, удерживают частицы размером 10 мкм;
- элементы из различных тканей, удерживают частицы размером 10 мкм;
- элементы из высокосортного фетра, удерживают частицы размером 10 мкм;
- металлокерамические элементы, в зависимости от размера гранул исходного порошка обеспечивают тонкость очистки до 2,5 мкм и менее;
- элементы из керамики, изготавливаемые в виде цилиндров с толщиной стенок 3 мм, тонкость очистки достигает 2 мкм;

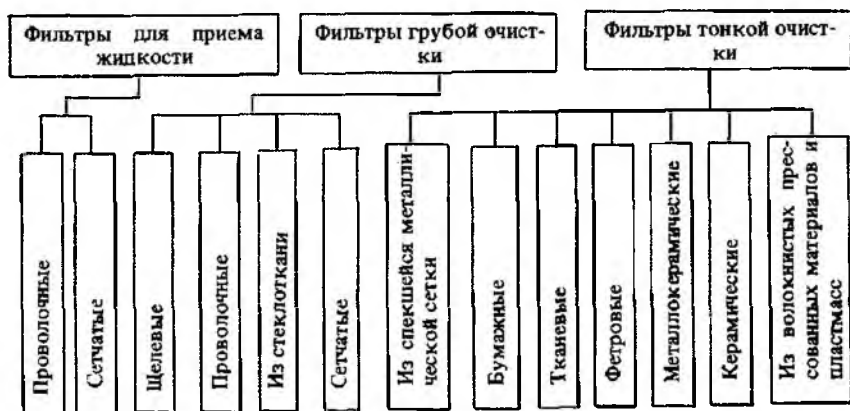


Рис. 4.1. Схема классификации фильтров для жидкостей.

— элементы из волокнистых прессованных материалов и пластмасс с высокопористой структурой, тонкость очистки достигает 1–2 мкм.

По способу удержания загрязняющих примесей и физическим характеристикам фильтрующего материала фильтры разделяют на поверхностные и объемные.

Поверхностные фильтры имеют тонкослойную фильтрующую перегородку и удерживают загрязняющие примеси на поверхности фильтрующих элементов. Такие фильтры при прохождении через них топлив, масел и рабочей жидкости удерживают в основном частицы загрязнений, которые по своим линейным размерам больше размера пор или щелей фильтрующего материала.

Объемные фильтры имеют толстостенную фильтрующую перегородку (до 25 мм), небольшую поверхность входа нефтепродуктов и удерживают загрязняющие примеси не только на своей поверхности, но и в толще фильтрующего материала. Объемные фильтры могут удерживать частицы загрязнений различных размеров, что обусловлено наличием в фильтрующей перегородке множества поровых каналов. Однако большая площадь внутренней поверхности пористого элемента объемных фильтров вызывает высокую адсорбционную активность этих фильтров к продуктам загрязнения, что ограничивает их применение для очистки масел с присадками.

По кратности использования фильтры подразделяют на сменяемые и несменяемые. Несменяемые фильтры не требуют замены фильтрующего элемента, необходимо лишь восстановить его исходные рабочие свойства тем или иным способом (очисткой, промывкой, прокаливанием и т. п.). Сменяемые фильтры допускают лишь однократное (до определенного срока) использование в судовой системе, после чего их следует заменить новыми.

Однако несменяемые фильтры, выполняемые обычно из металлов, более дорогие, чем сменяемые, нередко требуют больших затрат времени на восстановление и не всегда полностью восстанавливают свои первоначальные свойства. Поэтому выбор фильтров по кратности их использования должен подчиняться требованиям технической надежности и экономической целесообразности.

В табл. 4.1 приведены типы фильтрующих элементов и некоторые их характеристики.

Технологический расчет фильтра. Технологический расчет фильтра выполняется после выбора фильтрующего материала с целью определения потребной площади поверхности фильтрующего элемента, величины гидравлических потерь, эффективности фильтра и его прочностных характеристик.

Фильтрующий элемент должен служить определенный срок до его очистки или замены, при этом гидравлическое сопротивление фильтра должно оставаться в допустимых пределах. Эффективность фильтра должна быть такой, чтобы загрязненность очищаемых нефтепродуктов не превышала величины, определенной техническими требованиями.

Таблица 4.1

Фильтрующие элементы для очистки топлива, масла и рабочей жидкости

Фильтрующие элементы	Способ удержания загрязняющих примесей	Сменяемость в эксплуатации	Тонкость отсева, мкм
Щелевые (пластинчатые, проволочные)	Поверхностный	Несменяемый	50–120
Сетчатые	"	"	50–160
Тканевые	"	Частично-сменяемый	30–100
Керамические	Объемный	Несменяемый	20–50
Керамические и металлокерамические	"	"	2–50
Бумажные	Поверхностный	Сменяемый	1–30
Из толстого картона	Объемный	"	1–10
Из волокнистых и зернистых прессованных материалов (фетровые, войлочные, из хлопчатобумажной пряжи, минеральной ваты, древесной муки и др.) и пластмасс	"	Несменяемый	3–30
Из волокнистых прессованных материалов (фетровые, войлочные, из хлопчатобумажной пряжи и др.) и пластмасс	"	Сменяемый	10–50

В зависимости от назначения фильтра и места его установки выбирают фильтрующий материал, удерживающий твердые частицы заданных размеров. После выбора фильтрующего материала рассчитывается потребная площадь поверхности фильтровального элемента с учетом заданного срока службы его между очистками и заменами. Возможна также обратная постановка задачи – определение срока службы фильтрующего элемента, имеющего определенную площадь поверхности.

У фильтрующих материалов, имеющих одинаковую тонкость очистки и одинаковое в начальный момент сопротивление при фильтровании нефтепродукта с равными расходами, гидравлические характеристики со временем могут изменяться неодинаково. Поэтому преимущество имеют те фильтрующие материалы, которые более длительное время не изменяют своих характеристик или изменяют их незначительно.

Важным технологическим показателем является удельная поверхность фильтра, определяемая равенством $\bar{F} = F / V_{\text{мак}}$, где F – площадь поверхности фильтроэлемента; $V_{\text{мак}}$ – объем нефтепродукта, после прохождения которого через фильтроэлемент при перепаде давления 0,1 МПа, пропускная способность фильтроэлемента снижается до нуля.

Зависимость удельной поверхности фильтрующих материалов от концентрации загрязняющих примесей в очищаемых нефтепродуктах для некоторых фильтров приведена на рис. 4.2. Исходя из этой зависимости возможно для каждой конкретной системы очистки подсчитать максимальное число проходов объема нефтепродуктов через фильтроэлемент до полной закупорки его загрязняющими примесями

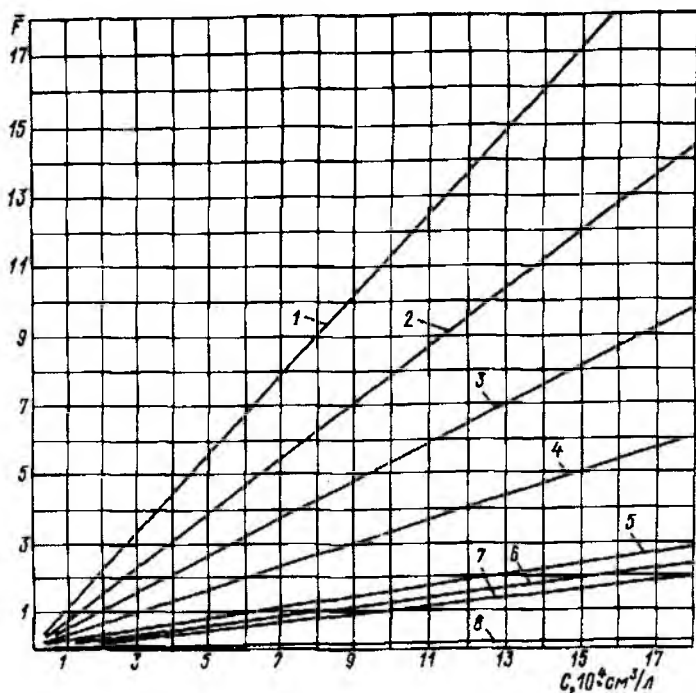


Рис. 4.2. Зависимость удельной поверхности фильтрующих материалов от концентрации загрязняющих примесей.

1 — металлокерамика ($d=6$ мкм); 2 — металлокерамика ($d=20$ мкм); 3 — сетка плюссная; 4 — бумага мелкопористая; 5 — бумага кремниеванная; 6 — бумага крупнопористая; 7 — картон; 8 — фетр.

(при перепаде давления 0,1 МПа), т. е. $n_{\max} = F/\bar{F}V$, где V — объем очищаемого нефтепродукта в системе.

Приведем порядок расчета площади поверхности фильтроэлемента по заданному сроку службы.

Находим объем очищаемого нефтепродукта с определенной концентрацией загрязняющих примесей, после прохождения которого через фильтр потеря давления достигает максимально допустимого значения $\Delta p_{\max}$, а пропускная способность фильтра снижается до нуля,

$$V \Delta p_{\max} = 60 QT, \quad (4.1)$$

где Q — расход очищаемого нефтепродукта через фильтр, л/мин; T — срок службы фильтроэлемента до его очистки или замены, ч.

Если фильтр находится в таком участке судовой системы, где он работает периодически (например, фильтры в системах гидравлики кранов), то срок службы фильтроэлемента устанавливается с учетом коэффициента периодичности работы системы, т. е. $Z = T_{\phi}/T$, где T_{ϕ} — фактический срок работы фильтра за время плавания судна; T — время плавания судна.

С учетом коэффициента периодичности выражение (4.1) примет вид: $V \Delta p_{\max} = 60 QTZ$.

Определяем максимальное число проходов всего объема нефтепродукта, после которых пропускная способность фильтроэлемента при максимально допустимом перепаде давления будет равна нулю, т. е. $n_{\max} = V \Delta p_{\max} / V$.

Вычисляем количество проходов нефтепродукта через фильтр при перепаде давления на фильтроэлементе 0,1 МПа, $n_{\max} = n_{\max} / \Delta p_{\max}$.

Площадь поверхности фильтроэлемента определяем по формуле $F = V \bar{F} n_{\max}$.

Определяем начальный перепад давления $\Delta p_n = q\mu/k$, где q — пропускная способность единицы поверхности фильтроэлемента; μ — динамическая вязкость очищаемого нефтепродукта; k — удельная пропускная способность единицы площади поверхности фильтроэлемента при единичном перепаде давления и вязкости.

Значения удельной пропускной способности, л/(мин · м²), наиболее часто употребляемых фильтрующих материалов приведены ниже:

Сетка проволоочная:

№ 1	11,24
№ 009	9,91
№ 0071	6,83
№ 006	6,06
№ 0045	2,27

Сетка проволоочная с размером ячейки 20 мкм 1,16

Фильтр проволоочный с размером фильтрующей щели, мкм:

76	0,17—0,20
80	0,105
33	0,5—0,006

Фетр авиационный 0,037

Бумага:

крупнопористая	0,035
крепированная	0,030

Сетка проволоочная плетеная с размером ячейки 15 X X 20 мкм 0,022

Металлокерамический стальной с диаметром гранул порошка, мкм:

600	0,018 2
400	0,017 2

Ткань „Филтросванбой“ 0,016

Бумага мелкопористая 0,015

Ткань нейлоновая 0,014

Металлокерамический стальной с диаметром гранул, мкм:

300	0,013 8
200	0,013 2

Ткань капроновая 0,013

Картон фильтровальный 0,012

Металлокерамический:

бронзовый с диаметром гранул 200 мкм	0,012
стальной с диаметром гранул 100 мкм	0,011 6

бронзовый с диаметром гранул, мкм:

150	0,010 5
70	0,009 3

стальной с диаметром гранул, мкм:

100	0,008 7
80	0,007 3

бронзовый с диаметром гранул 50 мкм 0,003 0

стальной с диаметром гранул 60 мкм 0,002 1

бронзовый с диаметром гранул, мкм:

30	0,001 7
20	0,001 4

стальной с диаметром гранул 25 мкм 0,001

бронзовый с диаметром гранул, мкм:

5	0,000 72
10	0,000 8

Бумага лабораторная быстросфильтрующая 0,000 65

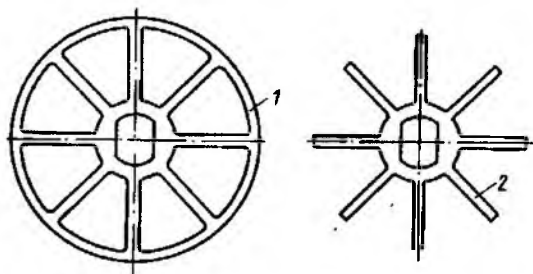
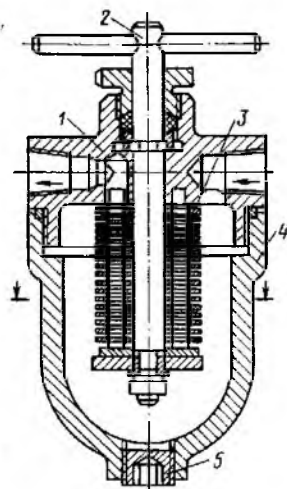


Рис. 4.3. Детали пластинчатых фильтров.

1 — стальной диск; 2 — крестовина.

Рис. 4.4. Пластинчатый фильтр.

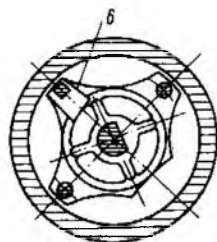
1 — головка; 2 — валик; 3 — пластина; 4 — стакан; 5 — сливная пробка; 6 — скребки.



Конструкции фильтров. Фильтры для очистки топлива, масла и рабочей жидкости состоят из металлического корпуса и фильтрующих элементов. Сменяемыми узлами фильтров являются только фильтрующие элементы.

Корпуса фильтров выполняют штампованными из стали или литыми из чугуна или алюминиевых сплавов. В последние годы наиболее широко применяют алюминиевые корпуса, что уменьшает массу конструкции.

В фильтрах, как правило, устанавливают перепускные клапаны, которые при значительном увеличении гидравлического сопротивления в фильтре (при его загрязнении или работе на особенно вязком нефтепродукте во время пуска холодного двигателя) перепускают масло в главную магистраль двигателя, минуя



Параметры проволочных сеток

Таблица 4.2

Номер сетки	Размер ячейки в свету, мм	Диаметр проволоки, мм	Число про- воло- к на 1 см	Число ячеек на 1 см ²	Коэффициент живого сечения, %
004	0,04	0,03	143	20 450	28
0045	0,045	0,035	125	15 000	29,8
005	0,05	0,035	118	13 900	31
006	0,06	0,04	100	10 000	36
0071	0,071	0,055	80	6 400	31,4
0085	0,085	0,065	66,6	4 430	32
01	0,1	0,07	58,8	3 460	34,6
015	0,15	0,1	40,8	1 670	36
018	0,18	0,13	32,3	1 040	33,8
020	0,20	0,13	30,3	918	36,7
025	0,25	0,13	26,4	694	43,3

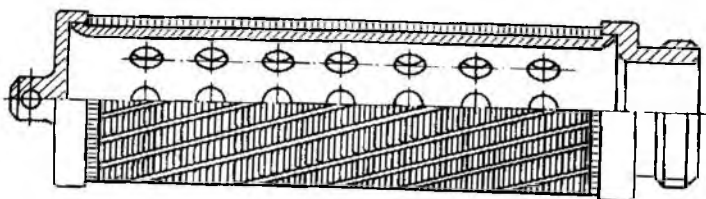
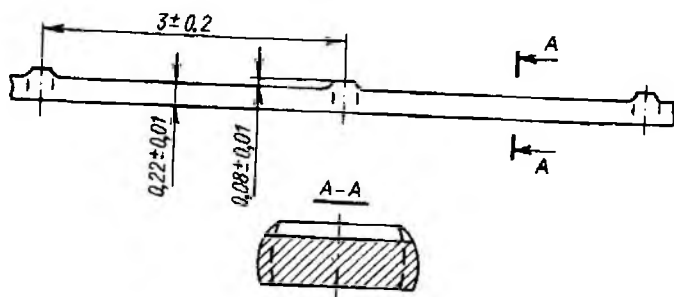


Рис. 4.5. Каркасно-проволочный фильтроэлемент.



4.6. Профиль проволоки для навивки каркасно-проволочного фильтроэлемента.

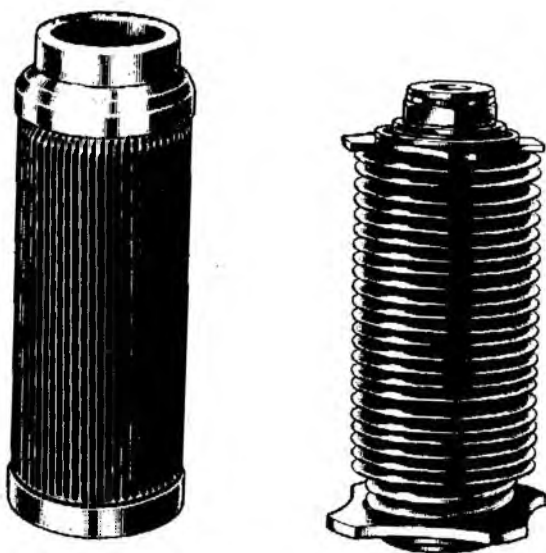


Рис. 4.7. Гофрированный сетчатый фильтроэлемент.

Рис. 4.8. Пакет фильтрующих дисков.

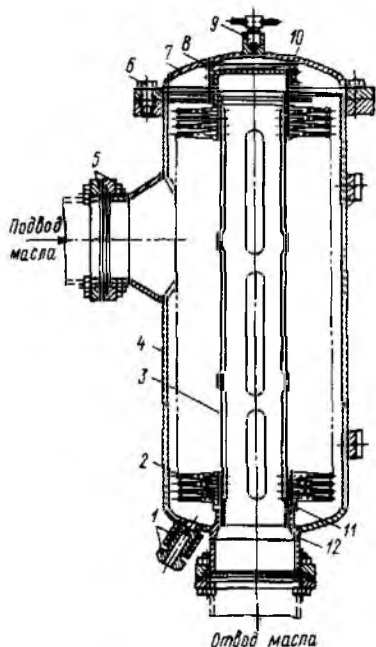


Рис. 4.9. Фильтр грубой очистки масла с сетчатым фильтрующим элементом дискового типа.

1 — пробка для спуска отстоя масла; 2 — фильтрующий элемент; 3 — центральная труба; 4 — корпус фильтра; 5 — фланцы; 6 — болт; 7 — крышка фильтра; 8 — пружины; 9 — игольчатый клапан; 10 — опоры пружины; 11 — шайба; 12 — патрубок.

фильтрующий элемент. Кроме того, в некоторых конструкциях используют обратные клапаны, препятствующие вытеканию очищенного нефтепродукта из корпуса фильтра и главной магистрали при остановке двигателя.

Для своевременной замены фильтров или их очистки применяют устройства, сигнализирующие в процессе эксплуатации о перепаде давления жидкости в фильтрах или открытии перепускного клапана.

Параметры и конструкция фильтров зависят, главным образом, от типа фильтрующей перегородки и вида применяемого фильтровального материала.

Ниже приводится описание наиболее распространенных конструкций фильтров.

Щелевые и сетчатые фильтры широко применяют для очистки нефтепродуктов. К щелевым относятся, в первую очередь, пластинчатые фильтры. Пластинчатый фильтр имеет фильтроэлемент, состоящий из набора стальных дисков с вырезами, между которыми проложены стальные крестовины (рис. 4.3), препятствующие плотному прилеганию дисков друг к другу. Типовая конструкция пластинчатого фильтра приведена на рис. 4.4. Пластины, крестовины и скребки фильтроэлементов изготовляют из стали.

К щелевым относятся также каркасно-проволочные фильтры. Конструкция каркасно-проволочного фильтроэлемента представлена на рис. 4.5. Профиль проволоки для навивки фильтроэлемента показан на рис. 4.6. Основные параметры проволочных сеток приведены в табл. 4.2.

Сетчатые фильтры имеют фильтроэлементы, изготовленные из металлических тканых сеток. Конструкция таких фильтроэлементов могут быть различными.

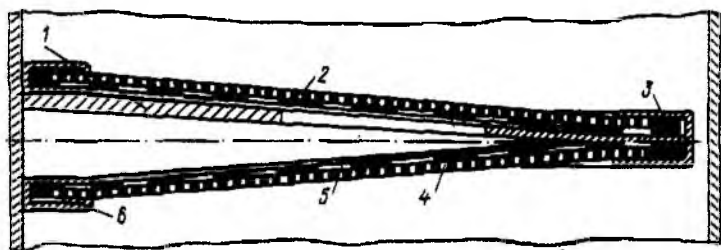


Рис. 4.10 Сетчатый фильтрующий элемент дискового типа.

1 — диафрагма; 2 — сетка верхняя фильтрующая; 3 — ободок наружный; 4 — сетка нижняя фильтрующая; 5 — сетка сборная; 6 — ободок внутренний.

Основные характеристики сеток и щелевых фильтрующих элементов

Фильтрующий элемент	Удельная пропускная способность, л/(мин·м ²)	Тонкость отсева, мкм
Сетка тканая с квадратной ячейкой:		
0,315	51,4	315
0,200	20,3	200
0,100	10,6	100
0,090	9,91	90
0,071	6,83	71
0,063	6,66	63
0,060	6,06	60
0,040	5,2	40
0,020	1,16	20
Сетка гладкая:		
10/100	15,4	220
14/100	10,3	186
16/130	7,7	163
20/160	5,8	124
24/240	1,53	72
Ленточно-щелевой фильтрующий элемент из проволочки:		
круглого сечения	8,5	100
трапециoidalного сечения	2,2	33
трапециoidalного сечения с гофрами	5,6	70

В частности, применяют гофрированные фильтроэлементы (рис. 4.7) и пакеты фильтрующих дисков (рис. 4.8).

Типовая конструкция сетчатого фильтра представлена на рис. 4.9. Сетчатый фильтрующий элемент дискового типа показан на рис. 4.10. Характеристики сеток и щелевых фильтрующих элементов приведены в табл. 4.3.

Картонные и бумажные фильтры наиболее широко применяют для тонкой очистки топлива, масла и рабочей жидкости (тонкость отсева 1–50 мкм).

Такие фильтры представляют собой пакеты, состоящие из набора чередующихся между собой картонных фильтрующих пластин и промежуточных фигурных пластин – прокладок из твердого картона, имеющих вырезы, образующие центральную полость собранного элемента. На рис. 4.11 приведена конструкция фильтрующего элемента ДАСФО-ЗФА.

На рис. 4.12 представлена конструкция фильтра с бумажными фильтроэлементами. Очищаемый нефтепродукт поступает через входной штуцер и отверстие в головке в полость 8. Через фильтроэлемент нефтепродукт поступает в полость 7 и далее в полость 9 выходного штуцера.

У объемных фильтров фильтроэлементы при значительной толщине фильтрующего материала имеют относительно небольшую площадь поверхности. К объемным фильтрующим материалам относятся фетр, войлок, металлокерамика и керамика.

Фетровые фильтроэлементы (рис. 4.13) изготавливают обычно в виде перфорированных цилиндров, обтянутых каркасной сеткой, на которую укладывают слои ткани и фетра. Конструкция фильтра с фетровым фильтроэлементом представлена на рис. 4.14.

К объемным фильтрам относятся также металлокерамические фильтры.

Керамические фильтроэлементы изготавливают в большинстве случаев в виде цилиндров (рис. 4.15), однако в отдельных случаях фильтроэлементы выполняют в виде набора пластин.

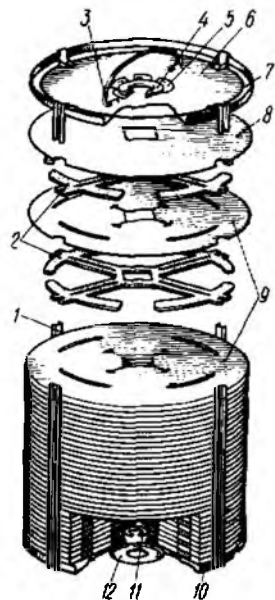


Рис. 4.11. Фильтрующий элемент ДАСФО-ЭФА.

1 — стяжка; 2 — промежуточные пластинки-прокладки; 3 — ручка; 4, 11 — сальники; 5, 12 — крышки сальников; 6 — верхняя крышка; 7 — запорное кольцо; 8 — пластинка; 9 — фильтрующие пластинки; 10 — нижняя крышка.

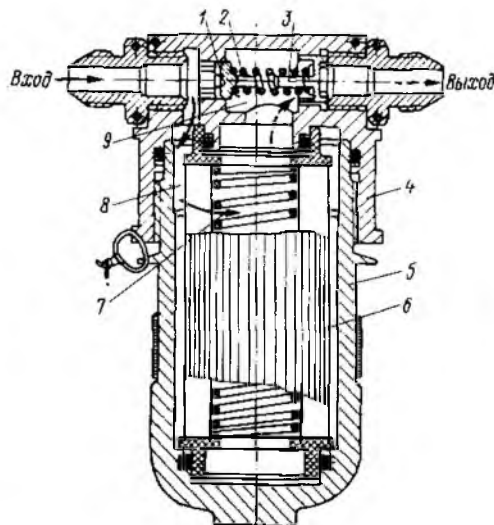


Рис. 4.12. Фильтр с бумажными фильтроэлементами.

1 — перепускной клапан; 2 — пружина; 3 — упор; 4 — головка; 5 — стакан; 6 — фильтроэлемент; 7-9 — полости.

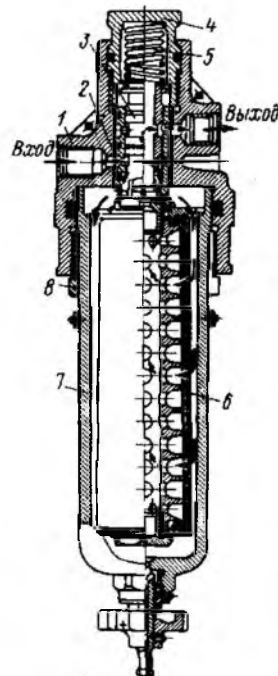


Рис. 4.13. Фетровый фильтроэлемент.

Рис. 4.14. Фильтр с фетровым фильтроэлементом.

1 — корпус; 2 — гильза; 3 — золотник; 4 — крышка; 5 — пружина; 6 — фильтроэлемент; 7 — стакан; 8 — гайка.

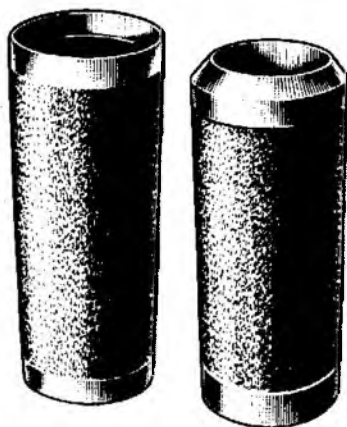


Рис. 4.15. Керамический фильтроэлемент.

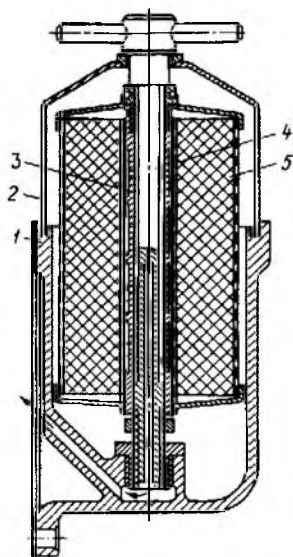


Рис. 4.16. Фильтр для тонкой очистки масла.

1 — корпус; 2 — колпак; 3 — трубка с отверстиями; 4 — центральный маслоотводный стержень; 5 — фильтрующий элемент.

Фильтры из прессованных волокнистых и зернистых материалов применяют для тонкой очистки топлив, масел и рабочих жидкостей. Фильтрующую перегородку объемных фильтров выполняют в виде набивки волокон и зернистых материалов (крахмала, смолы, фетра, войлока, толстого картона, бумажной и древесноволокнистой массы, ткани, хлопчатобумажной нити) без фиксации их склеивающими веществами. Типовая конструкция такого фильтра представлена на рис. 4.16.

Технические характеристики фильтров. Различные по принципу действия фильтры имеют единое назначение — очищать жидкости от загрязняющих примесей, не создавая при этом значительного сопротивления движению жидкости. Фильтр должен быть достаточно прочным, термостойким и долговечным. Эти требования обуславливают его основные технические характеристики, которые рассматриваются ниже.

Тонкость очистки характеризуется минимальными размерами частиц загрязняющих примесей, которые удерживаются фильтром. Тонкость очистки, обеспечиваемая фильтром, зависит от размеров поровых каналов фильтрующего материала. Для того чтобы определить тонкость очистки, необходимо сравнить гранулометрический состав загрязняющих примесей до фильтрования и после него.

Тонкость очистки оценивается коэффициентом фильтрования по формуле $\psi = (n_1 - n_2)/n_2$, где n_1 и n_2 — соответственно число частиц загрязнителя данного размера в пробе до фильтрования и после него. При этом изменение содержания в жидкости частиц определенных размеров до фильтрования и после него может быть графически представлено кривой, выражающей зависимость коэффициента фильтрования от размеров частиц: $\psi_i = f(\delta_i)$.

Кривые фильтрования для некоторых фильтрующих материалов приведены на рис. 4.17.

Зависимость перепада давления Δp от расхода жидкости через фильтроэлемент q называется гидравлической характеристикой фильтра: $q = k(\Delta p/\mu)$.

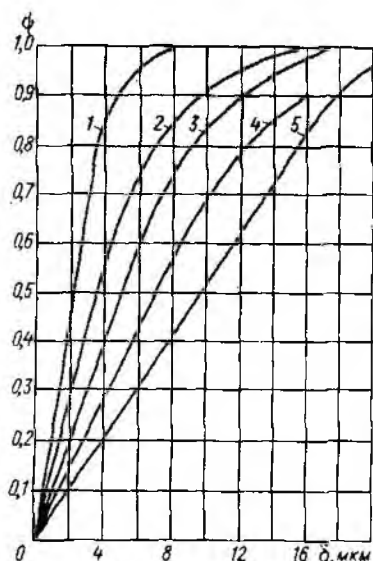


Рис. 4.17. Кривые фильтрования для некоторых фильтрующих материалов.

1 — металллокерамика ($d = 6$ мкм); 2 — бумага крепированная; 3 — металллокерамика ($d = 20$ мкм); 4 — бумага крупнопористая; 5 — фетр.

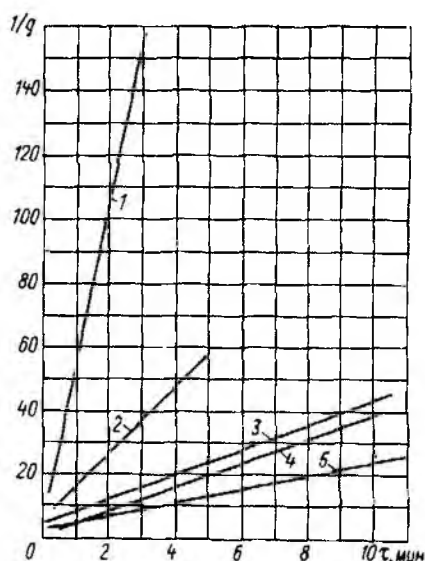


Рис. 4.18. График зависимости величины $1/q$ от времени τ .

1 — фетр; 2 — бумага крупнопористая; 3 — бумага мелкопористая; 4 — металллокерамика ($d = 20$ мкм); 5 — металллокерамика ($d = 6$ мкм).

Срок службы фильтра между очистками или заменой фильтрующих элементов определяется интенсивностью забивания пор фильтроэлемента частицами загрязнителя и снижением его пропускной способности. Если, например, фильтрование жидкостей происходит по промежуточному закону или закону, достаточно близкому к нему, так, как видно из рис. 4.18, эти зависимости представляют собой прямые линии в координатах $1/q - \tau$.

Срок службы фильтроэлемента можно определить по этим графикам. В этом случае должны быть заданы: объемная концентрация загрязняющих примесей в фильтруемой жидкости, %; динамическая вязкость фильтруемой жидкости, $\text{Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$; максимально допустимый перепад давления на фильтроэлементе, МПа ($\text{кгс}/\text{см}^2$); расход жидкости через фильтроэлемент, л/мин; площадь поверхности фильтроэлемента, см^2 .

Эксплуатация фильтров. В процессе эксплуатации поровые каналы фильтроэлемента забиваются мельчайшими частицами загрязняющих примесей, с течением времени пропускная способность фильтра падает, и, наконец, фильтр перестает пропускать жидкость.

Возрастание перепада давления на фильтре при загрязнении фильтроэлемента приводит к деформациям последнего и в случае чрезмерного возрастания перепада давления может привести к его разрушению. Установка перепускного клапана предохраняет фильтроэлемент от разрушения, но ведет к попаданию в систему нефильтрованной жидкости.

Из-за того, что фильтр создает довольно значительное гидравлическое сопротивление, устанавливать его следует на тех участках, где это сопротивление не будет оказывать заметного влияния на работу агрегатов системы.

На основе анализа конструкции современных систем выработаны определенные требования к размещению фильтров в системе. В частности, рекомендуется применять предохранительные сетки, устанавливаемые в линии всасывания

непосредственно перед насосом. Фильтры тонкой очистки следует устанавливать на входе в агрегаты и устройства, а в топливных, масляных и гидравлических системах применять исключительно последовательную схему включения фильтров. Загрязняющие примеси, осаждающиеся на поверхности фильтроэлемента и проникающие в его поры, должны удаляться по возможности полностью и наиболее простым способом.

Очистку фильтров желательно производить без демонтажа фильтроэлемента в короткий срок и без большого расхода регенерирующего агента.

Возможны следующие способы очистки фильтров:

- смывание загрязнений с поверхности фильтроэлемента потоком чистой жидкости, направленным по касательной к поверхности фильтрующего материала, с последующим обдувом фильтроэлемента сжатым воздухом;
- пропускание через фильтр жидкости или воздуха в направлении, противоположном направлению потока фильтруемой жидкости;
- пропускание через фильтр химических растворителей в направлении, противоположном направлению потока фильтруемой жидкости;
- прокаливание фильтроэлемента в струе горячего газа;
- очистка фильтроэлемента с помощью ультразвука.

Первые два способа, а также удаление осадка вибрационным способом могут быть рекомендованы лишь в случае сохранения фильтроэлементом его прочностных свойств и первоначальных размеров. Очистка бумажных фильтров нецелесообразна. Прокаливание в струе горячего газа применимо только для металлокерамических и керамических фильтроэлементов.

Применение химических растворителей для восстановления фильтроэлементов широко распространено. В качестве таких растворителей используют бензин, ацетон, спирт, четыреххлористый углерод и др. Для очистки металлокерамических и керамических фильтроэлементов можно использовать растворы различных кислот с последующей промывкой фильтроэлемента и нейтрализацией кислот.

Ультразвуковая очистка фильтроэлементов применяется обычно в сочетании с гидромеханической очисткой. Для большинства фильтроэлементов (исключая бумажные) ультразвуковая очистка весьма эффективна.

Данные о пропускной способности металлокерамического и бумажного фильтроэлементов, новых и регенерированных, приведены в табл. 4.4.

Автоматизированные фильтрующие установки. За последние годы за рубежом появились фильтрующие установки, призванные заменить в системе топливоподготовки центробежные сепараторы. Фильтрующие установки дают значительно меньшие потери топлива при очистке, легче автоматизируются и, согласно рекламным данным фирм-изготовителей, обеспечивают очистку топлив на уровне центробежного сепарирования. Освобождение обслуживающего персонала от тяжелого ручного труда, автоматизация процесса очистки, отсутствие быстровращающихся частей выгодно отличают фильтрующие установки от сепараторов и дают существенную экономию времени и средств. Себестоимость изготовления фильтрующих установок значительно ниже, чем центробежных сепараторов.

Таблица 4.4

Пропускная способность новых и регенерированных фильтров

Фильтр	Пропускная способность фильтра, % пропускной способности нового фильтра	
	металлокерамического	бумажного
Новый	100	100
После регенерации:		
первой	95	85
второй	89	65
третьей	84	50

Основные характеристики зарубежных фильтрующих установок

Тип фильтрующей установки	Фирма, страна	Производительность, м ³ /ч	Тип фильтрующего элемента, материал	Тонкость фильтрации, мкм	Способ очистки фильтроэлементов от загрязнений	Свойство фильтра по водоотделению
„Софранс Дуплекс 7036”	„Софранс” (Франция)	1,5—6	Сетчатый; металл	5—20	Рециркуляция обратным потоком фильтрата	Отделяет
„Винслоу”	„Винслоу” (Англия)	1,5	Объемный; пряжа, древесное волокно	5—10	Не очищается, по достижении предельного перепада давления фильтроэлементы заменяются	”
„Скаматик”: C ₁ C ₂ C ₃	СКАМ (Франция)	1,93 1,98 6	Проволочно-щелевой; бронза, нержавеющая сталь	5—30	Обратный поток, создаваемый лопастным насосом с приводом от гидромотора	Не отделяет
„Автоклин”	„Автоклин” (США)	1—50	Пластинчато-щелевой	40	Поворот очищающих пластин	Не отделяет
„Болл и Кирх”	„Болл и Кирх” (ФРГ)	0,5—1,5	Пластинчато-щелевой	10	Сжатый воздух продувает элемент	Отделяет
„Ниикура”	„Ниикура” (Япония)	2—2,5	Щелевой; сталь, литой чугун	20	Очистка сжатым воздухом	Не отделяет



Рис. 4.19. Фильтрующий элемент „Софранс”.

Известны два типа конструкций фильтрующих установок, принципы действия которых различны. К первому типу относятся установки, в которых осуществляется периодическая очистка фильтрующих элементов от загрязняющих примесей для восстановления первоначального перепада давления. Ко второму типу относятся фильтрующие установки, работающие до предельно допустимого перепада давления, после чего их фильтрующие элементы заменяют новыми.

В табл. 4.5 даны основные характеристики наиболее известных зарубежных фильтрующих установок. Некоторые из приведенных в таблице фильтрующих установок использованы в системах топливо- и маслоподготовки судов отечественного флота. К ним, в частности, относятся фильтры „Софранс”, „Скаматик”, „Болл и Кирх”, „Винслоу”. Элементы первых трех фильтров — поверхностного типа с автоматической очисткой элементов от загрязнений. Элементы фильтра „Винслоу” — объемного типа.

На рис. 4.19 представлен фильтрующий элемент, использованный в установке „Софранс” (Франция). Он представляет собой металлический линзообразный диск с двухслойной сетчатой поверхностью. Внутренняя сетка имеет размер ячеек около 50 мкм, наружная 5—20 мкм. Сетки завальцованы во внутренний и наружный ободки. Этот тип фильтрующего элемента широко используют в фильтрах различных конструкций, в том числе и в отечественных.

Элемент „Софранс” изготовлен из нержавеющей стальной проволоки диаметром 50—60 мкм, приспособленной для работы на сернистых тяжелых топливах. В процессе работы элементы „Софранс” регенерируются обратным потоком топлива. Количество элементов набирается в пакет в зависимости от производительности установки. Начальный перепад давления составляет 0,03 МПа.

Общий вид установки показан схематически на рис. 4.20. Пакет фильтрующих элементов 2 расположен горизонтально в цилиндрическом корпусе 1. В корпусе находится обтекатель (дефлектор), выполненный в виде полуцилиндра для

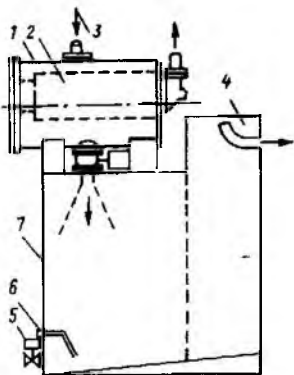


Рис. 4.20. Схема установки „Софранс”.

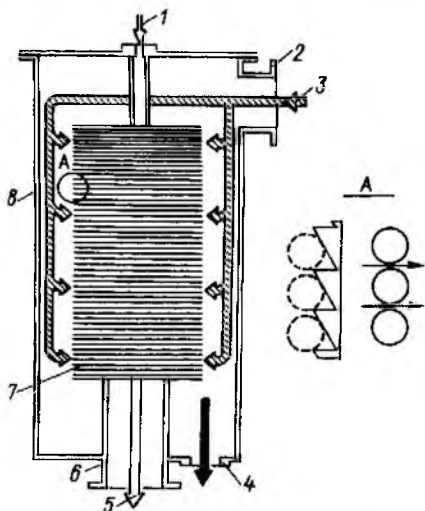


Рис. 4.21. Схема фильтра „Скаматик”.

исключения непосредственного контакта поступающего на очистку топлива 3 с фильтрующими элементами. Кроме того, обтекатель стабилизирует скорость топлива внутри корпуса. Корпус находится на отстойной цистерне 7, служащей одновременно фундаментом всего агрегата. В ней отстаивается вода и механические примеси.

Топливо, предназначенное к очистке, насосом подается через паровой подогреватель к одному из фильтрующих пакетов. При этом насос автоматически включается после достижения температуры внутри корпуса 40°C , обеспечиваемой предварительным включением электроподогревателей, расположенных внутри агрегата.

При фильтровании частицы механических примесей задерживаются на наружной поверхности фильтрующих элементов. При увеличении перепада давления до 0,042 МПа происходит автоматическое переключение потока топлива на второй фильтрующий пакет. Одновременно противотоком очищается первый фильтрующий пакет. Глобулы воды, находящиеся в топливе, благодаря незначительному перепаду давления, коагулирующему эффекту и малой скорости потока, накапливаются на поверхности фильтрующих элементов. Укрупнившиеся капли воды стекают по кромкам дисков и накапливаются в нижней части корпуса (отстойной цистерне). Там же расположен детектор воды 6, который дает импульс пневматическому дренажному клапану 5, и вода удаляется.

Из отстойной цистерны 7 отстоявшееся топливо поступает в переливную цистерну 4, откуда оно направляется в отстойную цистерну судовой системы топливоподготовки.

На рис. 4.21 представлен фильтр „Скаматик” (Франция), получивший наибольшее распространение. Он представляет собой проволочно-щелевой патрон, внутри которого находится устройство очистки загрязненного фильтрующего элемента. Очистительное устройство состоит из гидромотора и лопастного насоса.

Очищаемый нефтепродукт 3 проходит через входной патрубок 2 и поступает в корпус фильтра 8, внутри которого находится фильтрующий элемент 7. Нефтепродукт проходит через зазоры, образуемые навитой проволокой (вид А), и попадает внутрь фильтрующего патрона. Очищенное топливо (масло) 5 по патрубку 6 направляется к двигателю. Примеси, смытые с фильтрующей поверхности, удаляются через резьбовые пробки 4.

Очистка поверхности фильтра от примесей осуществляется следующим образом. На рис. 4.22 показан расположенный внутри фильтрующего элемента 1 лопастный насос 3, создающий обратный поток топлива 4. Насос приводится в движение с помощью гидромотора. Обратный поток создается при быстром сближении пластин А и В. Очистительное устройство работает непрерывно. В результате вся фильтрующая поверхность промывается обратным потоком топлива, который выходит через отверстия в корпусе фильтра 2. Через эти же отверстия очищенное топливо поступает внутрь фильтрующего патрона.

Корпус фильтра для работы на высоковязких топливах снабжен паровой рубашкой. Рабочее давление внутри корпуса 0,55 МПа. Перепад давлений 0,02 МПа.

Цикличность работы очистительного устройства обеспечивается золотником, предварительной регулировкой которого определяется время одного цикла очистки в зависимости от загрязненности нефтепродукта. Максимальная частота очистки — четыре раза в 1 мин, число импульсов насоса при этом достигает 80. Перепад давлений, обеспечивающий нормальную работу гидромотора, составляет 0,2 МПа. Рабочей жидкостью в этом случае служит само очищенное топливо (масло).

На рис. 4.23 представлен фильтрующий элемент „Винслоу” (Англия), изготовленный из прессованных хлопчатобумажных очесов и древесного волокна 2. Фильтр объемного типа. Плотность фильтрующей массы увеличивается от периферии к центру для равномерного распределения примесей по объему элемента и увеличения срока его службы. Элемент заключен в двойной „чулок”, пропитанный водоотталкивающим веществом 3. Внутри элемента находится перфорированная трубка для выхода очищенного топлива 1. По данным фирмы, фильтр практически может полностью отделить воду из очищаемых топлив и масел. Тонкость фильтрации составляет 5 мкм. Начальный перепад давлений 0,015–0,035 МПа, предельный 0,35 МПа. После достижения предельного перепада элемент заменяют новым.

Установка „Винслоу” состоит из нескольких элементов. Корпус фильтра представляет собой сварной короб, в который вставлены фильтрующие элементы

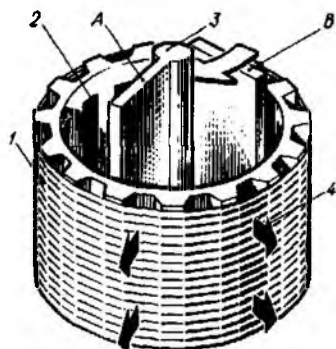


Рис. 4.22. Схема фильтрующего элемента „Скаматик”

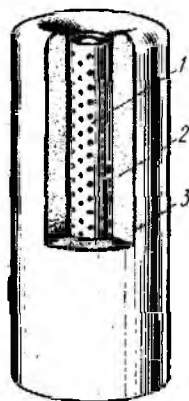


Рис. 4.23. Фильтрующий элемент „Винслоу”.

объемного типа, сидящие на перфорированных трубках, проходящих между верхней подвижной и нижней неподвижной трубными досками. Установка не требует ухода в процессе эксплуатации за исключением периодической замены элементов после достижения предельного перепада давлений 0,35 МПа, о котором сигнализирует аппаратура. При высокой вязкости топлива корпус фильтра снабжается паровым подогревом. При эксплуатации фильтра необходимо периодически слускать отстой в шламовую цистерну. По данным фирмы, срок службы фильтрующих элементов составляет не менее 3000 ч.

На рис. 4.24 представлена технологическая схема фильтрующей установки „Болл и Кирх” (ФРГ). Такие установки появились в системах топливоподготовки судов речного флота на ледоколах типа „Капитан Чечкин”. Установка полностью автоматизирована и включается в систему топливоподготовки последовательно после отстойной цистерны (на линии тяжелого топлива).

Установка работает при давлении топлива 0,3–0,5 МПа и температуре не более 90° С. Оба блока установки – для дизельного топлива 1 и тяжелого топлива 2 –

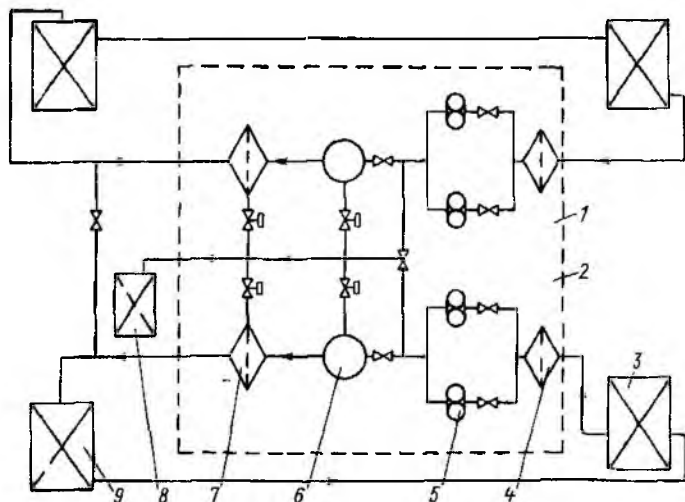


Рис. 4.24. Технологическая схема фильтрующей установки „Болл и Кирх”.

смонтированы на общем фундаменте. Каждый блок автономен, имеет свой пульт управления и контроля. Подогретое топливо из отстойной цистерны 3 через фильтр грубой очистки 4 насосом 5 подается в водоотделитель 6, из которого поступает в самоочищающееся фильтрующее устройство 7 и далее в расходную цистерну тяжелого топлива 9. Предусмотрена рециркуляция топлива из расходной цистерны в отстойную.

Водоотделитель 6 состоит из корпуса, внутри которого имеется дефлектор. Принцип его действия основан на отделении частиц воды под действием сил тяжести при небольшой скорости потока топлива. Вода по мере накопления автоматически удаляется в цистерну 8.

Самоочищающееся устройство 7 состоит из двух пар фильтров, механизма для автоматического переключения потока топлива с одной пары фильтров на другую и системы очистки фильтрующих элементов. Последние представляют собой полые цилиндры из стальной сетки, обеспечивающей отсеив твердых частиц с размерами более 10 мкм. Оставшаяся в топливе вода отделяется при помощи особых фильтрационных вкладышей за счет разницы в величине поверхностного натяжения топлива и воды.

Автоматическое переключение потока топлива на параллельно расположенную чистую пару элементов происходит при достижении перепада давлений на фильтро-элементах 0,06 МПа. В загрязненных фильтроэлементах создается противопоток воздуха под давлением 0,4–1 МПа, очищающий их от механических примесей и воды. Шлам поступает в цистерну 8.

Блок дизельного топлива 1 функционирует аналогично блоку тяжелого топлива 2.

§ 4.2. Охлаждающая и пресная бытовая вода

На судах для очистки воды применяют следующие типы фильтров: осветлительные, фильтры-дезодораторы, фильтры-минерализаторы, обеззараживающие, фильтры-стабилизаторы, фильтры заборной воды.

Осветлительные фильтры. Эти фильтры предназначены для очистки воды от взвешенных и коллоидно-дисперсных примесей. В процессе фильтрования на осветлительных фильтрах улучшаются показатели качества воды: мутность, цветность, прозрачность, окисляемость, содержание железа и т. д. По своему назначению эти фильтры делят на две группы: для грубого осветления и для тонкого осветления.

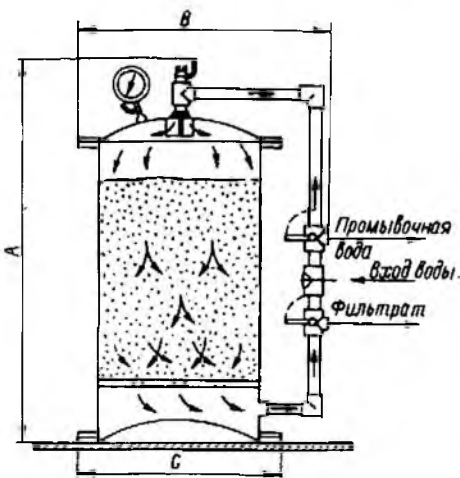


Рис. 4.25. Песчаный фильтр фирмы „Райнер“.

Расчет осветлительных фильтров с гранульной загрузкой (кварцевый песок, дробленый антрацит, вспененный полистирол и др.) сводится к определению и сравнению между собой продолжительности работы фильтра до достижения предельной потери напора T_n и продолжительности защитного действия фильтрующей загрузки t_3 , т. е. времени, в течение которого данная загрузка способна очищать воду до заданного уровня очистки.

Критерием оптимальности выбранного фильтрующего материала и параметров процесса является соотношение $t_3 > T_n$.

При фильтровании через керамические или металлокерамические фильтрующие элементы процесс очистки заключается в механическом задержании на поверхности или в глубине пор фильтра частиц примесей с большим размером, чем размер пор.

Проницаемость фильтрующего материала характеризуется количеством жидкости, прошедшей в единицу времени через единицу фильтрующей поверхности определенной толщины при заданном равномерном давлении. Проницаемость материала увеличивается при возрастании размера и числа открытых пор, уменьшении толщины фильтрующего слоя, повышении давления фильтрования и уменьшении вязкости фильтрующей среды.

Проницаемость фильтрующего элемента ($\text{м}^3/\text{мин}$)

$$Q_3 = \frac{p_{\text{ф}} B N_1 \pi d_m^2 t}{S \mu \beta \cdot 4} K,$$

где $p_{\text{ф}}$ — давление фильтрования, $\text{Н}/\text{м}^2$ ($\text{кгс}/\text{см}^2$); B — поверхность фильтра, м^2 ; N_1 — число открытых пор; d_m — средний диаметр пор, см ; t — время фильтрования, с ; S — толщина фильтрующего материала, м ; μ — вязкость среды, $\text{мм}^2/\text{с}$; β — коэффициент трения жидкости о стенки пор; K — константа.

Тонкость очистки фильтрующего элемента характеризуется наибольшим размером частиц, прошедших через него. Повышение тонкости очистки сопровождается снижением проницаемости фильтрующего элемента.

Устройство осветлительных фильтров с песчаной и комбинированной загрузкой показано на рис. 4.25 и 4.26, а их основные технические характеристики даны в табл. 4.6.

Осветлительный фильтр с плавающей загрузкой показан на рис. 4.27. Фильтр состоит из цилиндрического корпуса, заполненного плавающей загрузкой из вспененного полистирола, дренажного и водораспределительного устройств. Размер гранул полистирола 0,5–6 мм, плотность 0,4–0,7 $\text{г}/\text{см}^3$. При заполнении фильтра водой гранулы самопроизвольно фракционируются по высоте слоя загрузки: крупные гранулы всплывают вверх, мелкие — опускаются вниз, что обеспечивает при фильтровании равномерное заполнение загрузки частицами загрязнений и повышает грязеемкость фильтра.

Промывка фильтра производится противотоком исходной (загрязненной) воды. При этом „плавающий“ слой потоком промывной воды растягивается по высоте, гранулы загрузки интенсивно перемешиваются и освобождаются от загрязнений, которые выносятся из фильтра. Длительность промывки не превышает 2–3 мин, а пропускная способность фильтра восстанавливается на 100%.

Для повышения качества очистки исходная вода перед поступлением в фильтр обрабатывается в электрокоагуляторе.

Технические характеристики осветлительного фильтра следующие:

Производительность, $\text{м}^3/\text{ч}$	3
Высота фильтрующего слоя, м	1
Гидравлическое сопротивление чистого фильтра, МПа, не более	0,05
Габариты, мм:	
длина	534
ширина	610
высота	1548
Масса, кг	345

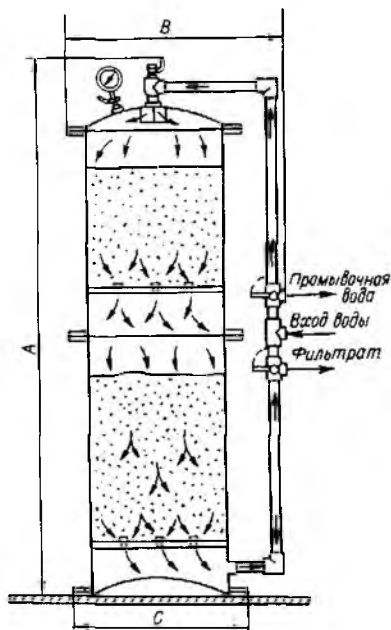


Рис. 4.26. Фильтр с комбинированной песчано-угольной загрузкой фирмы „Райнер“.

Таблица 4.6
Основные характеристики осветлительных фильтров фирмы „Райнер” (Англия)
(см. рис. 4.25 и 4.26)

Тип	Производи- тельность, $\text{м}^3/\text{ч}$	Высота A , мм	Ширина, B , мм	Диаметр C , мм	Масса, кг
Песчаные					
I	3,6	1422	762	584	508
II	6,4	1448	915	737	813
III	10	1500	1067	915	1130
IV	14,5	1524	1220	1067	1575
Комбинированные					
I	3,6	2794	752	584	915
II	6,4	2819	915	737	1427
III	10	2870	1067	915	2083
IV	14,5	2895	1220	1067	2896

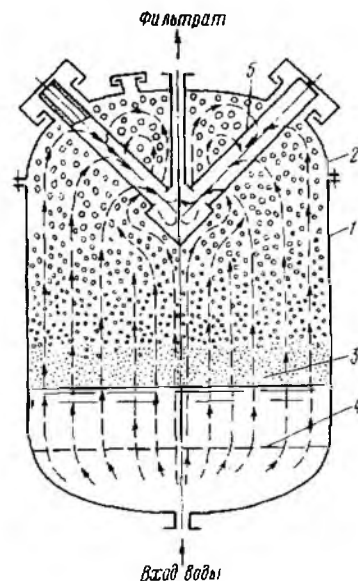


Рис. 4.27. Осветлительный фильтр с плавающей загрузкой.

1 — корпус; 2 — крышка; 3 — вспененный полистирол; 4 — сетка; 5 — фильтрующие патроны.

Фильтры-дезодораторы. Фильтры этого типа предназначены для очистки воды от растворенных органических и неорганических примесей с целью улучшения привкуса и запаха.

Пресная и опресненная вода в системах бытового водоснабжения содержит растворенные органические и неорганические вещества, придающие ей привкус и запах. Очистку воды производят в специальных фильтрах-дезодораторах, загруженных активным углем. В основе очистки воды лежит процесс сорбции растворенных веществ активным углем. Среди неорганических загрязнителей воды наиболее характерен для судовых вод хлор, широко используемый для ее обеззараживания. Органические примеси в воде оцениваются по показателю „окисляемость”.

Расчет необходимого количества активного угля производится по формуле

$$G'_y = 10^{-6} Q t \left(\frac{C_{Cl_2}}{\eta_{Cl_2}} + \frac{C_{орг}}{\eta_{орг}} \right),$$

где Q – расход воды через фильтр, кг/ч; t – продолжительность фильтроцикла, ч; C_{Cl_2} – концентрация в воде активного хлора, мг/л; $C_{орг}$ – концентрация в воде органических веществ, оцениваемых по показателю „окисляемость”, мг O_2 /л; $\eta_{Cl_2} = 0,7$ – коэффициент смкости угля по хлору; $\eta_{орг} = 0,1$ – коэффициент емкости угля по органическим веществам.

Согласно теории сорбции смеси двух веществ из раствора, оба компонента вместе сорбируются меньше, чем каждый в отдельности, причем из смеси больше сорбируется тот компонент, который энергичнее сорбируется из индивидуального раствора. Степень сорбции органических веществ при совместной сорбции снижается на 30% по сравнению со степенью сорбции этих веществ из индивидуального раствора. С учетом этого необходимое количество активного угля $G_y = 1,3G'_y$.

Одним из основных параметров, необходимых при расчете фильтра-дезодоратора, является длина зоны массообмена $L_0 = (1/K)t_B$, где $1/K$ – величина, обратная коэффициенту защитного действия, выражает скорость перемещения переднего района адсорбции; t_B – время, за которое концентрация сорбируемого вещества в фильтре изменяется от предельно допустимой концентрации $C_{пр}$ до исходной $C_{исх}$.

Коэффициент защитного действия $K = (t_1 - t_2)/(L_2 - L_1)$, где t_1, t_2 – время защитного действия (до появления предельно допустимой концентрации) слоя фильтра длиной соответственно L_2 и L_1 .

Высота фильтрующего слоя в фильтре-дезодораторе должна быть не меньше L_0 . Характеристики активных углей даны в табл. 4.7.

Общий вид и устройство фильтров-дезодораторов показаны на рис. 4.28 и 4.29, а их основные технические характеристики представлены в табл. 4.8.

Фильтры-минерализаторы. Фильтры этого типа предназначены для обогащения опресненной воды солями кальция, магния, натрия и другими для улучшения ее

Основные характеристики активных углей

Марка	Насыпная плотность, г/см ³	Содержание золы, %	Размер основной фракции, мм	Макропоры, см ³ /г	Микропоры, см ³ /г
БАУ	0,213	3,34	2–1	1,19	0,23
КАД	0,417	9,98	2–1	0,56	0,23
АГ-М	0,475	17,5	1,5–0,5	0,27	0,34
АГ-Л	0,389	4,41	2,75–1	0,35	0,35

Таблица 4.7

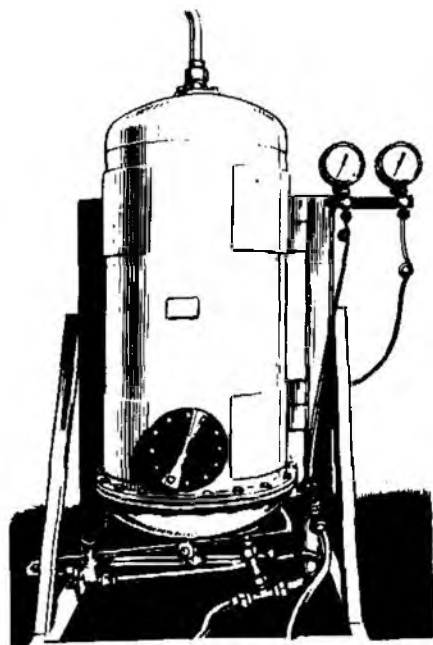


Рис. 4.28. Общий вид фильтра-дезодоратора.

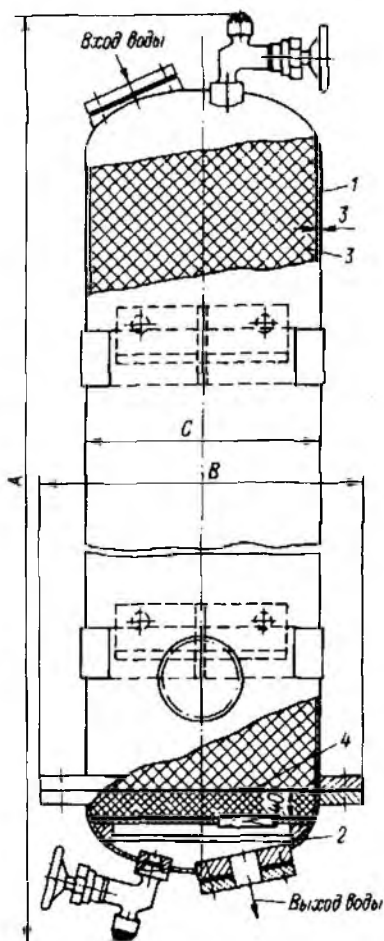


Рис. 4.29. Устройство фильтра-дезодоратора.

1 — корпус; 2 — крышка; 3 — активный уголь; 4 — дренаж.

Таблица 4.8
Основные характеристики фильтров-дезодораторов (см. рис. 4.28 и 4.29)

Производительность, м ³ /ч	Количество обработанной воды до перегрузки фильтра	Высота А, мм	Ширина В, мм	Диаметр С, мм	Масса фильтра, кг
0,2–0,5	3	532	225	225	21
1–3	800	1150	365	375	75
3–6	6 000	1640	704	716	360
6–10	15 000	2000	1005	1060	500

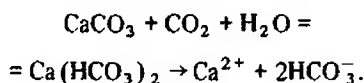
Рис. 4.30. Фильтр для минерализации и обеззараживания воды фирмы „Беркефельд“.

вкуса и доведения солевого состава до гигиенических нормативов. В процессе фильтрования улучшаются показатели качества воды: содержание макроионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , HCl_3 , SO_4^{2-} , Cl^- , F^-), общее солесодержание, водородный показатель pH.

В качестве минерализующих компонентов для загрузки в фильтры-минерализаторы применяют: доломит в сочетании с гипсом; мраморную крошку; гранулированный ракушечник; дробленые известняки или кораллы; накипь, получающуюся в дистилляционных опреснительных установках: осадок, полученный при растворении хлорной извести в воде (отходы процесса хлорирования), и другие материалы.

До расчета и конструирования фильтра выполняют его технологическое моделирование для определения динамических закономерностей растворения фильтрующего материала и перехода минерализующих ионов в воду.

Фильтрование через карбонатосодержащие материалы ведется в присутствии углекислоты (например, отдувочной из опреснителя), а процесс минерализации описывается уравнением



Объем загрузки фильтра выбирают таким, чтобы выход кальция в воду составлял 30–35 мг/л, а общий уровень минерализации 100–150 мг/л.

Расход углекислоты при фильтровании составляет 25–50 мг/л, скорость фильтрования не должна превышать 15 м/ч. Высота фильтрующего слоя зависит от скорости фильтрования и колеблется в пределах 0,8–2 м (меньшие значения – для малых скоростей фильтрования).

Устройство фильтров для минерализации воды показано на рис. 4.30, а основные технические характеристики даны в табл. 4.9.

Обеззараживающие фильтры. Эти фильтры предназначены для очистки воды от бактерий. При фильтровании улучшаются показатели качества воды: коли-титр

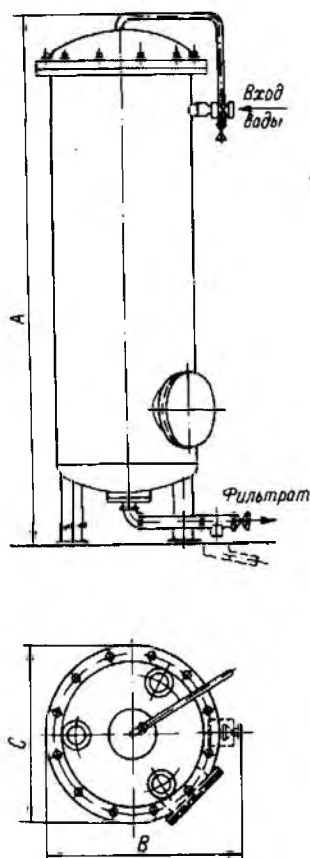


Таблица 4.9
Основные технические характеристики фильтров для минерализации и обеззараживания воды фирмы „Беркефельд“ (Англия) (см. рис. 4.30)

Производительность, м ³ /ч	Высота А, мм	Длина В, мм	Ширина С, мм	Масса фильтрующей загрузки, кг
3	1150	550	750	350
6	2150	650	800	700

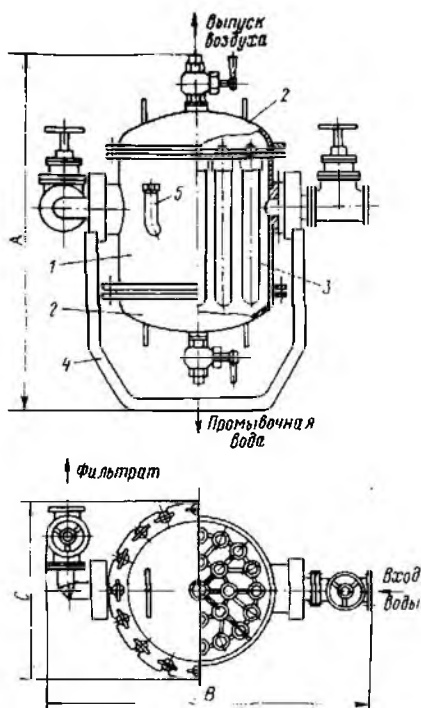


Рис. 4.31. Бактерицидный фильтр фирмы „Беркефельд“.

1 – корпус; 2 – крышка; 3 – фильтрующие патроны; 4 – рама; 5 – патрубок для загрузки намывного слоя.

ненной воды (дистиллята) от растворенной углекислоты с целью снижения ее коррозионной активности. При фильтровании корректируется водородный показатель pH.

Принцип действия фильтров-стабилизаторов основан на химическом связывании свободной агрессивной углекислоты, содержащейся в свежеприготовленном дистилляте, при фильтровании его через карбонатосодержащие материалы. Стабильность воды оценивается двумя параметрами: индексом насыщения I и показателем стабильности G , расчетные значения которых должны быть близкими соответственно нулю и единице.

(количество бактерий группы кишечной палочки) и микробное число (общее количество бактерий).

Применяют фильтры двух типов: керамические и мембранные. Принцип действия керамических фильтров заключается в бактерицидном действии на фильтруемую воду бактерицидного вещества (например, ионов серебра), введенного в состав керамического фильтрующего материала, и последующем задержании в фильтрующем слое инаktivированных бактерий.

Принцип действия мембранных фильтров заключается в механическом задержании бактерий на поверхности фильтрующей мембраны. При этом размер пор мембраны должен быть меньше размера бактерий.

Производительность фильтра определяется пропускной способностью фильтрующего материала, которая, в свою очередь, зависит от степени загрязненности исходной воды взвешенными веществами, перепада давления на фильтре и толщины фильтрующей перегородки.

Устройство фильтра для обеззараживания воды показано на рис. 4.31, а основные технические характеристики даны в табл. 4.10.

Фильтры-стабилизаторы.

Эти фильтры служат для очистки опрес-

Таблица 4.10

Основные характеристики бактерицидных фильтров фирмы „Беркефельд“ (Англия) (см. рис. 4.31)

Производительность, $\text{м}^3/\text{ч}$	Высота A , мм	Длина B , мм	Ширина C , мм	Масса фильтра, кг
0,27	400	230	230	18,14
0,45	400	250	250	22,7
0,63	400	280	280	38
1,36	760	510	510	140
4,47	760	620	620	200
3,18	760	660	660	216

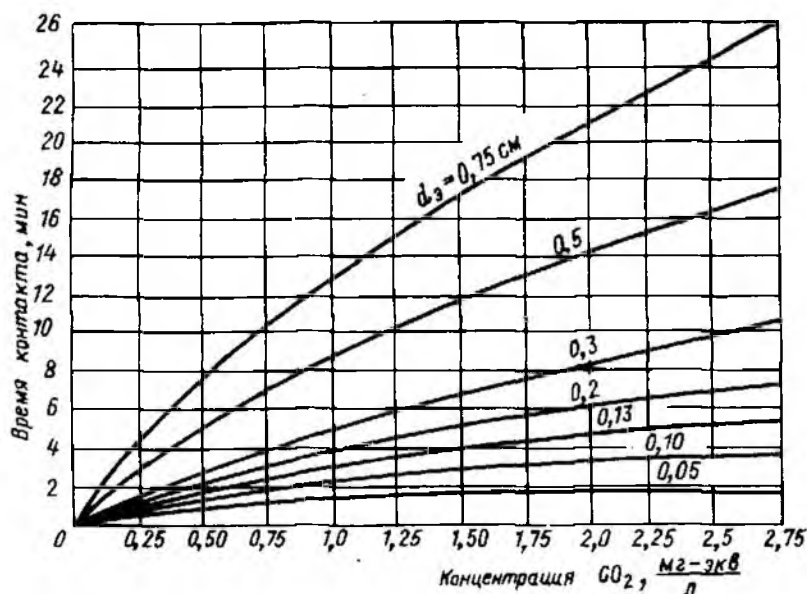


Рис. 4.32. Зависимость времени контакта дистиллята с мраморной крошкой, необходимого для полного связывания CO_2 , от концентрации CO_2 и среднего размера d_3 мраморной крошки.

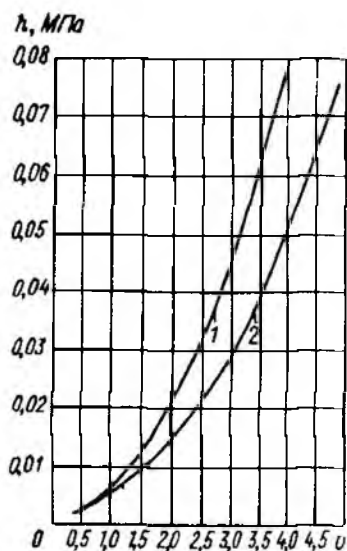


Рис. 4.33. Парные фильтры для стабилизации и минерализации дистиллята фирмы „Дегремон“.

1 — стабилизатор; 2 — минерализатор.

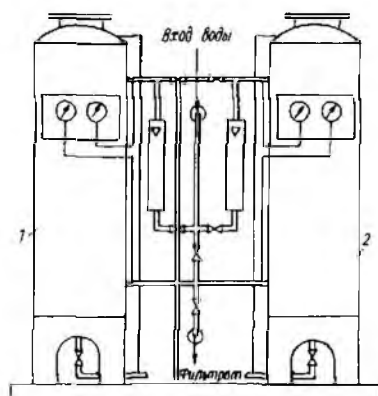


Рис. 4.34. Зависимость гидравлического сопротивления фильтров для очистки заборной воды от скорости воды во входном патрубке «.

1 — для фильтров с тонкостью фильтрации 0,3; 2 — для фильтров с тонкостью фильтрации 2,5.

Основные технические характеристики фильтров для очистки заборной воды

Тип	Диаметр патрубка для подвода воды D_y , мм	Материал фильтру- ющего патрона	Тонкость фильтрации, мм
I	40, 50, 80, 100, 125, 150, 250, 300, 350,	Пластмасса, перфо- рированный металл	2,5
II	20, 32	Пластмасса	2,5
III	50, 65, 80	"	2,5
IV	20, 25, 32	"	0,3
V	40	Сетка тканая полиэфирная	0,3

При повышенном содержании хлоридов и сульфатов в воде ее стабильность дополнительно характеризуется параметрами P_1 и P_2 , представляющими собой соответственно отношение ионов кальция к хлору и щелочности к сумме хлоридных и сульфатных ионов, выраженных в эквивалентной форме. Указанные параметры должны удовлетворять условиям

$$P_1 = \left(\frac{Ca^{2+}}{Cl^-} \right)_{\text{экв}} > 0,5;$$

$$P_2 = \left[\frac{\text{щ}}{(Cl^- + SO_4^{2-})} \right]_{\text{экв}} > 0,4.$$

Обработка дистиллята в стабилизационном фильтре ведется без добавления CO_2 , а содержащаяся в опресненной воде углекислота расходуется на растворение накипи, вследствие чего изменяются показатели pH, I и G, свидетельствуя о том, что вода стала некоррозионно-активной.

Расчет фильтра-стабилизатора сводится к определению высоты фильтрующей загрузки при заданных величинах диаметра фильтра и его производительности. Необходимое время контакта дистиллята с мраморной крошкой в зависимости от концентрации в воде углекислоты и размеров зерен мраморной крошки определяется по эмпирическим графикам (рис. 4.32).

Парные фильтры для нейтрализации и минерализации дистиллята фирмы „Дагремон” (Франция) показаны на рис. 4.33. В состав судовой установки входят два аппарата одинаковой конструкции – нейтрализатор и минерализатор, состоящие из цилиндрического корпуса, трубопроводов, водораспределительных устройств, манометров и предохранительных клапанов.

Нейтрализатор загружен гранулированным двойным карбонатом кальция и магния ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$). Минерализатор загружен гранулированным сернокислым кальцием $CaSO_4$. Поток воды проходит через каждый аппарат сверху вниз, причем, 4/5 потока направляется в нейтрализатор, а 1/5 – в минерализатор. Гранулы „минералита” и „нейтралита” постепенно растворяются, обеспечивая непрерывную минерализацию обрабатываемой воды. Оба потока соединяются в коллекторе питьевой воды.

Промывка аппаратов осуществляется противотоком воды при достижении потери напора 0,1 МПа (1 кгс/см²). Промывку следует выполнять не реже одного

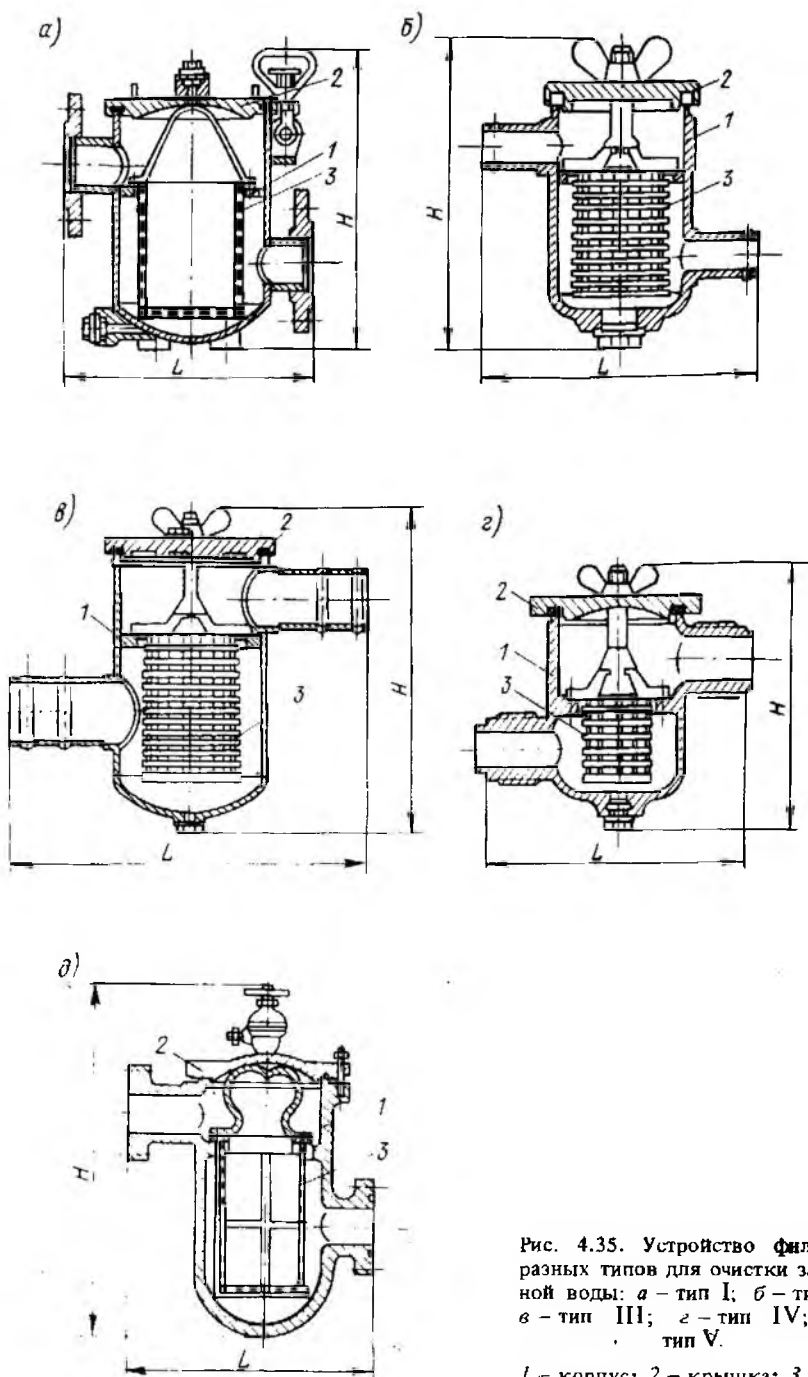


Рис. 4.35. Устройство фильтров разных типов для очистки заборной воды: а – тип I; б – тип II; в – тип III; г – тип IV; д – тип V.

1 – корпус; 2 – крышка; 3 – фильтрующий патрон.

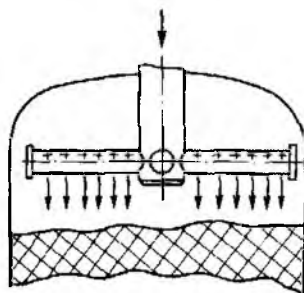
Габариты и масса фильтров для очистки заборной воды (см. рис. 4.35)

Диаметр патрубка для подвода воды D_y , мм	Ширина L , мм	Высота H , мм	Масса фильтра, кг
Т и п I			
40	250	295	11
50	260	310	14
80	310	420	27
100	400	562	45
125	400	587	47
150	460	670	64
200	610	850	148,3
250	610	1003	171,4
300	620	1145	192
350	730	1300	287
Т и п ы II и III			
20	180	220	2,95
32	200	265	4,4
50	290	300	6,06
80	350	400	10,70
Т и п IV			
20	160	180	4
25	179		4,2
32	190	240	6,2
Т и п V			
40	310	445	44

раза в неделю. Количество используемого „нейтралита” составляет 20–40 г на 1 м³ обработанной воды, а „минералита” – 50–150 г/м³.

Фирма поставляет также аппараты смешанного действия, загруженные смесью „нейтралита” и „минералита”.

Основные технические характеристики фильтров для очистки заборной воды приведены в табл. 4.11.



Зависимость гидравлического сопротивления фильтров от скорости протекания воды во входном патрубке (для чистых фильтров) дана на рис. 4.34.

Устройство фильтров разных типов для очистки заборной воды показано на рис. 4.35, а их габариты и масса приведены в табл. 4.12.

Конструкции дренажных и водораспределительных устройств, применяемых в фильтрах, показаны на рис. 4.36–4.40.

Рис. 4.36. Водораспределительное устройство в виде дырчатых труб.

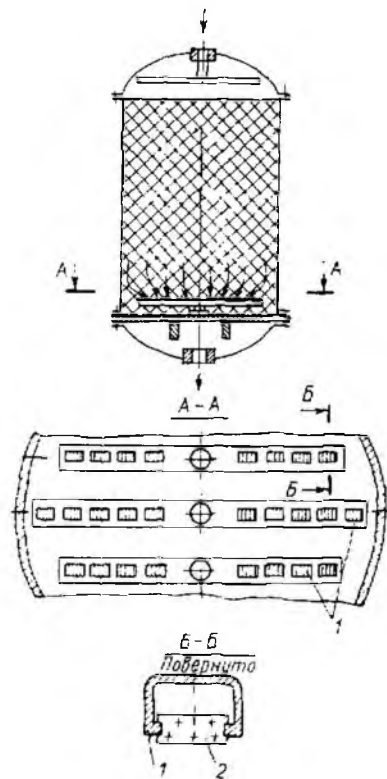


Рис. 4.37. Дренажное устройство в виде щелевых труб.

1 — короб; 2 — пластины с выступами.

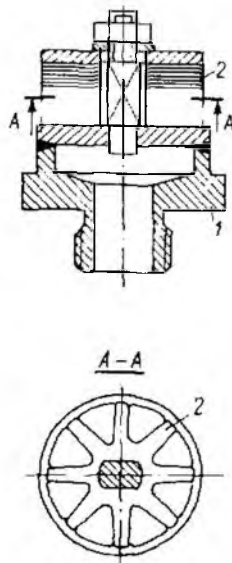


Рис. 4.38. Щелевые колпачки.

1 — корпус; 2 — дренажные диски.

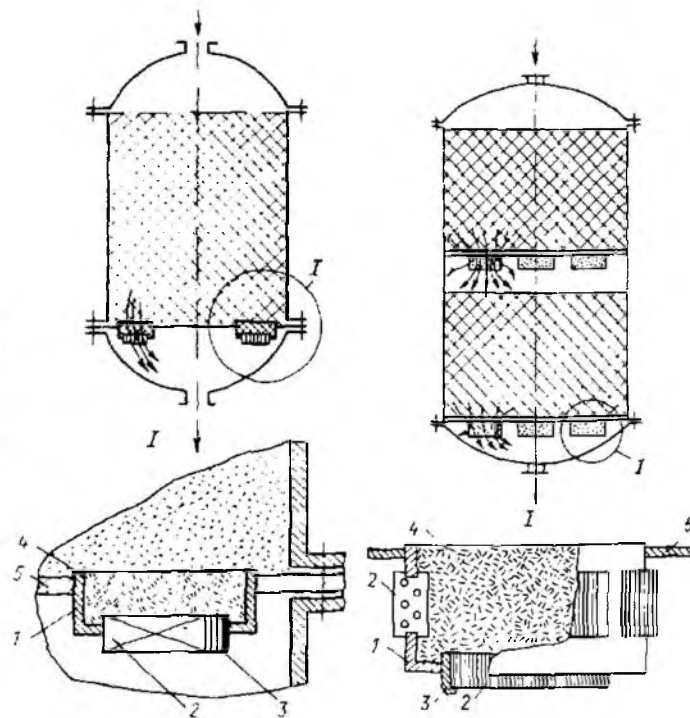


Рис. 4.39. Дренажные элементы в виде стаканов со щелями в донышке. Рис. 4.40. Дренажные элементы в виде стаканов со щелями в цилиндрической части и в донышке.

1 — стакан; 2 — набор пластин с выступами; 3 — стопорная планка; 4 — проволоочная рубка; 5 — дренажная доска.

Обозначения те же, что на рис. 4.39.

§ 4.3. Нефтеcодержащие воды

Способность определенных материалов задерживать на своей поверхности частицы нефти и нефтепродуктов при прохождении через них нефтеcодержащих вод, т. е. обладать олеофильными свойствами, использована при создании сепараторов фильтрующего типа. К таким материалам можно отнести: кокс, кварцевый песок, асбестовые ткани и различные полимерные материалы. Прочность прилипания частиц нефтепродуктов к фильтру определяется силами молекулярного притяжения.

В качестве фильтрующих могут быть использованы и неолеофильные материалы, но для них требуется специальная обработка, в результате которой на поверхности этих материалов должна быть разрушена гидратная пленка, обладающая гидрофильными свойствами.

Любой фильтрующий материал должен обладать хорошо развитой поверхностью. Это необходимо для того, чтобы грязеемкость фильтра была достаточно высокой. Частицы нефти, задерживаясь на фильтре, постепенно обволакивают его нефтяной пленкой и последующее прилипание нефтяных капелек будет происходить уже к этой пленке. Если прочность прилипания станет меньше сил, отрывающих частицу нефтепродукта от фильтра, то это показывает, что грязеемкость фильтра исчерпана и он нуждается в регенерации.

Таким образом, для фильтрующих сепараторов основными характеристиками будут грязеемкость (нефтеемкость) и способность к регенерации.

Сепарационная установка „Пепематик“ фирмы „Сален и Викандер“ (Швеция). Этот сепаратор (рис. 4.41) выпускается в трех модификациях производительностью соответственно 1,5; 3 и 5 м³/ч; его очистная способность до 15 млн⁻¹. Сепаратор состоит из трех цистерн, смонтированных на одном фундаменте. На этом же фундаменте установлен винтовой насос. Очистка в сепараторе двухступенчатая.

Нефтеcодержащие воды сначала подаются в сепаратор гравитационного типа (первая ступень), отделение частиц нефти в котором происходит в основном за счет разности плотности воды и нефтепродукта. Если в первых установках подача

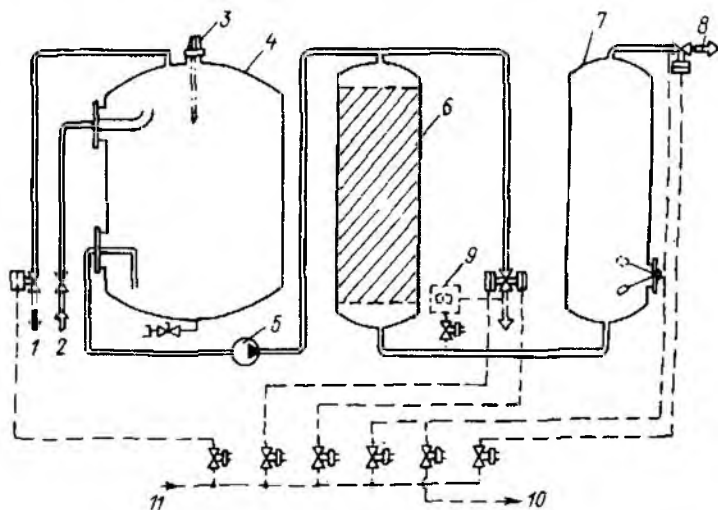


Рис. 4.41. Схема сепарационной установки „Пепематик“ (Швеция).

1 — слив отстоявшейся нефти; 2 — вход нефтеcодержащих вод; 3 — датчик уровня нефти-вода; 4 — гравитационный сепаратор; 5 — насос; 6 — фильтр; 7 — цистерна очищенной воды; 8 — слив очищенной воды; 9 — прибор контроля нефтеcодержания в очищенной воде; 10 — выход воздуха; 11 — подача сжатого воздуха.

нефтепродуктов в гравитационный сепаратор осуществляется насосом, то в модифицированных насос устанавливается после сепаратора. Таким образом, гравитационный сепаратор работает в вакуумном режиме, что значительно повышает его очистную способность, так как диспергирующее воздействие насоса на частицы нефтепродукта исключено.

Основная способность гравитационного сепаратора 50–300 млн. $^{-1}$ и зависит от степени эмульгирования нефтепродуктов в трюмных водах. Отделенная в гравитационном сепараторе нефть собирается в его верхней части и по мере заполнения ее удаляется в сборную цистерну по сигналу датчика уровня раздела сред нефть–вода. Затем частично очищенная вода подается в фильтр (вторая ступень).

В объем фильтрующей цистерны засыпан гранулированный кристаллический материал, обработанный химическим составом. Засыпкой может служить и другой материал, в частности, в фильтрах фирмы использовался полимерный материал, выполненный в виде небольших „белых” колес. Основное назначение материала, используемого в сепараторе „Пепематик”, — создание большой развешенной поверхности. Придание свойств олеофильности этой поверхности достигается использованием специальной жидкости.

Частицы нефтепродукта, не отделившиеся в гравитационном сепараторе, задерживаются на поверхности фильтрующего материала, а очищенная вода с содержанием нефти менее 15 млн. $^{-1}$ через цистерны промывочной воды выбрасывается за борт. Расход специального состава на пропитку фильтрующего материала 2 л, необходимость повторной пропитки возникает через 200 ч работы фильтра. Время обработки фильтра 0,5 ч. Вместе с установкой поставляется 20 л фирменного состава.

Регенерация фильтра проводится путем обратной промывки фильтра очищенной трюмной водой, заключенной в промывочной цистерне. Давлением сжатого воздуха вода из промывочной цистерны выдавливается в фильтр, где с более высокой скоростью, чем при очистке нефтепродуктов, проходит через фильтрующий материал. При этом происходит смывание нефти с поверхности фильтра и его регенерация. После каждой промывки определенное количество воды с нефтепродуктами возвращается снова в трюмный колодец или цистерну сбора трюмных вод. Однако благодаря коалесценции частиц нефтепродукта на поверхности фильтра последующее их отделение в гравитационном сепараторе будет более эффективным. Процесс регенерации осуществляется периодически.

Промывка фильтра производится при каждом пуске установки. При длительной работе промывка фильтра происходит через 45 мин автоматически по сигналу реле времени. Кроме того, регенерация осуществляется по сигналу прибора, контролирующего чистоту сливаемой очищенной воды. Управление пневматическими и электрическими клапанами, осуществляющими переключение работы установки с режима очистки на регенерацию и наоборот, осуществляется через шит управления, поставляемый совместно с установкой.

Таблица 4.13

Основные характеристики установок фирмы „Сален и Викандер”

Характеристика	BS1500A	BS3000A	BS5000A
Производительность, м ³ /ч	1,5	3	5
Длина, мм	1100	1600	2600
Ширина, мм	1100	1400	1300
Высота, мм	1800	1850	1950
Масса установки, кг:			
сухой	1200	1500	1900
заполненной	1900	2600	3200
Мощность, кВт	1	2	2
Присоединительные диаметры трубопроводов, мм:			
воды и нефти	32	40	50
воздуха	15	15	15

Основные характеристики установок фирмы „Сален и Викандер“ представлены в табл. 4.13.

Установка может поставляться фирмой не в полном комплекте. Если установка предусматривается для модернизации системы на существующем судне, где уже есть гравитационный сепаратор, который может быть использован как первая ступень очистки, то достаточно заказать фильтр и промывочную цистерну.

Сепарационные установки фильтрующего типа фирмы „Сален и Викандер“ установлены на судах морского флота типа теплоходов „Известия“ и „Украина“.

Сепаратор типа SFC фирмы „Серен“ (Франция). Сепаратор (рис. 4.42) представляет собой однокорпусную конструкцию, разделенную на две части. Одна из них — ступень предварительной очистки — предназначена для гравитационного отделения более крупных частиц нефтепродукта, ее очистная способность примерно до 100 млн.⁻¹ Другая — расположенный в середине корпуса сепаратора доочистной фильтр, предназначенный для задержания мелких капель нефтепродукта.

Фильтр имеет засыпку из олеофильного материала, запатентованного фирмой. Материал представляет собой мелкие частицы размером до 1 мм, обработанные специальной жидкостью для придания олеофильных свойств; 100 л такого материала могут удержать около 15–20 л нефтепродукта. По плотности эти частицы несколько тяжелее воды. Толщина засыпки фильтрующего материала в сепараторе равна 700 мм при общей высоте фильтра 1000 мм.

При работе сепаратора в очистном режиме предварительно очищенные нефтесодержащие воды поступают на фильтр. Проходя через фильтр, они теряют мельчайшие частицы нефтепродукта, оставляя их на гранулах фильтрующего материала, таким образом происходит очистка воды от нефти. На необходимость регенерации фильтра указывает увеличение его сопротивления, о чем сигнализирует датчик давления, установленный на всасывающем трубопроводе насоса.

При снижении вакуума в установке до определенной величины происходит остановка насосов и в фильтр под давлением подается вода на промывку. При этом фильтрующая загрузка распространяется по всему объему фильтра, а с гранул фильтрующего материала смывается нефтяная пленка. Время регенерации 20 мин: сначала в фильтр поступает вода в течение 2 мин, затем водовоздушная смесь в течение 15 мин и в конце режима снова подается вода. Промывочная вода сбрасывается в цистерну сбора нефтесодержащих вод.

По мнению фирмы, гарантированная работа сепаратора с очистной способностью до 15 млн.⁻¹ при определенной загрязненности фильтра дает возможность не ставить после сепаратора прибор для контроля нефтесодержания очищаемой воды, а автоматизированный процесс регенерации фильтра не допускает работу сепаратора при загрязнении фильтра более допустимого.

Фирма выпускает три модификации сепаратора. Основные показатели сепараторов (без комплектующего оборудования) представлены в табл. 4.14. Габариты сепараторов в сборе вместе с комплектующим оборудованием следующие: SFC-5 — 875×1315×2020 мм; SFC-8 — 1175×1680×2555 мм; SFC-12 — 1675×2370×2700 мм.

Отечественная сепарационная установка фильтрующего типа УСФ-4 представлена на рис. 4.43. Основные технические характеристики установки следующие:

Пропускная способность, м ³ /ч, не более	4
Допустимое гидравлическое сопротивление, кПа, не более:	
гравитационного сепаратора	15
фильтра	180
Содержание нефтепродуктов в воде, млн. ⁻¹ :	
на входе в сепарационную установку	Не ограничено
на выходе из установки, не более	15
Масса, кг	2120
Габариты, мм	1750×1270×2265
Потребляемая мощность, кВт	1,6

Установка состоит из двух частей — гравитационного сепаратора и фильтра. Кроме того, в состав установки входят: насос одновинтовой ЭВН 3/5, щит управления,

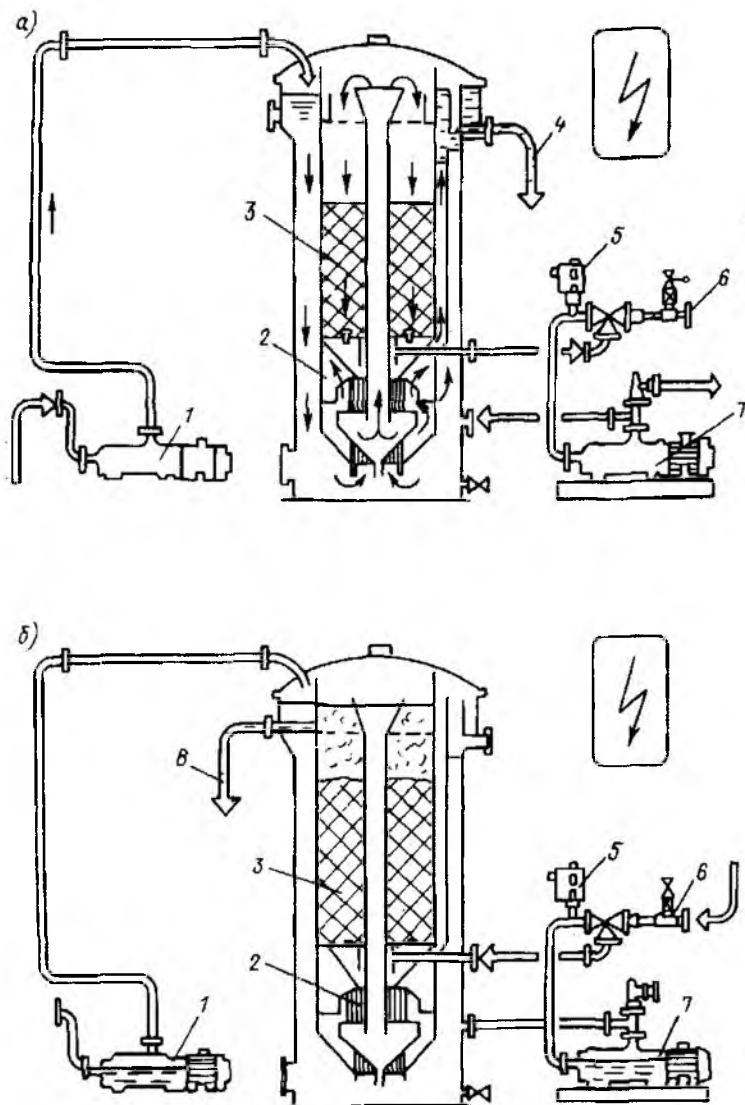


Рис. 4.42. Сепаратор типа SFC фирмы „Сереп“ (Франция): а — схема работы в режиме очистки нефтесодержащих вод; б — схема работы фильтра в режиме регенерации фильтра.

1 — насос подачи нефтесодержащих вод в сепаратор; 2 — ступень предварительной очистки; 3 — фильтр; 4 — слив отстоявшейся нефти; 5 — датчик давления; 6 — эжектор; 7 — насос откачки очищенной воды из сепаратора; 8 — слив промывочной воды.

Основные характеристики установок типа SFC фирмы „Сереп“

Характеристика	SFC-5	CFC-8	SFC-12
Производительность, м ³ /ч	2	5	10
Высота, мм	2000	2540	2560
Диаметр верхней части корпуса, мм	600	920	1400
Диаметр корпуса, мм	520	800	1200
Масса пустого сепаратора, кг	330	650	1130
Емкость сепаратора по воде, л	180	750	2000
Емкость фильтрующей загрузки, л	100	200	520

арматура и приборы автоматики. Все оборудование смонтировано на общей раме и связано трубопроводами и кабельными трассами.

Гравитационный сепаратор работает в вакуумном режиме. Насос откачивает воду из него, и под воздействием образовавшегося вакуума происходит засасывание нефтесодержащих вод из цистерн. Оригинально выполнена конструкция приемного устройства в цистерне нефтесодержащих вод. Устройство снабжено запорным шаром, плотность которого выбрана таким образом, что она выше плотности нефтепродукта, но ниже плотности воды. В связи с этим шар всегда стремится занять положение на границе раздела нефтесодержащая вода — нефтепродукты. Поэтому при окончании откачки нефтесодержащих вод из цистерны и подходе к приемному патрубку устройства границы раздела нефтесодержащая вода — отстоявшаяся в цистерне нефть шар запирает входное отверстие приемного трубопровода, предотвращая попадание большого количества нефтепродукта в сепарационную установку.

Очищаемые воды попадают сначала в верхнюю часть гравитационного сепаратора, где происходит отделение крупных капель нефтепродукта. Этому способствуют изменение скорости и направления потока. Отделенная нефть собирается в верхней части аппарата, а частично очищенная вода через сифонную трубу поступает в нижнюю камеру. Воздух, выделившийся в верхней камере, с помощью устройства для его отсоса отводится в сифонную трубу и вместе с потоком очищаемой воды поступает в нижнюю камеру, в результате чего уровень нефтепродуктов, выделившихся в верхней камере, поддерживается на высоте переливного колена сифонной трубы.

В нижней камере очищаемая вода проходит через слой фильтрующей загрузки, в котором отделяются грубодиспергированные частицы нефтепродуктов. Эти частицы осаждаются на фильтре, укрываются и всплывают в верхнюю часть камеры. Для предотвращения уноса фильтрующей загрузки потоком очищаемой воды используется слой щебня и гравия с размером частиц 6–10 мм, заключенный между двумя перфорированными листами. Высота засыпки щебня 50 мм. Прошедшие через сепаратор нефтесодержащие воды насосом подаются в фильтр, где происходит доочистка воды до содержания в ней нефти менее 15 млн. ⁻¹. В качестве фильтрующей загрузки в фильтре используется анионит.

В верхней и нижней частях фильтра расположены одинаковые пакеты из щебня и гравия, размещенные между перфорированными листами. Основное назначение этих пакетов — предотвратить вымывание фильтрующего материала при нормальной работе фильтра и в процессе промывки. Вода свободно проходит через слой анионита, частички нефти пристают к гранулам анионита и задерживаются на них.

Регенерация фильтрующей загрузки производится периодически по сигналу датчика уровня нефти в гравитационном сепараторе, т. е. происходит одновременно и регенерация фильтра, и вытеснение отстоявшихся нефтепродуктов. По сигналу нижнего датчика сигнализатора СУС-160М открывается электромагнитный клапан на трубопроводе подачи заборной воды из гидрофора в коллектор. От коллектора вода одновременно подается в гравитационный сепаратор, в фильтр и на автоматический клапан. В это же время останавливается насос. При подаче промывочной воды в надмембранную часть автоматического клапана происходит его переключение.

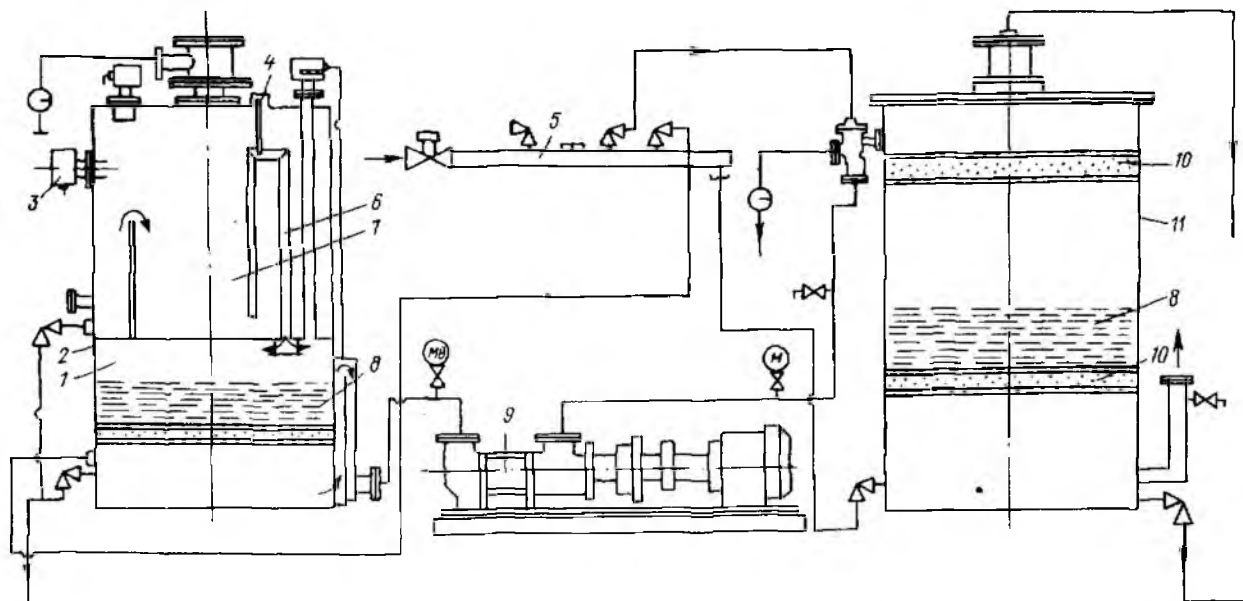


Рис. 4.43. Схема сепарационной фильтрующей установки УСФ-4.

1 – нижняя камера ступени предварительной очистки; 2 – ступень предварительной очистки; 3 – датчик уровня; 4 – устройство для отсоса воздуха; 5 – коллектор промывочной воды; 6 – труба сифонная; 7 – верхняя камера ступени предварительной очистки; 8 – анионит; 9 – насос; 10 – гравий; 11 – фильтр.

Входное отверстие для очищаемой воды закрывается и открывается отверстие для слива промывочной воды и задержанных нефтепродуктов из фильтра в цистерну сбора нефтесодержащих вод. Аннионит занимает только часть объема и при нормальной работе его гранулы уплотняются потоком воды.

При подаче промывочной воды снизу вся загрузка распространяется на весь объем фильтра. При этом резко увеличиваются расстояния между гранулами и потоки промывочной воды смывают нефть с поверхности гранул. Промывочная вода вместе с нефтепродуктами возвращается в цистерну нефтесодержащих вод. Прекращение процесса промывки происходит по сигналу верхнего датчика сигнализатора СУС-160М. Промывочная вода, попадая снизу в сепаратор, заполняет ее и через сифонную трубу поступает в его верхнюю камеру. Происходит вытеснение отстоявшейся нефти в цистерну для сбора нефтесодержащих остатков. Вытеснение заканчивается, когда датчик верхнего уровня окажется погруженным в воду. По сигналу датчика закрывается электромагнитный клапан на трубопроводе от гидрофора и запускается насос, т. е. процесс вытеснения нефти и промывки фильтра заканчивается.

Кроме того, промывка фильтра осуществляется также по сигналу реле времени через каждые 4 ч непрерывной работы. Это предусмотрено на тот случай, если накопление нефтепродуктов в верхней части сепаратора происходит медленно.

На судах, где отсутствует система заборной воды, подача промывочной воды осуществляется от специального насоса, включение которого происходит одновременно с подачей питания на электромагнитный клапан на коллекторе промывочной воды.

Фильтр, используемый в установке УСФ-4, может применяться как доочистное средство в судовых сепарационных установках на эксплуатирующихся судах, где уже есть сепаратор, но его очистная способность недостаточна.

Технические данные фильтра ФД-4 следующие:

Пропускная способность, м ³ /ч, не более	4
Допустимое гидравлическое сопротивление, кПа, не более	30
Содержание нефтепродуктов, в воде, млн. ⁻¹ :	
на входе в фильтр, не более	3000
на выходе из фильтра, не более	15
Габариты, мм	920X930X2200
Масса, кг	1000
Расход воды на регенерацию, л.	130

Фильтр устанавливается после судового сепаратора для обработки и доочистки нефтесодержащих вод, выходящих из этого сепаратора.

§ 4.4. Сточная и хозяйственно-бытовая вода

В связи с разнообразным физическим состоянием загрязнений фильтрационная очистка судовых сточных и хозяйственно-бытовых вод является лишь одной из технологических операций при обработке стоков.

Фильтрование обычно применяют для удаления из сточных вод крупнофракционных и волокнистых загрязнений, при этом используют сетчатые фильтры. Для доочистки сточных вод после удаления из них основной массы загрязнений предназначены фильтры с объемной загрузкой.

Для удаления крупнофракционных загрязнений из обрабатываемых стоков используют устройства, в которых основным конструктивным элементом являются сетки. В этом случае степень очистки определяется соотношением размеров ячеек сеток и извлеченных из воды частиц.

В судовых установках применяют сетчатые устройства, которые можно классифицировать по следующим признакам:

- степени очистки исходной воды (устройства грубой и тонкой очистки);
- способу создания разности давлений до и после рабочей поверхности фильтра (безнапорные, напорные и вакуумные сетчатые устройства); разность давлений

до и после фильтрующей сетки определяет возможные изменения ее пропускной способности в любой момент эксплуатации;

- гидродинамическому режиму движения воды в сетке (устройства с ламинарным и турбулентным режимами);

- способу восстановления пропускной способности фильтрующей сетки, которая является одним из определяющих классификационных признаков сетчатых устройств;

- периодичности действия (устройства, работающие непрерывно и периодически);

- конструкции рабочих элементов сетки (устройства плоские, сферические, цилиндрические, конические и т. д.).

При использовании сеток для грубой очистки судовых стоков используют безнапорные сетки с турбулентным или ламинарным режимом протекания потока. Эти сетки обычно периодического действия, что связано с режимом поступления на них сточных вод. Регенерация сеток осуществляется действием центробежных сил, обратной промывкой, а также техническими методами, например вибрацией. Возможна комбинация методов регенерации фильтров.

Периодичность регенерации сеток для предварительной очистки стоков задается с помощью таймера по количеству прошедшей через сетки воды или по разности давлений до сетки и после нее. Сетчатые устройства для удаления из сточных вод крупнофракционных загрязнений обычно снабжены смотровыми лючками для контроля за их состоянием.

В судовых установках для обработки сточных вод используют плетеные сетки и прутковые грязеудерживающие устройства.

При применении сеток необходимо правильно выбрать их материал с учетом химических свойств очищаемой жидкости (при использовании в системах судна забортной воды применяют бронзу либо нержавеющую сталь). Выбор величины и шага отверстий, периодичность и режим регенерации сеток во многом определяют надежность работы установок в целом.

Основные требования к сетчатым устройствам для очистки сточных вод следующие:

- сетчатое полотно должно обеспечивать необходимую степень очистки сточных вод от загрязнений определенной величины;

- форма отверстий и характер сетчатой поверхности должны обеспечивать оптимальные условия их очистки при минимальных затратах времени и средств регенерации, а также энергии;

- материал, из которого изготавливается рабочее полотно сетчатых устройств, должен быть технически прочным и обладать химической и биологической стойкостью;

- конструкция сетчатых устройств должна обеспечивать минимальную обводненность отделяемых крупнофракционных загрязнений и попадание минимального количества жидкости, используемой для регенерации сеток с отделяемыми загрязнениями;

- сетчатые устройства должны обладать минимальными потерями напора очищаемой жидкости.

Плетеные сетки по размерам отверстий могут быть наимельчайшими (площадь отверстий до $0,025 \text{ мм}^2$), мельчайшими (площадь отверстий $0,025-0,25 \text{ мм}^2$), мелкими (площадь отверстий до 1 мм^2), средними (площадь отверстий до 25 мм^2), крупными (площадь отверстий до 625 мм^2).

По плотности K (отношению площади, занимаемой проволокой ко всей площади сетки) различают сетки следующей плотности: ($K \leq 0,25$), нормальной ($0,25 < K \leq 0,5$), большой ($0,5 < K \leq 0,75$) и особо большой ($K > 0,75$).

В судовых сетчатых устройствах, служащих для удаления крупнофракционных загрязнений, используют средние сетки нормальной и большой плотности.

Числовые значения плотности K тканых, сварных и штампованных сеток с квадратными ячейками определяют по формуле $K = [1 - b^2/(b+d)^2] \cdot 100$, где b — сторона ячейки в свету, мм; d — диаметр проволоки, мм; $b^2/(b+d)^2 = A$ — коэффициент живого сечения сетки, определяющий долю площади потока жидкости, проходящей через отверстия сетки. Коэффициент живого сечения A и плотность K связаны зависимостью $A + K = 1$.

Средний размер стороны ячейки b , входящий в выражение плотности и коэффициента живого сечения сеток с квадратными отверстиями, определяют по формуле $b = (L/n) - d$, где L — длина участка с n последовательно отсчитанными ячейками, мм; d — диаметр проволоки, мм.

Особенности вычислений размеров ячеек и зазоров между проволоками указаны в ГОСТах на сетки.

Для выбора величины ячеек металлических сеток используют различные типы их обозначений:

- в сетках с квадратными ячейками номинальный размер ячейки в свету соответствует номеру сетки (ГОСТ 4601-73, ГОСТ 6613-73 и др.);
- сетки проволоочные фильровые (ГОСТ 3187-76) имеют номер, соответствующий числу проволок основы на 1 дм.

Кроме указанных, существуют обозначения, характеризующие сетки по числу отверстий на 1 см², и обозначения в мешах. В первом случае число отверстий на 1 см² является номером сетки. Во втором случае основой обозначения является количество отверстий в сетке на 1 дюйм ее длины. Например, для сетки, имеющей 200 меш, размер ячейки $a = 0,074$ мм и диаметр проволоки $d = 0,056$ мм, при этом геометрические параметры составляют 26 мм, т. е. $200(a + d) = 200(0,074 + 0,056) = 26$ мм.

Для сеток других размеров ячейки в свету увеличиваются на величину $2^{1/4} = 1,19$, а площадь отверстия соответственно возрастает на $2^{1/2} = 1,41$ по сравнению с предшествующим большим номером сетки в мешах.

Во всех выпускаемых металлических сетках размеры стороны ячеек в свету регламентированы (ГОСТ 3187-76). При расчетах размеров ячеек сеток величины их отверстий должны приниматься в пределах регламентированных размеров стороны ячеек.

Проверка значений коэффициентов живого сечения сетки с квадратными ячейками может быть сделана по любому из соотношений, включенных в выражение $A = b^2 / (b + d)^2 = n^2 b^2 = (1 - Nd)^2$, где b — размер стороны ячейки в свету, мм; d — диаметр проволоки, мм; n^2 — число отверстий в 1 см²; N — число проволок на единицу длины. Из приведенной формулы следует, что $N = (1 - A^{1/2})/d$.

При технологических расчетах сетчатых устройств необходимо предусматривать, чтобы величина частиц, прошедших сквозь сетку, не повлияла на работу устройств, расположенных вслед за сетками по технологической цепочке процесса. Так, при наличии за сетчатым устройством насосов, клапанов и т. п. величина прошедших через сетку частиц должна быть меньше, чем предусмотрено техническими характеристиками используемого оборудования и способа дальнейшей очистки.

Для гидравлических расчетов сетчатых устройств необходимо определить так называемый «линейный размер», так как диаметр проволоки d , размер стороны ячейки в свету b и коэффициент живого сечения A не дают однозначных зависимостей при вычислении коэффициентов потерь напора во время движения воды в чистых сетках. Поэтому в гидравлические расчеты вводят характерный линейный размер в виде гидравлического радиуса $R_c = V/\chi$, где V — объем сетки, размещенной в потоке, см³; χ — поверхность проволок, см².

Для сеток простого плетения, используемого преимущественно в качестве рабочего полотна сетчатых устройств, величину линейного размера l_c вычисляют по формуле $l_c = R_c = A / (2\pi N)$. Число проволок на единицу длины сетки берется из справочных таблиц сеток, приведенных в стандартах (ГОСТ 3584-73, ГОСТ 9074-71 и др.).

При числе отверстий на единицу длины $n \approx N$ выражение для гидравлического радиуса для сеток может быть упрощено

$$R_c = \frac{A}{2\pi N} = \frac{b^2 n^2}{2\pi N} = \frac{nb^2}{2\pi}$$

Величины b , $n \approx N$ для каждого номера сетки постоянные. Это позволяет представить гидравлический радиус сеток простого плетения как $R_c = bnb/2\pi = Sb = l_c$.

Величина гидравлического радиуса сеток используется при расчете числа Рейнольдса $Re_c = v_1 l_c / (A\nu)$, где v_1 – скорость движения воды на подходе к сетке, м/с; ν – коэффициент кинематической вязкости.

Расчет сетчатых устройств проводят с использованием данных, полученных по результатам пробного фильтрования судовых сточных вод. Учитывая то, что в судовых сточных водах основными загрязнителями, влияющими на загрязнение сетки, являются бумага и волокнистые загрязнения, и зная их содержание в стоках, пробное фильтрование можно выполнить на модельных системах.

Для доочистки судовых сточных вод от взвешенных веществ фильтрование используют реже, чем для удаления крупнодисперсных загрязнений.

Доочистка сточных вод фильтрованием осуществляется в установках с рециркуляцией промывочной жидкости в сточно-фановой системе судна. Для доочистки сточных вод применяют фильтры с зернистой загрузкой. По скорости фильтрования зернистые фильтры подразделяют на медленные (скорость 0,5 м/ч), скорые (2–15 м/ч) и сверхскорые (более 25 м/с).

По размеру загрузки фильтры бывают мелкозернистые (с размером частиц верхнего слоя загрузки 0,4 мм), среднезернистые (0,4–0,8 мм) и крупнозернистые (более 0,8 мм). Для предотвращения выноса фильтрующего материала с фильтратом применяют специальные дренажные системы (пористые трубы, колпачки, поддерживающие сетки).

В судовых установках применяют скорые и сверхскорые фильтры со среднезернистой загрузкой.

При фильтровании через слой зернистой загрузки наблюдаются следующие процессы:

- отложение взвешенных веществ в виде тонкого слоя на поверхности фильтрующего слоя (пленочное фильтрование);
 - отложение взвешенных веществ в порах фильтрующего слоя;
 - отложение части взвешенных веществ в пленке и порах фильтрующего слоя.
- Извлечение взвешенных веществ из воды и закрепление их на зернах фильтрующей загрузки происходит под действием сил адгезии. Соотношение сил адгезии и сил отрыва частиц под действием потока воды определяет ход процесса осветления воды.

Продолжительность работы фильтра находят по одному из двух параметров: продолжительности фильтроцикла до „проскока“ взвешенных веществ в фильтрат либо по достижении предельной потери напора.

В первом случае время фильтроцикла

$$t = \frac{1}{k} \left(\frac{h}{v^{1,7} d_1^{0,7}} - \frac{S_0 d_1}{v} \right),$$

где h – толщина фильтрующего слоя; v – скорость фильтрования; d_1 – крупность зерен загрузки; k и S_0 – константы, зависящие от концентрации взвеси в исходной и осветленной воде.

Во втором случае время фильтроцикла

$$t = \frac{H_{пр} - H_0}{H_0 f(A)} - \frac{bh}{a},$$

где $H_{пр}$ и H_0 – предельная и начальная потери напора в фильтре, м; a и b – постоянные параметры, характеризующие свойства взвеси и фильтрующей загрузки; $f(A) = (H/t) (b/d_1)$; H/t – скорость прироста потери напора, м/с; i_0 – гидравлический уклон в чистой фильтрующей загрузке.

Регенерация фильтров с зернистой загрузкой осуществляется обратным потоком воды. Скорость потока жидкости, используемой для обратной промывки, обычно больше, чем скорость фильтрования. Для промывки фильтров требуется 5–7% воды от всего объема фильтруемой жидкости.

Периодичность промывки фильтра задается во времени или по величине падения напора в слое загрузки фильтра. Первый способ промывки используют для фильтров с постоянной величиной напора, второй – при изменении напора фильтрования через загрузку.

Глава 5. СИЛОВЫЕ ОЧИСТИТЕЛИ

§ 5.1. Нефтепродукты

Для очистки нефтепродуктов в судовых условиях используются силовые очистители различных конструкций, принцип действия которых заключается в отделении частиц загрязнения от нефтепродуктов под действием искусственного силового поля или естественной гравитации.

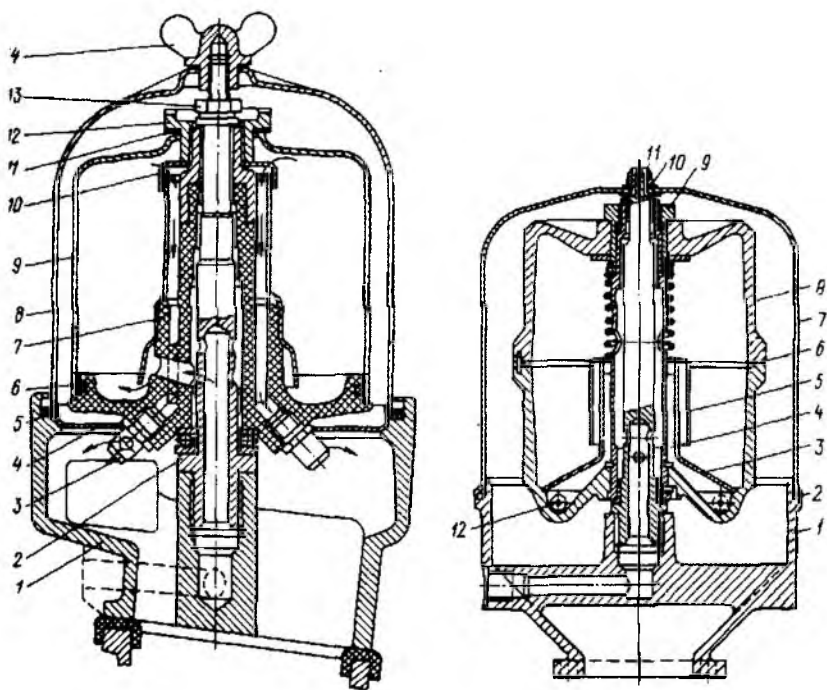


Рис. 5.1. Реактивная масляная центрифуга.

1 — корпус; 2 — ось ротора; 3 — форсунка; 4 — маслоотражатель; 5, 6 — уплотнительные прокладки; 7 — корпус ротора; 8 — колпак; 9 — крышка ротора; 10 — сетка; 11 — прокладка; 12 — гайка крепления крышки ротора; 13 — гайка крепления ротора; 14 — гайка-барашек.

Рис. 5.2. Центрифуга фирмы „Гласье“.

1 — корпус; 2, 6 — уплотнительные кольца; 3, 5 — маслонеправляющие вставки; 4 — колонка корпуса ротора; 7 — колпак; 8 — ротор; 9, 10 — гайки; 11 — ось ротора; 12 — сопло.

Технические характеристики силовых очистителей. Отстойники представляют собой цистерны для хранения дизельного топлива. По конструкции отстойники отличаются друг от друга только размерами. Они имеют воздушные фильтры, обеспечивающие надежную защиту систем от попаданий в них загрязнений из окружающей среды с сохранением внутри цистерны атмосферного давления, а также очистительные люки достаточных размеров для удаления накопившихся загрязнений.

Центрифуги классифицируют в зависимости от используемого в них привода. Наиболее широкое распространение получили центрифуги с гидравлическим реактивным приводом; они не требуют специального приводного устройства, имеют сравнительно высокую частоту вращения ротора, мало чувствительны к изменению режима работы двигателя, просты в изготовлении и обслуживании, удобны для размещения на двигателе. Типовая конструкция центрифуги приведена на рис. 5.1.

Центрифуги можно выполнять отдельно или в комбинации в одном корпусе с фильтром грубой очистки. Корпуса центрифуг обычно литые из алюминия, реже — из чугуна; корпуса роторов — алюминиевые, отлитые под давлением, колпаки роторов — алюминиевые, отлитые под давлением, или штампованные из стали.

Из зарубежных конструкций реактивных центрифуг наибольший интерес представляют центрифуги английской фирмы „Гласье” (рис. 5.2). Фирма выпускает шесть типоразмеров центрифуг (табл. 5.1).

Центробежные сепараторы топлива, масла и рабочей жидкости, получившие распространение в судовых системах, по конструкции барабана делятся на сепараторы с барабанами со сплошными стенками и ручной выгрузкой осадка; сепараторы с профрезерованными в стенках барабана пазами и периодической выгрузкой осадка на ходу машины (так называемые саморазгружающиеся сепараторы) и сепараторы с барабанами соплового типа и непрерывной выгрузкой осадка на ходу машины (табл. 5.2).

Таблица 5.1

Основные технические характеристики центрифуг фирмы „Гласье”

Характеристика	GF-0*	GF-1*	GF-2*
Количество очищаемого масла при температуре 77°C, л/мин	0,76–3,4	3–7,6	7,6–15
Давление на входе, МПа:			
нормальное	$1-5,6 \cdot 10^{-1}$	$1,4-5,6 \cdot 10^{-1}$	$1,4-5,6 \cdot 10^{-1}$
максимальное	$8,5 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-1}$
Частота вращения ротора, мин ⁻¹	2000–9000	2000–6500	2000–6000
Максимальный перепад давления, МПа	—	—	—
Грязеемкость, см ³	164	330	820

Характеристика	GF-0**	GF-1**	GF-2**
Количество очищаемого масла при температуре 77°C, л/мин	9–12	19–26	30–45
Давление на входе, МПа:			
нормальное	$1-5,6 \cdot 10^{-1}$	$1,4-5,6 \cdot 10^{-1}$	$1,4-5,6 \cdot 10^{-1}$
максимальное	$8,5 \cdot 10^{-1}$	$5,6 \cdot 10^{-1}$	$5,6 \cdot 10^{-1}$
Частота вращения ротора, мин ⁻¹	2000–6000	2000–5000	2000–5000
Максимальный перепад давления, МПа	$1,2 \cdot 10^{-1}$	$1,35 \cdot 10^{-1}$	$1,35 \cdot 10^{-1}$
Грязеемкость, см ³	164	330	820

*Центрифуги очищают часть потока масла.

**Центрифуги очищают весь поток масла.

Основные характеристики отечественных центробежных сепараторов

Тип	Род привода	Номинальная производительность, л/ч	Очищаемый продукт
Несаморазгружающийся с ручным удалением осадка	Электрический	200, 500, 1500, 3000, 5000	Масла паротурбинных, газотурбинных и дизельных установок
	Гидрореактивный	200, 500, 1500	Масла гидросистем, топливо для дизелей и газовых турбин вязкостью до 5°ВУ (35 мм ² /с) при 50°С и загрязненностью по механическим примесям до 0,06%
Саморазгружающийся с периодическим удалением осадка без остановки сепаратора, а также саморазгружающийся с регулируемым спуском шлама	Электрический	500, 1500, 3000, 5000, 7500, 10 000, 16 000, 19 000	Масла паротурбинных, газотурбинных и дизельных установок, моторное топливо и мазуты вязкостью до 46°ВУ (350 мм ² /с) при 50°С и загрязненностью по механическим примесям до 0,5% для дизелей и газовых турбин
Саморазгружающийся с непрерывным центробежным удалением осадка	Электрический	3000, 5000, 7500, 10 000, 16 000, 19 000	Топливо для газовых турбин и мазуты вязкостью более 12°ВУ (37 мм ² /с) при 50°С и загрязненностью по механическим примесям выше 0,5%

Независимо от типа сепаратора основными его узлами являются: барабан, механизм (под этим названием принято понимать станину с помещенной в ней червячно-винтовой парой), сборник (масла и топлива, рабочей жидкости), насос, фрикционная муфта, электродвигатель, подъемник барабана (на сепараторах небольшой производительности не устанавливается), измерительная, регулирующая и пусковая аппаратура.

Все судовые сепараторы имеют принципиально одинаковую кинематическую схему (рис. 5.3). Однако сепараторы с одинаковой кинематической схемой могут значительно отличаться по конструктивному выполнению отдельных узлов и деталей.

Отечественная промышленность выпускает несаморазгружающиеся сепараторы СЦ-1,5 и СЦ-3, эти сепараторы не автоматизированы. Существуют также сепараторы с гидрореактивным приводом (рис. 5.4), эти сепараторы не автоматизированы и пока не нашли широкого применения.

Судовые сепараторы фирмы „Альфа-Лаваль” (Швеция) имеют наиболее широкое распространение, они установлены на большей части отечественных судов, построенных в СССР и за рубежом. Фирма выпускает четыре типа сепараторов: несаморазгружающиеся, саморазгружающиеся, соплывые и вакуумные очистительные аппараты.

Для сепарирования дизельного топлива и циркуляционного смазочного масла фирмой были разработаны семь моделей несаморазгружающихся сепараторов типов В, В1В, Н1ВВ производительностью от 275 до 18 000 л/ч. Сепараторы ряда отличаются геометрическими размерами и незначительными конструктивными отклонениями.

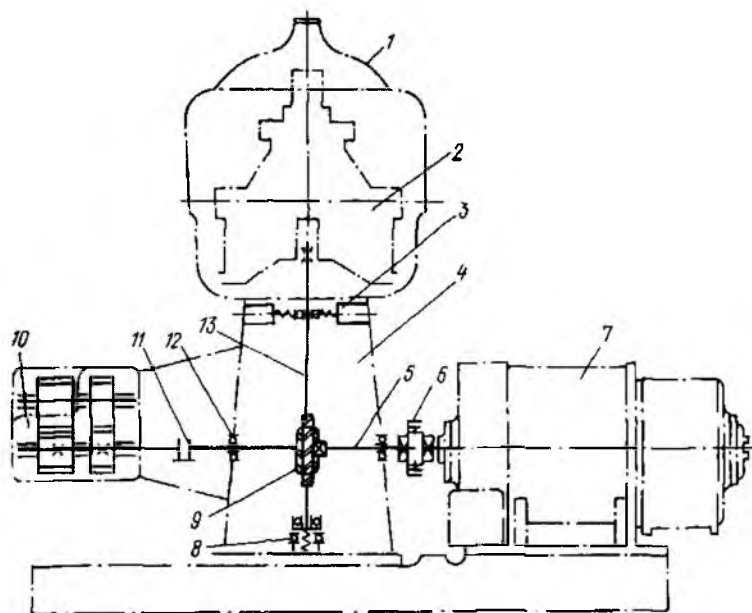


Рис. 5.3. Кинематическая схема сепаратора СЦ-1.5.

1 – сборник; 2 – барабан; 3 – пружинные амортизаторы; 4 – станина; 5 – горизонтальный вал; 6 – фрикционная муфта; 7 – электродвигатель; 8 – радиально-сферический подшипник; 9 – червячно-винтовая передача; 10 – шестеренный насос; 11 – эластичная муфта; 12 – шариковый подшипник; 13 – вертикальный вал.

На базе указанных сепараторов фирма выпускает восемь моделей сепараторов типа МАВ (рис. 5.5). Их основные технические характеристики приведены в табл. 5.3.

Для упрощения и ускорения разгрузки барабана сконструированы саморазгружающиеся сепараторы типа МАРХ (рис. 5.6) с периодическим удалением осадка из грязевой камеры без остановки барабана. Фирма выпускает шесть моделей сепараторов типа МАРХ, основные технические характеристики которых приведены в табл. 5.4.

Особенностью сепараторов типа МАРХ является применение специальных напорных дисков вместо откачивающих насосов, что позволяет автоматически поддерживать оптимальные условия сепарирования без остановки и разборки сепаратора для замены регулируемых шайб. Сепараторы типа МАРХ снабжены станцией программного управления, позволяющей осуществлять автоматическую выгрузку шлама.

Фирма „Альфа-Лаваль” на базе сепараторов типа МАРХ создала новые центробежные сепараторы типа WHPX, получившие название „Альфакс”. Это саморазгружающиеся сепараторы с непрерывной подачей неочищенного нефтепродукта и выпуском очищенного нефтепродукта и воды под давлением с периодическим автоматическим выбросом шлама по заданной программе. Основные технические характеристики сепараторов типа WHPX приведены в табл. 5.4.

По сравнению с самоочищающимися сепараторами других типов, сепараторы WHPX имеют следующие преимущества:

- могут дольше работать без приостановки процесса сепарирования при удалении шлама, поэтому при прочих равных условиях будут иметь большую суточную производительность;

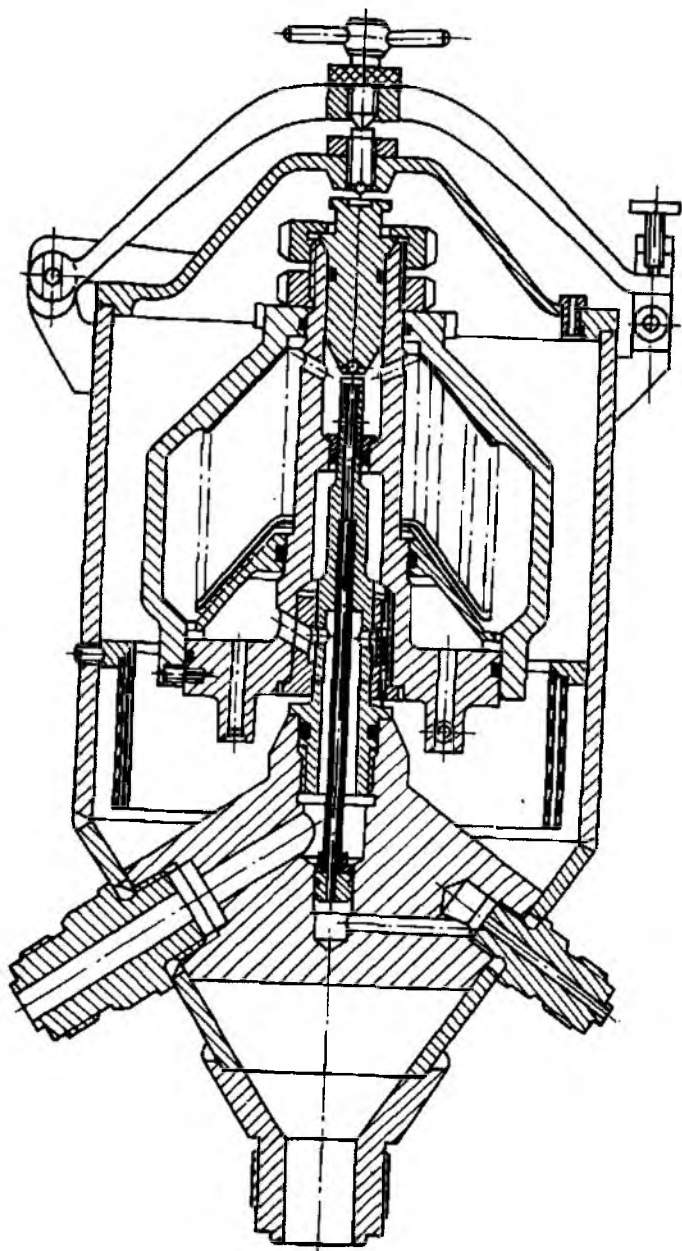


Рис. 5.4. Сепаратор с гидрореактивным приводом.

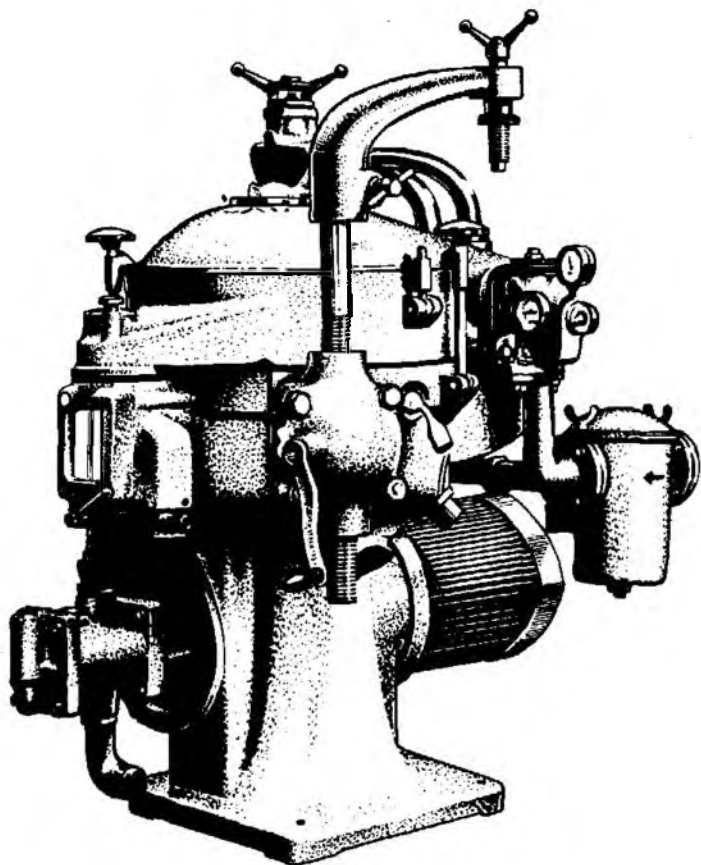


Рис. 5.5. Несаморазгружающийся сепаратор типа МАВ фирмы „Альфа-Лаваль”.

— поскольку выброс шлама происходит малыми порциями с небольшими интервалами (от 30 до 120 мин), барабан сепаратора содержится практически в чистом состоянии;

— сравнительно частый выброс шлама устраняет опасность закупорки полости барабана; кроме того, выброс шлама малыми порциями делает возможным значительно увеличить сроки между осмотрами барабана, требующими остановки сепаратора;

— конструкция и принцип действия сепаратора позволяют расходовать гораздо меньшее количество пресной воды;

— при выбросах удаляется только концентрированный шлам, потери сепарируемого нефтепродукта исключаются;

— наличие более простой системы подачи воды, не требующей непосредственного соединения с судовой системой.

Фирма „Титан” (Дания) выпускает пять моделей несаморазгружающихся судовых сепараторов типа СМ производительностью от 1300 до 10 000 л/ч и четыре

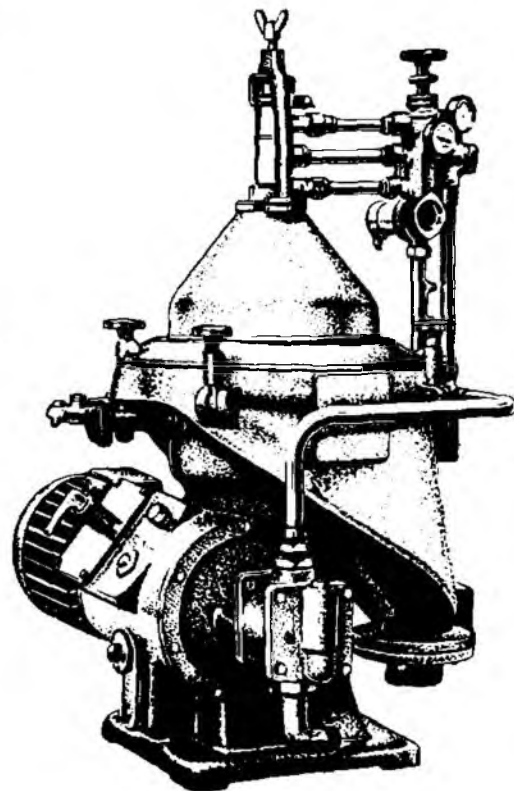


Рис. 5.6. Саморазгружающийся сепаратор типа MAPX
фирмы „Альфа-Лаваль”.

Таблица 5.3
Основные технические характеристики сепараторов типа МАВ фирмы „Альфа-Лаваль”

Характеристика	МАВ102	МАВ103	МАВ104	МАВ204
Производительность, л/ч	460	935	1800	3010
Частота вращения барабана, мин ⁻¹	9130	8340	7300	8500
Мощность электрического двигателя, кВт	0,37	0,75	1,5	3
Габариты, мм:				
длина	693	435	905	1160
ширина	421	735	597	270
высота	720	875	1070	920
Масса, кг	66,5	70	170	323

Характеристика	МАВ205	МАВ206	МАВ207	МАВ209
Производительность, л/ч	5350	8000	11 300	18 000
Частота вращения барабана, мин ⁻¹	8500	8200	7 400	6 520
Мощность электрического двигателя, кВт	4	5,5–7,5	5,5–7,5	6,5
Габариты, мм:				
длина	1725	1745	1890	2030
ширина	975	1058	1150	750
высота	1230	1420	1500	1270
Масса, кг	457	744	754	914

Основные технические характеристики сепараторов типов MAPX и „Альфакс WHPX” фирмы „Альфа-Лаваль”

Характеристика	MAPX204	MAPX205	MAPX207	MAPX309
Производительность, л/ч	2450	4350	5750	9800
Частота вращения барабана, мин ⁻¹	8490	7400	6200	5670
Мощность электрического двигателя, кВт	2,2	4	5,5	11,2
Габариты, мм:				
длина	905	1160	1705	2070
ширина	890	920	1015	1317
высота	1100	1225	1780	1520
Масса, кг	270	432	829	1290

Характеристика	MAPX210	MAPX313	WHPX505	WHPX510
Производительность, л/ч	12 500	19 000	4800	14 000
Частота вращения барабана, мин ⁻¹	5040	4032	7400	5400
Мощность электрического двигателя, кВт	11	15	4	11
Габариты, мм:				
длина	1470	1470	1160	1630
ширина	1230	1290	1000	1470
высота	1585	1690	1200	1600
Масса, кг	1200	1490	400	1120

модели саморазгружающихся сепараторов типов CNS и CS производительностью от 3000 до 15 000 л/ч.

Барабан сепараторов этой фирмы имеет коническое днище, что обеспечивает быструю очистку с минимальным применением ручного труда. Сепараторы компактны, просты и достаточно надежны. Саморазгружающиеся сепараторы типа CNS служат для очистки тяжелого топлива.

Сепаратор CS640, выпускаемый фирмой, отличается высокой эффективностью очистки и большой производительностью (15 000 л/ч). Сепаратор имеет дисковый тормоз, тахометр и устройство для очистки барабана, конструктивно отличающиеся от соответствующих узлов сепараторов других фирм.

Основные характеристики сепараторов фирмы „Титан” приведены в табл. 5.5.

Фирма „Вестфалия” (ФРГ) выпускает судовые саморазгружающиеся сепараторы типов MOC и ON и саморазгружающиеся сепараторы типа SAOG. Сепараторы типа ON имеют производительность от 1200 до 16 000 л/ч, типа SAOG — от 3900 до 5900 л/ч. У сепараторов типа ON частота вращения барабана более высокая, чем у сепараторов типа MOC. Барабан снабжен грязевой вставкой для упрощения удаления осадка, протекторными цинковыми тарелками и напорными дисками, заменившими откачивающую полость насоса.

Саморазгружающиеся сепараторы применяют для очистки тяжелых топлив. Они могут быть укомплектованы системой автоматического управления. Система автоматики позволяет через заданные промежутки времени производить удаление шлама из барабана с предварительным вытеснением сепарируемой жидкости и последующей промывкой барабана в процессе выгрузки. Несаморазгружающиеся сепараторы применяют для очистки как легких, так и тяжелых сортов нефтепродуктов.

Общий вид сепаратора фирмы „Вестфалия” показан на рис. 5.7. Основные характеристики сепараторов типов ON и SAOG представлены в табл. 5.6.

Таблица 5.5

Основные технические характеристики сепараторов типов CM, CNS и CS фирмы „Титан”

Характеристика	CM1310	CM1515	CM1801	CM1816	CM2100
Производительность, л/ч	1300	3000	5000	6200	10 000
Частота вращения барабана, мин ⁻¹	8000	7000	6000	6000	
Мощность электрического двигателя, кВт	1,8	5	5	5	8
Габариты, мм:					
длина	840	850	1000	1000	1365
ширина	790	830	816	816	1270
высота	740	827	1024	1024	1220
Масса, кг	335	465	705	705	930

Характеристика	CNS66	CNS70	CNS80	CS640
Производительность, л/ч	3000	5600	9700	15 000
Частота вращения барабана, мин ⁻¹	6200	6000	6100	—
Мощность электрического двигателя, кВт	5	10	15	18,4
Габариты, мм:				
длина	1305	1400	1500	1755
ширина	845	845	945	1255
высота	1385	1385	1493	1435
Масса, кг	1000	1470	1500	1740

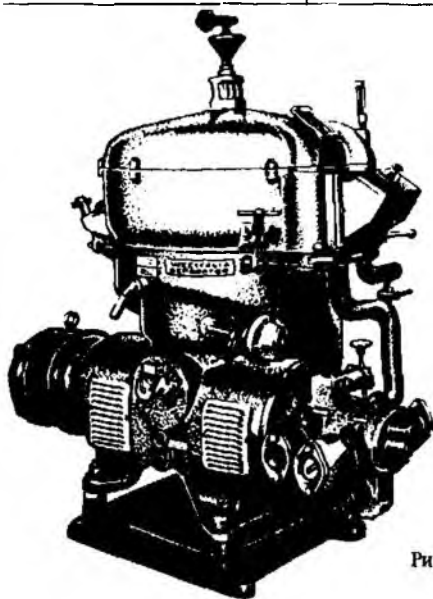


Рис. 5.7. Центробежный сепаратор фирмы „Вестфалия”.

Таблица 5.6

Основные технические характеристики сепараторов типов ON и SAOG фирмы „Вест-фалия”

Характеристика	ON311	ON616	ON1016	ON2016	ON4016
Производительность, л/ч	540	1260	2700	7000	9000
Частота вращения барабана, мин ⁻¹	9600	8500	8400	8400	7000
Мощность электрического двигателя, кВт	0,9	1	2	5	7,5
Габариты, мм:					
длина	—	880	1105	1260	1260
ширина	—	315	600	590	743
высота	—	870	970	1100	1330
Масса, кг	—	91	165	300	495

Характеристика	ON8016	SAOG2016	SAOG3016	SAOG4016	SAOG5016
Производительность, л/ч	16 000	3000	3900	5000	5900
Частота вращения барабана, мин ⁻¹	6 500	7500	7500	6500	6500
Мощность электрического двигателя, кВт	10	6,2	8,2	7,5	13
Габариты, мм:					
длина	1500	—	1393	1590	1830
ширина	743	—	905	705	1000
высота	1390	—	1410	1860	1530
Масса, кг	610	—	580	—	840

Фирма „Мицубиси” (Япония) выпускает два типа сепараторов: несаморазгружающиеся типа S^D и саморазгружающиеся типа SJ (табл. 5.7). Кинематическая схема привода барабана и общее конструктивное исполнение сепараторов фирмы „Мицубиси” аналогичны известным конструкциям сепараторов фирм „Альфа-Лаваль”, „Титан” и „Вестфалия”.

Система автоматического управления сепаратором фирмы „Мицубиси” обеспечивает необходимую последовательность операций, запуск, обслуживание во время работы и остановку аналогично системе автоматического управления сепаратора фирмы „Альфа-Лаваль”.

Фирма „Пенволт” (Великобритания) специализируется на выпуске сепараторов с соловой непрерывной выгрузкой осадка. Ранее изготавливавшиеся сепараторы — стандартный ДН-2 и для тяжелых условий работы ДН-3 имели существенные недостатки, основной из которых — большая потеря нефтепродукта при удалении осадка.

Фирмой разработаны автоматизированные установки „Гравитрол 1000” (производительностью 1000 л/ч) и „Гравитрол” с индексами 1500, 2000 и 3000. Сепараторы этой фирмы, конструктивно отличающиеся друг от друга, не лишены ряда недостатков: при качке судна не обеспечивается необходимая степень очистки топлива, а потери топлива при соловом способе разгрузки барабана достаточно велики.

Основные технические характеристики сепараторов типа „Гравитрол” приведены в табл. 5.8; общий вид сепаратора представлен на рис. 5.8.

Зарубежные фирмы дают номинальные значения производительности сепараторов на турбинном масле вязкостью 2° ВУ и плотностью 0,895 см³ при следующих условиях: содержание воды в нефтепродукте не более 3%, содержание механических

Таблица 5.7

Основные технические характеристики сепараторов типа SJ фирмы „Мицубиси”

Характеристика	SJ700	SJ2000	SJ3000	SJ4000
Производительность номинальная, л/ч	700	2000	3000	4000
Частота вращения барабана, мин ⁻¹	9000	8000	7200	6600
Мощность электрического двигателя, кВт	1,5	3,7	5,5	7,5
Габариты, мм:				
длина	927	1015	1037	1111
ширина	840	935	935	1020
высота	1095	1373	1460	1550
Масса, кг	235	465	630	840

Характеристика	SJ6000	SJ8000	SJ12000
Производительность номинальная, л/ч	6000	8000	12000
Частота вращения барабана, мин ⁻¹	5500	5000	4500
Мощность электрического двигателя, кВт	11	15	22
Габариты, мм:			
длина	1308	1385	1600
ширина	1125	1130	1250
высота	1780	1890	2200
Масса, кг	1180	1340	1890

примесей 0,3%, высота всасывания насоса на входе 0,04 МПа, напор насоса на выходе 0,15 МПа.

При упомянутых условиях гарантируется следующее качество сепарирования: содержание воды не более 0,05% и удаление всех загрязняющих частиц неорганического происхождения размером более 6 мкм. Содержание масла в отсепарированной воде должно быть не более 0,05%.

Таблица 5.8

Основные технические характеристики сепараторов типа „Гравитрол”

Характеристика	„Гравитрол 800В”	„Гравитрол 1500В”	„Гравитрол 3000В”
Производительность, л/ч	6000	10 500	15 000
Частота вращения барабана, мин ⁻¹	7000	8000	6 250
Мощность электрического двигателя, кВт	5,52	7,36	18,4
Габариты, мм:			
длина	890	1321	2183
ширина	510	1016	1684
высота	1120	1156	1930
Масса, кг	510	762	2100

Таблица 5.9.

Производительность судовых сепараторов отечественного и зарубежного производства

Марка	Страна-изготовитель	Производительность по данным изготовителя, м ³ /с	Индекс производительности Σ , м ²	Номинальная производительность Q_n , приведенная к условиям ГОСТ 13477-68, м ³ /с
СЦ-1,5	СССР	$0,42 \cdot 10^{-3}$	3 306	$0,55 \cdot 10^{-3}$
СЦ-3	"	$0,83 \cdot 10^{-3}$	5 254	$0,87 \cdot 10^{-3}$
МAB102	Швеция	$0,15 \cdot 10^{-3}$	890	$0,15 \cdot 10^{-3}$
МAB103	"	$0,32 \cdot 10^{-3}$	1 828	$0,30 \cdot 10^{-3}$
МAB104	"	$0,54 \cdot 10^{-3}$	3 100	$0,52 \cdot 10^{-3}$
МAB204	"	$1 \cdot 10^{-3}$	5 724	$0,95 \cdot 10^{-3}$
МAB205	"	$1,60 \cdot 10^{-3}$	9 142	$1,52 \cdot 10^{-3}$
МAB206	"	$2,36 \cdot 10^{-3}$	13 515	$2,25 \cdot 10^{-3}$
МAB207	"	$3,14 \cdot 10^{-3}$	17 967	$2,99 \cdot 10^{-3}$
МAB209	"	$5,08 \cdot 10^{-3}$	29 097	$4,84 \cdot 10^{-3}$
МАРХ204	"	$0,68 \cdot 10^{-3}$	4 484	$0,75 \cdot 10^{-3}$
МАРХ205	"	$1,21 \cdot 10^{-3}$	7 830	$1,30 \cdot 10^{-3}$
МАРХ207	"	$1,59 \cdot 10^{-3}$	9 938	$1,65 \cdot 10^{-3}$
МАРХ309	"	$2,72 \cdot 10^{-3}$	16 959	$2,82 \cdot 10^{-3}$
МАРХ210	"	$3,47 \cdot 10^{-3}$	21 065	$3,50 \cdot 10^{-3}$
МАРХ313	"	$5,28 \cdot 10^{-3}$	30 250	$5,03 \cdot 10^{-3}$
СМ1310	Дания	$0,36 \cdot 10^{-3}$	2 171	$0,36 \cdot 10^{-3}$
СМ1515	"	$0,83 \cdot 10^{-3}$	5 010	$0,83 \cdot 10^{-3}$
СМ1801	"	$1,39 \cdot 10^{-3}$	8 350	$1,39 \cdot 10^{-3}$
СМ1816	"	$1,72 \cdot 10^{-3}$	10 354	$1,72 \cdot 10^{-3}$
СМ2100	"	$2,78 \cdot 10^{-3}$	16 650	$2,77 \cdot 10^{-3}$
СНС66	"	$1,11 \cdot 10^{-3}$	6 680	$1,11 \cdot 10^{-3}$
СНС70	"	$1,55 \cdot 10^{-3}$	9 352	$1,55 \cdot 10^{-3}$
СНС80	"	$2,69 \cdot 10^{-3}$	16 200	$2,69 \cdot 10^{-3}$
СS640	"	$4,17 \cdot 10^{-3}$	25 050	$4,17 \cdot 10^{-3}$
ОН311	ФРГ	$0,13 \cdot 10^{-3}$	501	$0,08 \cdot 10^{-3}$
ОН616	"	$0,33 \cdot 10^{-3}$	1 286	$0,21 \cdot 10^{-3}$
ОН1016	"	$0,69 \cdot 10^{-3}$	2 839	$0,47 \cdot 10^{-3}$
ОН2016	"	$1,83 \cdot 10^{-3}$	6 695	$1,11 \cdot 10^{-3}$
ОН4016	"	$2,33 \cdot 10^{-3}$	9 340	$1,55 \cdot 10^{-3}$
ОН8016	"	$4,17 \cdot 10^{-3}$	17 034	$2,83 \cdot 10^{-3}$
SAOG2016	"	$1,37 \cdot 10^{-3}$	5 511	$0,92 \cdot 10^{-3}$
SAOG3016	"	$1,83 \cdot 10^{-3}$	7 181	$1,19 \cdot 10^{-3}$
SAOG4016	"	$2,29 \cdot 10^{-3}$	9 185	$1,53 \cdot 10^{-3}$
SAOG5016	"	$2,72 \cdot 10^{-3}$	10 855	$1,80 \cdot 10^{-3}$
SJ700	Япония	$0,19 \cdot 10^{-3}$	1 653	$0,27 \cdot 10^{-3}$
SJ2000	"	$0,55 \cdot 10^{-3}$	4 726	$0,79 \cdot 10^{-3}$
SJ3000	"	$0,83 \cdot 10^{-3}$	1 080	$1,18 \cdot 10^{-3}$
SJ4000	"	$1,11 \cdot 10^{-3}$	9 452	$1,57 \cdot 10^{-3}$
SJ6000	"	$1,67 \cdot 10^{-3}$	14 178	$2,36 \cdot 10^{-3}$
SJ8000	"	$2,22 \cdot 10^{-3}$	18 904	$3,14 \cdot 10^{-3}$
„Гравитрол 800В“	Великобритания	$0,55 \cdot 10^{-3}$	10 020	$1,67 \cdot 10^{-3}$
„Гравитрол 1500С“	"	$0,97 \cdot 10^{-3}$	17 535	$2,92 \cdot 10^{-3}$
„Гравитрол 3000В“	"	$2,08 \cdot 10^{-3}$	25 050	$4,17 \cdot 10^{-3}$

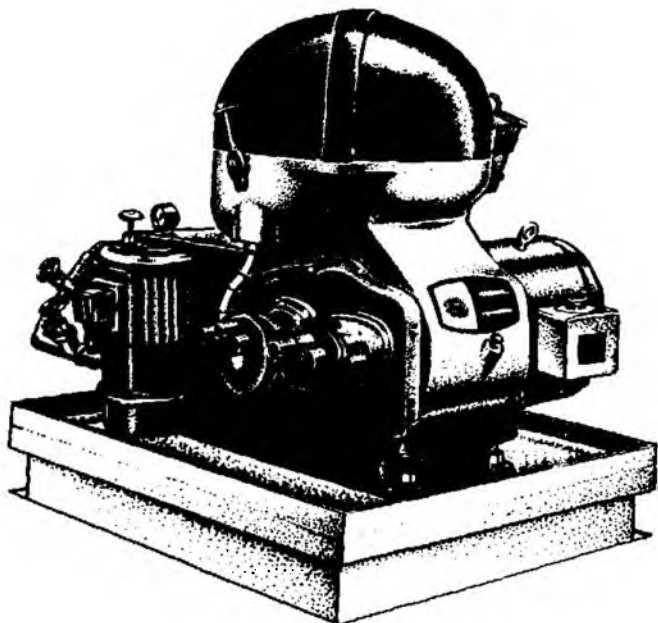


Рис. 5.8. Центробежный сепаратор „Гравитрол“.

Привод сепараторов осуществляется от электродвигателя переменного тока 220 и 380 В, 50 Гц или постоянного тока 220 В.

Сепараторы обеспечивают нормальную работу при бортовой качке до 30° .

Саморазгружающиеся сепараторы зарубежных фирм можно устанавливать в необслуживаемых машинных отделениях судов, в этом случае их поставляют с системой программного управления. Гидравлическая система этих сепараторов обеспечивает принудительное открывание и закрывание барабана сепаратора.

В СССР значения параметров, при которых определяется номинальная производительность сепараторов, регламентируется ГОСТ 13477-68 „Сепараторы центробежные судовые. Номинальные производительности“. При этом в качестве очищаемой жидкости принято турбинное масло вязкостью 2° ВУ, плотностью $0,896 \text{ г/см}^3$ при начальном общем загрязнении не более $0,3\%$ и обводнении до 3% . В режиме пурификации из очищаемого турбинного масла должны удаляться частицы механических примесей неорганического происхождения размером более 3 мкм , плотностью не более $1,9 \text{ г/см}^3$ и частицы органического происхождения размером более 6 мкм , плотностью не более $1,2 \text{ г/см}^3$.

Понятие „номинальная производительность“ и условия, при которых она определяется, могут быть также распространены и на другие силовые очистители.

На рис. 5.9 дан график $\Sigma = f(Q)$ для сепараторов фирмы „Титан“ (Дания), номинальная производительность Q_n которых в режиме кларификации определена $\Sigma \cdot 10^3 \text{ м}^2$

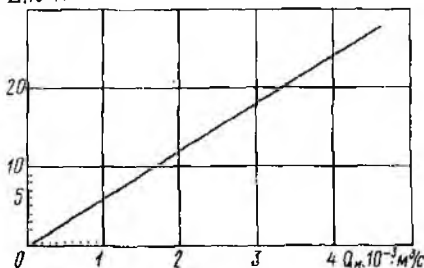


Рис. 5.9. График зависимости номинальной производительности сепаратора Q_n от индекса производительности Σ при $E = 1,66 \cdot 10^{-6}$.

фирмой для разделения обрабатываемой жидкости E , аналогичной предусмотренной ГОСТ 13477-68.

Известно, что при одинаковых E отношение производительности Q к индексу производительности Σ является величиной постоянной, т. е. $Q/\Sigma = Eg$. Это позволяет, используя график на рис. 5.9 как номограмму, определить номинальную производительность любого сепаратора по величине Σ , подсчитанной по данным технической документации.

Найденная таким образом по графику номинальная производительность центробежного сепаратора соответствует номинальной производительности, предусмотренной ГОСТ 13477-68 для сепараторов в режиме классификации (табл. 5.9).

В табл. 5.9 приведены расчетные величины Σ и значения номинальной производительности сепараторов Q_n , полученные по графику на рис. 5.9 для наиболее распространенных марок сепараторов, а также значения производительности Q , установленные фирмами-изготовителями для сепараторов тех же марок.

Как следует из табл. 5.9, отличия между производительностями Q_n и Q достигают 40% и более, что имеет важное значение при выборе оптимальных параметров сепараторов для проектируемых систем. Производительность Q , приведенная в табл. 5.9, является фактической по отношению к номинальной производительности Q_n , поскольку получена в условиях, отличных от регламентируемых ГОСТ 13477-68.

Учитывая важность правильного использования сепаратора при эксплуатации в судовых системах на различных видах нефтепродуктов, физические свойства которых отличаются от номинальных по ГОСТ 13477-68, в ГОСТ 17601-72 специально даются контрольные показатели очистки некоторых нефтепродуктов по максимальному размеру частиц в очищенном нефтепродукте. Фактическая производительность сепаратора, как правило, меньше номинальной и не может рассматриваться как критерий сравнения сепараторов между собой.

Фактическая производительность, определяемая, как и номинальная, в режиме кларификации, может быть выражена через значение номинальной производительности по уравнению

$$Q_{\phi} = Q_n \frac{\delta_{\phi}^3}{\delta_n^3} k \frac{\rho_{\phi} - \rho_{ж.ф}}{\rho_{\phi} - \rho_{ж.н}},$$

где δ_n, δ_{ϕ} — предельные размеры частиц в очищенном нефтепродукте при номинальной и фактической производительностях соответственно; $k = \mu_n/\mu_{\phi}$ — коэффициент, учитывающий соотношение между динамической вязкостью нефтепродукта при номинальной и фактической производительностях.

Используя это уравнение, при наличии фактической производительности, определенной в результате технологических испытаний, можно подсчитать номинальную производительность сепаратора или наоборот.

Магнитные фильтры, используемые для очистки масла и рабочей жидкости, изготовляют в виде подковообразных магнитов, вмонтированных в сливную пробку масляного картера, или в виде отдельного фильтрообразующего элемента, помещаемого в поток циркулирующей жидкости.

Фирма „Регелтехник“ (ФРГ) выпускает фильтры типа КТ, состоящие из защитной сетки и сильного постоянного магнита, притягивающего частицы загрязнений размером 8 мкм и менее (рис. 5.10).

Порядок расчета очистителей нефтепродуктов. Эффективность очистки нефтепродукта в гравитационном поле оценивается относительным количеством осаждаемых частиц σ , прошедших через сечение отстойника за время τ .

В процессе осаждения распределение осаждаемых частиц по высоте отстойника будет меняться. При этом начальная концентрация частиц C соответствует исходной функции распределения $f(\delta)$, а концентрация частиц в заданном сечении по истечении времени τ будет соответствовать новой функции распределения $f^*(\delta)$, определяемой частицами, оставшимися в данном сечении.

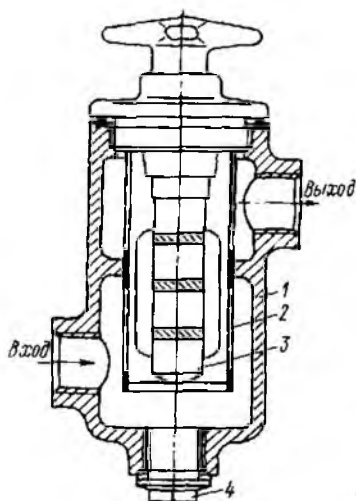


Рис. 5.10. Магнитный очиститель фирмы „Регелтехник“.

1 — корпус; 2 — сетка; 3 — магнитный сердечник; 4 — сливная пробка.

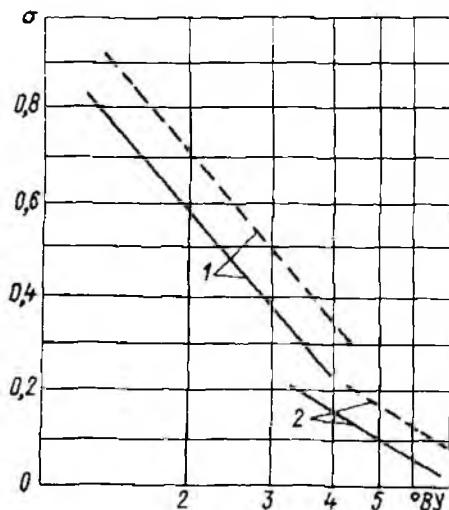


Рис. 5.11. Зависимость эффективности отстаивания механических примесей и воды в топливах различных марок от вязкости.

1 — моторное топливо; 2 — мазут.

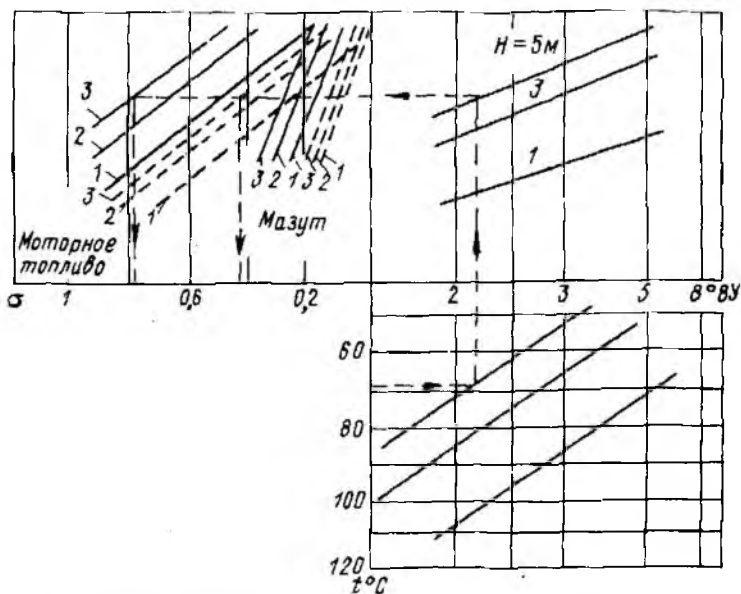


Рис. 5.12. Номограмма осаждения примесей в топливе по времени.

1 — 8 ч; 2 — 16 ч; 3 — 24 ч.

— — вода; - - - - механические примеси.

Величину σ можно выразить через конструктивные параметры отстойной цистерны и свойства топлива

$$\sigma = \frac{1}{1 + \frac{18 \mu H}{g (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{ж}}) \tau \delta_0^2}}, \quad (5.1)$$

где H — высота осаждения; μ — динамическая вязкость топлива; δ_0 — параметр распределения.

На рис. 5.11 представлена зависимость эффективности отстаивания механических примесей и воды в топливах различных марок от вязкости. Там же нанесены кривые, вычисленные по формуле (5.1), для значений σ_0 и δ_0 , соответственно равных 1, 4 и 80 для воды и 1 и 40 для механических примесей. Кривые эффективности для мазутов более пологие, чем для моторного топлива из-за меньшей разности плотностей частиц загрязнений и топлива. Поэтому при одинаковой вязкости эффективность отстаивания у мазутов ниже.

На рис. 5.11 видно, что практически невозможно обеспечить высокую эффективность отстаивания мазутов в судовых условиях из-за ограничений по температуре их нагрева, которая не должна превышать 95°C во избежание возможного вскипания топлива. При этой температуре у мазутов типа ДМ (ГОСТ 1667-68) не удается снизить вязкость ниже $3,5^\circ\text{ВУ}$, что недостаточно для достижения надлежащей эффективности отстаивания как воды, так и механических примесей.

С помощью формулы (5.1) построена номограмма для определения эффективности отстаивания при различных значениях вязкости топлива и высоты отстойной цистерны для разных марок топлива (рис. 5.12). По номограмме в зависимости от марки топлива и требуемой эффективности отстаивания воды и механических примесей можно определить необходимую температуру подогрева топлива и время отстаивания при заданной продолжительности по марке топлива и температуре подогрева. Пользование номограммой поясняется стрелками.

Пример 1. Моторное топливо ДТ при температуре подогрева $t = 70^\circ\text{C}$ имеет вязкость $2,1^\circ\text{ВУ}$. Тогда, если у отстойной цистерны высота 5 м, эффективность отстаивания за 8 ч составит: воды $\sigma = 0,8$, механических примесей $\sigma = 0,42$.

Пример 2. Из моторного топлива необходимо удалить 60% находящейся в нем воды. Требуется найти продолжительность отстаивания топлива той же партии, что и в примере 1, но при высоте отстойной цистерны $H = 3$ м.

Проведем вертикаль (см. рис. 5.12) из точки $\sigma = 0,6$ и горизонталь из точки пересечения линии $H = 3$ м с пунктирной линией (соответствующей вязкости $2,1^\circ\text{ВУ}$). Найдем точку их пересечения, которая лежит около кривой продолжительности отстаивания 8 ч.

Общими рекомендациями при выборе режимов отстаивания нефтепродуктов могут быть следующие: вязкость моторного топлива должна лежать в пределах $1,5-2^\circ\text{ВУ}$, что обеспечит эффективность отделения воды за первые 8 ч до 0,8, а механических примесей до 0,5. Продолжительность отстаивания должна быть не менее 8 ч, так как к этому времени основная масса загрязнений выпадает в осадок. Отстаивание мазутов не эффективно из-за вскипания воды, содержащейся в топливе, при температуре подогрева около 100°C и возможности выброса топлива из цистерны. При более низкой температуре подогрева вязкость мазутов не снижается ниже $3,5-4^\circ\text{ВУ}$, что недостаточно для эффективного течения процесса. Кроме того, плотность мазутов и воды значительно меньше, чем воды и моторного топлива (кривые эффективности на номограмме рис. 5.12 для последнего идут более полого), что также снижает эффективность отстаивания.

Эффективность очистки нефтепродукта в центробежном поле зависит от ряда факторов, учесть которые в настоящее время при расчете технологических показателей сепараторов не представляется возможным.

В реальных условиях на процесс сепарирования влияют следующие факторы, связанные с конструктивными особенностями сепаратора: отстаивание жидкости, поступающей в барабан, от его вращения; неравномерность течения жидкости в межтарелочном пространстве; образование вихревых зон; неравномерность питания по высоте пакета тарелок и т. д. Имеют значение также факторы, связанные непосредственно с очищаемым топливом: уменьшение объема топлива, протекающего через барабан, вследствие выпадения загрязнений на стенки тарелок; изменение концентрации загрязнений; степень неоднородности дисперсного состава примесей; марка топлива и т. д. Поэтому действительная производительность сепаратора отличается от теоретической на величину β , равную отношению производительности действительной Q_d к теоретической Q_T .

Известно уравнение производительности сепаратора (m^3/c), выведенное из условия равномерного распределения скорости очищаемой жидкости по межтарелочному пространству,

$$Q = 0,465 \beta \Phi E, \quad (5.2)$$

где Φ — разделяющий фактор, $\Phi = \omega^2 z (R_{\max}^3 - R_{\min}^3) \lg \alpha$; E — разделяемость смеси, $E = [(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{ж}}) r_{\text{кр}}^2] / \mu$; ω — угловая скорость вращения, c^{-1} ; z — число тарелок; $R_{\max}$, $R_{\min}$ — максимальный и минимальный радиусы тарелок, м; $r_{\text{кр}}$ — крупность разделения, которая определяется как максимальный размер (в нашем случае радиус), оставшийся в очищенном топливе после сепарирования, мкм; $\beta = 0,5 \div 0,7$ — технологический КПД или коэффициент эффективности сепаратора, учитывает отклонение реального процесса от теоретического.

Из формулы (5.2) крупность разделения

$$r_{\text{кр}} = \frac{1}{\sqrt{\beta}} \sqrt{k \frac{Q}{\Phi}}, \quad (5.3)$$

где

$$k = \frac{\mu}{0,465 (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{ж}})}.$$

Следовательно, действительная крупность разделения $r_{\text{кр}}$ будет отличаться от теоретической на величину $1/\sqrt{\beta}$.

Коэффициент β не является величиной постоянной и в зависимости от конструкции сепаратора и режимов его работы может меняться. Значение β может быть представлено в виде функции чисел Re , Fr и Ar .

Выражение для действительной крупности разделения найдено в виде:

$$r_{\text{кр}} = \frac{0,61 \left(\frac{Re}{Fr} \right)^{0,1}}{Ar^{0,98}} \sqrt{k \frac{Q}{\Phi}}, \quad (5.4)$$

где числа подобия Re , Fr и Ar для сепараторов могут быть вычислены по формулам

$$Re = \frac{Q \rho_{\text{ж}}}{2\pi R_{\min}}; \quad Fr = \frac{Q^2}{z^2 R_{\min}^3 h^3 \omega^2};$$

$$Ar = \frac{\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{ж}}}.$$

$$\beta = 2,75 \left(\frac{Fr}{Re} \right)^{0,2} Ar^{1,96}.$$

Действительную производительность сепаратора, необходимую для достижения заданной крупности разделения, определяем по формуле

$$Q_d = 1,28 \Phi E \left(\frac{Fr}{Re} \right)^{0,2} Ar^{1,96}. \quad (5.5)$$

При эксплуатации топливных сепараторов и комплектации ими систем топливоподготовки необходимо бывает решить две основные задачи: 1) установить производительность сепаратора, обеспечивающего заданную крупность разделения при известных значениях разделяющего фактора сепаратора Φ и разделяемости обрабатываемого продукта E ; 2) определить эффективность очистки топлива данным сепаратором, если известна его производительность.

Решение первой задачи осуществляется по уравнениям (5.3) и (5.4). Для решения второй задачи можно использовать формулу

$$\epsilon = \frac{1}{1 + \frac{r_o^2}{r_{кр}^2}},$$

которая устанавливает связь между крупностью разделения и эффективностью очистки топлива сепаратором. Параметр r_o колеблется в широких пределах, поэтому зависимость $\epsilon = f(r_{кр})$ не может быть однозначной.

На практике часто эффективность сепараторов оценивается зависимостью $\epsilon = f(Q)$ или $\epsilon = f(Q/\Phi)$ при сравнении различных сепараторов, отличающихся разделяющим фактором. В этом случае

$$\epsilon = \frac{1}{1 + \frac{r_o^2 Q}{k \beta \Phi}}.$$

Зная начальную концентрацию загрязнений C_o , можно вычислить концентрацию примесей в очищенном топливе

$$C_o = C \left(\frac{1}{1 + \frac{r_o^2 Q}{k \beta \Phi}} \right).$$

В этих формулах величина r_o является характеристикой дисперсности частиц примесей, которая должна быть определена экспериментально при дисперсном анализе.

Прологарифмируем выражение (5.3). Заменяя r на δ , имеем

$$\ln \delta_{кр} = 0,5 \ln \left(\frac{kQ}{\beta \Phi} \right). \quad (5.6)$$

Следовательно, в логарифмических координатах зависимость (5.6) представляет собой прямую с тангенсом угла наклона 0,5.

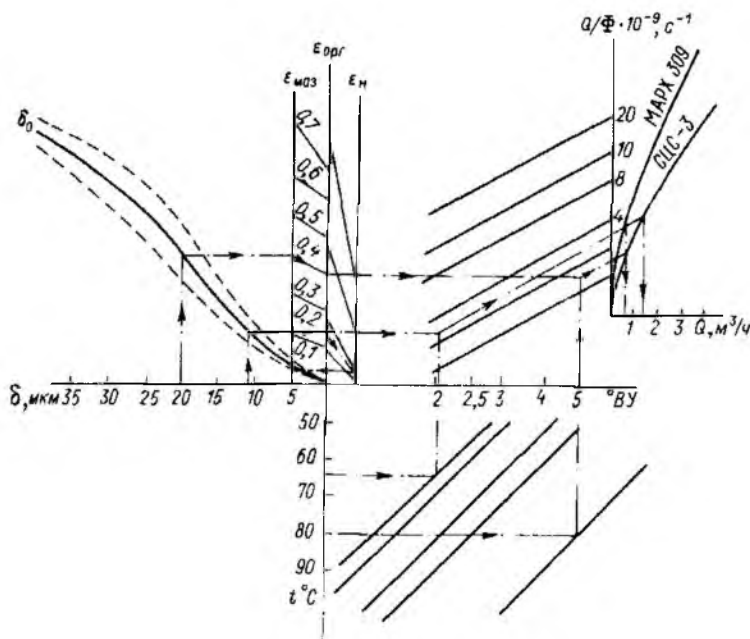


Рис. 5.13. Номограмма для выбора режимов сепарирования топлив.

С использованием полученных закономерностей разработана номограмма для определения эффективности процесса центробежного сепарирования топлива (рис. 5.13). По номограмме в зависимости от марки топлива (или партии топлива) и требуемой крупности разделения $\delta_{кр}$ можно определить необходимую температуру подогрева топлива при сепарировании и относительную концентрацию примесей (раздельно органических и неорганических), а также выбрать необходимую производительность сепаратора по отношению Q/Φ либо по марке топлива и температуре подогрева определить эффективность очистки ϵ и крупность разделения $\delta_{кр}$ при заданной производительности сепаратора.

Очистка сепаратором топлива от воды происходит с большей эффективностью, чем от механических примесей. При правильно настроенном сепараторе из моторных топлив разных марок от ДТ до Ф-12 вода удаляется до следов.

При очистке мазутов (начиная с ДМ) можно принять, что эффективность очистки ϵ от воды вдвое меньше, чем для механических примесей. С учетом этого номограмма рис. 5.13 построена только для механических примесей.

Ниже приводятся несколько примеров пользования номограммой рис. 5.13 при решении конкретных задач.

Пример 1. По заданной крупности разделения органических примесей δ найти производительность сепаратора.

Пусть для топлива при температуре подогрева $t = 65^\circ\text{C}$ обеспечивается вязкость $2,2^\circ\text{ ВУ}$. Задаваясь крупностью разделения $\delta = 12\text{ мкм}$, получаем значение $\epsilon_{орг} = 0,15$.

Диапазон изменения относительной концентрации примесей в зависимости от состава примесей (дисперсности загрязнений) может лежать в пределах $0,12 < \epsilon_{орг} < 0,2$.

Для $\epsilon_{орг} = 0,15$ при вязкости $2,2^\circ\text{ ВУ}$ получаем точку пересечения, которая лежит на линии, соответствующей отношению $Q/\Phi = 3,5 \cdot 10^{-9}, \text{ с}^{-1}$. Этому отношению в свою очередь соответствуют (в зависимости от значения разделяющего фактора

Ф сепаратора) разные значения производительности. Так, для сепаратора СПС-3 производительность $Q = 1,5 \text{ м}^3/\text{ч}$, для сепаратора МАРХ309, у которого значение разделяющего фактора меньше, производительность должна быть $Q = 0,6 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Пример 2. Определить крупность разделения неорганических частиц (кварцевых составляющих) δ для условий предыдущего примера.

Для решения этой задачи из точки $\epsilon_{\text{орг}} = 0,15$ проводим линию на шкалу ϵ_n , получаем значение $\epsilon_n = 0,03$. Затем проводим горизонтальную линию до пересечения с кривой $\delta = 30$ и на оси δ получаем 5 мкм, т. е. $\delta = 5 \text{ мкм}$.

Пример 3. Определить максимальную производительность сепаратора СПС-3 при очистке топлива ДМ, если из топлива необходимо удалить частицы механических примесей размером более 20 мкм (предполагается, что более глубокую очистку осуществит в системе топливоподготовки фильтр).

Пусть при температуре подогрева топлива $t = 80^\circ \text{C}$ вязкость мазута составляет 5°ВУ . На шкале δ откладываем 20 мкм, что соответствует значению относительной концентрации $\epsilon_{\text{маз}} = 0,40$ (пределы $0,25 < \epsilon < 0,45$). Затем от шкалы $\epsilon_{\text{орг}}$ проводим горизонтальную прямую до пересечения с вертикальной прямой, соответствующей вязкости 5°ВУ . Получаем значение $Q/\Phi = 1,8 \cdot 10^{-9}$, которое соответствует производительности сепаратора СПС-3 $Q = 0,8 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Помимо приведенных трех примеров с помощью номограммы на рис. 5.13 можно решать и некоторые другие задачи (определять время разгрузки барабана, назначать режимы при сепарировании, выбирать типы сепараторов при комплектации системы топливоподготовки и т. д.).

§ 5.2. Пресная бытовая вода

Для очистки бытовой пресной и охлаждающей воды от взвешенных примесей применяют следующие типы силовых очистителей: гидроциклоны, магнитные фильтры и электрофильтры.

Гидроциклоны. Для отделения взвешенных частиц от воды в центробежном поле применяют гидроциклоны, которые подразделяются на напорные (закрытые) и безнапорные (открытые).

Производительность гидроциклона приблизительно определяют по формуле

$$Q_{\text{осв}} = 0,24 \frac{d_{\text{сл}}}{d_{\text{п}}} \alpha \omega \sqrt{0,02g\Delta H},$$

где $d_{\text{п}}$, $d_{\text{сл}}$ — эквивалентные диаметры питательного (входного) и сливного (выходного) патрубков, м; α — коэффициент, учитывающий потерю воды с осадком, $\alpha = 0,85 \div 0,90$; ω — площадь рабочего сечения входного отверстия, м^2 ; g — ускорение силы тяжести, $\text{м}/\text{с}^2$; ΔH — потеря напора в гидроциклоне, МПа.

Минимальная гидравлическая крупность частиц, задерживаемых гидроциклоном, может быть определена по графику (рис. 5.14), из которого видно, что при одинаковой потере напора гидроциклоны меньшего диаметра задерживают более мелкие частицы, но такие гидроциклоны быстрее засоряются. Поэтому для достижения требуемого эффекта осветления рекомендуется применять многоступенчатые гидроциклоны с аппаратами различных диаметров: первая ступень диаметром 250–350 мм, последняя — диаметром 50–75 мм. Для удобства монтажа гидроциклоны малых диаметров могут быть объединены в блоки. Основные технические характеристики гидроциклонов даны в табл. 5.10.

При эксплуатации напорных гидроциклонов следует учитывать, что при недостаточном напоре (давлении осветленной воды на выходе из аппарата) в центральной части гидроциклона под действием центробежных сил образуется зона разрежения и может возникнуть воздушный столб, увеличивающий турбулентность потока и ухудшающий процесс осветления. Следовательно, эксплуатировать напорные гидроциклоны необходимо при величине напора, препятствующей образованию воздушного столба (0,05–0,1 МПа).

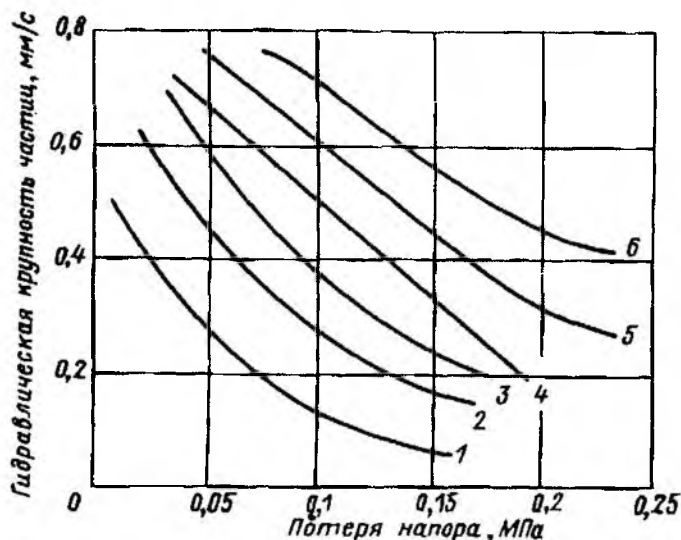


Рис. 5.14. Зависимость гидравлической крупности частиц от потери напора в гидроциклоне при различных диаметрах аппарата.

1 – 15 мм; 2 – 50 мм; 3 – 75 мм; 4 – 100 мм; 5 – 150 мм; 6 – 250 мм.

Безнапорные гидроциклоны способны задерживать только относительно крупные частицы (гидравлическая крупность более 10 мм/с).

Существенным недостатком гидроциклона является сложность удаления всплывающих веществ.

Гидроциклон литой конструкции показан на рис. 5.15.

Таблица 5.10

Основные технические характеристики гидроциклонов

Диаметр корпуса, мм	Угол конусности, град	Диаметр сливного отверстия, мм	Размеры питающего отверстия, мм	Высота, мм			Масса, кг
				H	H_1	H_2	
75	20	30	10 x 30 15 x 30 10 x 45	305	185	48	37
150	20	45	10 x 45 20 x 25	695	350	110	115
250	20	90	20 x 65 30 x 65	1070	440	145	251
350	20	105	20 x 90 40 x 90	1450	535	190	424
500	20	150	20 x 140 40 x 140	2015	670	275	772

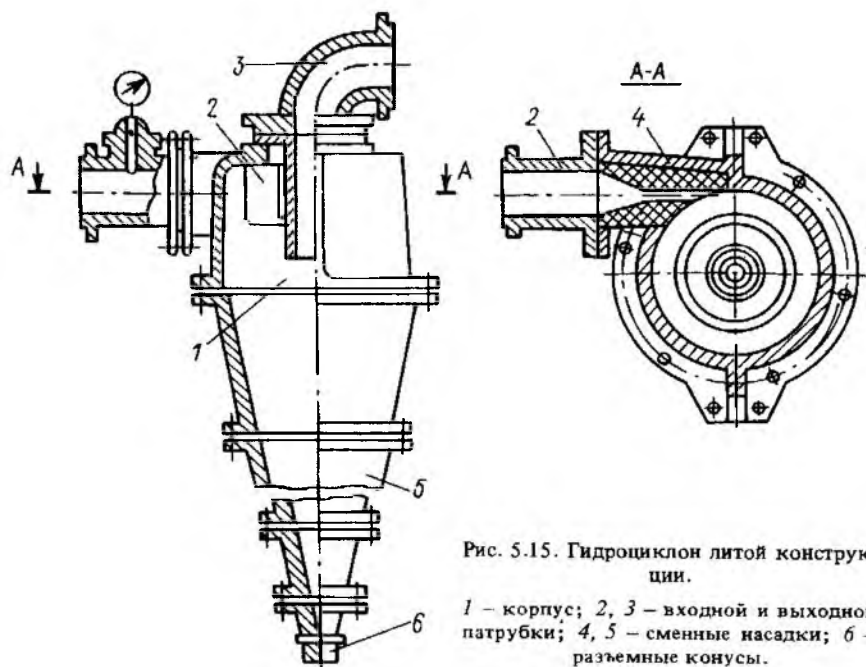


Рис. 5.15. Гидроциклон литой конструкции.

1 – корпус; 2, 3 – входной и выходной патрубки; 4, 5 – сменные насадки; 6 – разъемные конусы.

Магнитные фильтры. Эти фильтры предназначены для укрупнения (коагуляции) и улавливания частиц примесей из воды в магнитном поле. Применяют такие фильтры с использованием постоянных магнитов и электромагнитов (электромагнитные фильтры).

Механизм влияния магнитного поля на воду и ее примеси окончательно еще не выяснен. Большинство теорий объясняют эффект магнитной обработки воды действием магнитного поля на присутствующие в воде ионы солей, которые подвергаются поляризации и деформации. Сольватация ионов при этом уменьшается, происходит их сближение и кристаллизация. Согласно некоторым гипотезам магнитное поле действует на примеси воды, находящиеся в коллоидном состоянии. Распространена также точка зрения об изменении структуры воды под влиянием внешнего магнитного поля.

На омagnичивание воды влияют многие факторы: солевой состав, природа механических примесей и их концентрация, геометрия (ориентация по отношению к потоку воды) магнитного поля, скорость воды и др.

В результате магнитной обработки воды могут быть достигнуты:

- флокуляция (укрупнение) частиц, обладающих магнитными свойствами, например, частиц окислов железа;
- снижение биологического обрaстания охлаждаемых поверхностей;
- уменьшение накипобразования теплообменников.

Основные технические характеристики аппаратов для магнитной обработки воды даны в табл. 5.11 и 5.12. Конструкция аппарата с постоянными магнитами изображена на рис. 5.16, а с электромагнитами – на рис. 5.17.

Электрофильтры. Электрофильтры предназначены для отделения взвешенных примесей из воды за счет сил внешнего электрического поля. Электрофильтры могут быть с растворимыми и нерастворимыми электродами, с однородным и неоднородным электрическими полями. Разновидностью электрофильтров являются электрокоагуляторы.

Для расчета электрокоагулятора с растворимыми алюминиевыми электродами необходимо определить дозу алюминия, силу тока, напряженность электрического

Основные технические характеристики аппаратов с постоянными магнитами для обработки воды

Характеристика	ПМУ-1	ПМУ-2	АМП-5
Производительность, м ³ /ч	3	5	5
Скорость воды в рабочем зазоре, м/с	1–2	2	2–3
Напряженность поля, А/м	12 · 10 ⁴	12 · 10 ⁴	13,6 · 10 ⁴
Рабочий зазор, мм	5	10–20	8
Пребывание воды в поле, с	0,03	0,02	0,04
Масса магнита, кг	1,25	1,65	0,67
Габариты, мм	566 × 100	179 × 170 × 142	116 × 100

поля, плотность тока, площадь и толщину алюминиевых электродов, размер электрокоагулятора, выбрать систему соединения электродов и источник питания.

Исходные данные для расчета: физико-химические показатели качества обрабатываемой воды, электропроводность воды, состав характерных загрязнений и статистически вероятный размер частиц, производительность фильтра.

Дозу алюминия выбирают исходя из удельных расходов Al^{3+} на удаление отдельных загрязнений, приведенных в табл. 5.13. Дозу Al^{3+} можно ориентировочно определить из диаграмм (рис. 5.18 и 5.19), построенных по результатам экспериментального электрокоагулирования загрязненных вод в широком диапазоне мутности и цветности.

Обычно доза алюминия, необходимая для очистки судовых вод, составляет 2–8 мг/л и уточняется при пробном электрокоагулировании.

Силу тока (А) обеспечивающую необходимую концентрацию алюминия в обрабатываемых судовых водах, определяют по формуле $I = czQF/\eta M_{Al}$, где c – доза алюминия, г/л; z – число электронов, участвующих в электрохимической реакции; Q – расход обрабатываемой воды, л/ч; $F = 26,8$ – число Фарадея, А · ч/г-экв; η – выход по току ионов алюминия; M – молекулярная масса алюминия, г-экв.

Напряженность электрического поля E (В/см) обеспечивает поляризационное взаимодействие и коагуляцию частиц дисперсной фазы как имеющихся в исходной воде, так и вновь образовавшихся в результате растворения электродов. Оптимальная напряженность поля для судовых загрязненных вод 30–50 В/см.

Плотность тока i (мА/см²) выбирают исходя из условия обеспечения максимального выхода Al^{3+} и минимального обрастания электродов солями жесткости,

Таблица 5.12

Основные технические характеристики электромагнитных аппаратов для обработки воды

Характеристика	Тип		
	первый	второй	третий
Производительность, м ³ /ч	4	6	6
Скорость воды в рабочем зазоре, м/с	1,15	1,15	1,3
Напряженность поля, А/м	28 · 10 ⁴	28 · 10 ⁴	28 · 10 ⁴
Рабочий зазор, см ²	36,5	60	105,4
Пребывание воды в магнитном поле, с	0,026	0,026	0,023
Масса аппарата, кг	115	213	228
Рабочее давление, МПа	0,6	0,6	0,6

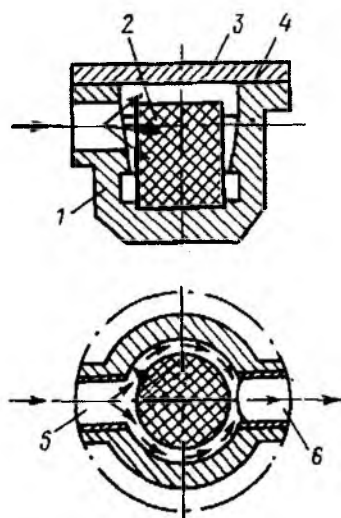


Рис. 5.16. Аппарат с постоянными магнитами для обработки воды.

1 — корпус; 2 — постоянный магнит; 3 — фланец; 4 — прокладка; 5, 6 — вход и выход воды.

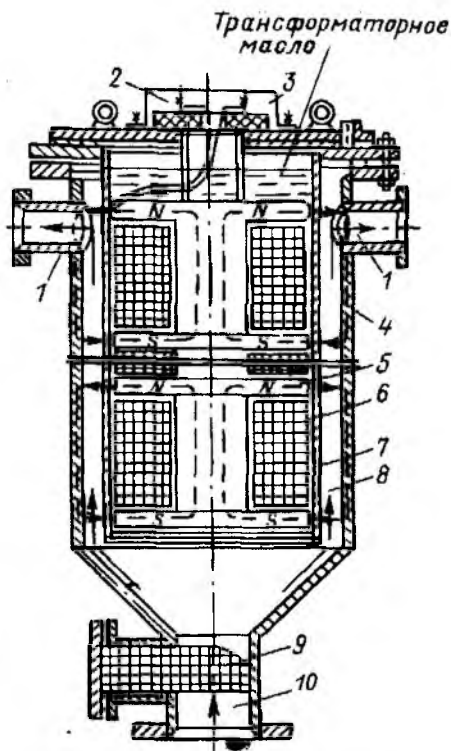


Рис. 5.17. Электромагнитный аппарат для обработки воды.

1, 10 — выход и вход воды; 2 — клеммы; 3 — крышка; 4 — корпус; 5 — сердечник; 6 — катушка; 7 — кожух; 8 — рабочая камера; 9 — сетка.

Таблица 5.13

Удельный расход алюминия и электроэнергии на удаление загрязнений из воды

Загрязнения	Предварительная очистка с расходом		Глубокая очистка с расходом	
	алюминия	электроэнергии, Вт·ч/м ³	алюминия	электроэнергии, Вт·ч/м ³
Создающие:				
мутность	0,04–0,06	5–10	0,15–0,2	20–40
цветность	0,04–0,1	10–40	0,1–0,2	40–80
Соединения:				
кремния	0,2–0,3	20–60	1–2	100–200
железа	0,3–0,4	30–80	1–1,5	100–200
Бактерии	0,01–0,04	5–20	0,15–0,2	40–80

Примечания. 1. Температура воды 20°C, pH ≈ 7,2, содержание 2,5 мг-экв/л, плотность тока 2 мА/см². 2. Расход алюминия для загрязнений, создающих мутность, приведен в мг/мг, создающих цветность — в мг/град, для соединений кремния и железа — в мг/мг и для бактерий — в мг/1000 шт.

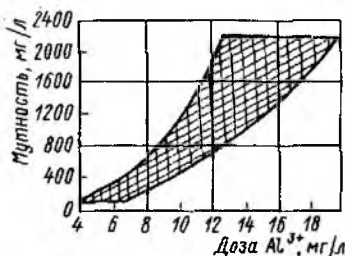


Рис. 5.18. График для определения расхода алюминия при осветлении мутных вод электрокоагулированием.

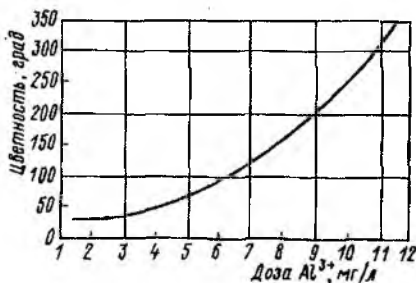


Рис. 5.19. График для определения расхода алюминия при обесцвечивании цветных вод электрокоагулированием.

оседающими на их поверхности в виде накипи. Отложения легче всего образуются в том месте, где плотность тока минимальна. Однако слишком высокая плотность тока нежелательна ввиду интенсивного газообразования. Величина плотности тока должна составлять 2,5–4 мА/см².

По выбранной плотности тока i суммарная поверхность анодов (см²) определяется как $S = I/i$.

Необходимую толщину анодов δ_a (мм) определяют с учетом их износа на 80% и срока эксплуатации, т. е.

$$\delta_a = \frac{QDAIR}{0,47S \cdot 10^6},$$

где R — ресурс электродов до замены, ч.

Форму и размеры электродов выбирают по конструктивным соображениям. Электроды могут быть выполнены в виде усеченного конуса, плоских пластин, дисков и т. д.

Соединение электродов возможно по двум схемам: монополярной и биполярной. По монополярной схеме напряжение подводится к каждой паре электродов, по биполярной — только к крайним электродам. В последнем случае промежуточные электроды, расположенные между крайними электродами, поляризуются, т. е. одна сторона электрода работает как анод, а другая как катод.

Схема с биполярными электродами более предпочтительна, так как упрощается система токоподвода и появляется возможность повысить до оптимальных значений напряженность поля в межэлектродном зазоре.

Для выбора источника питания необходимо знать потребляемую электрокоагулятором мощность W (Вт), определяемую по формуле $W = IU$, где U — напряжение на электродах, В. Для биполярной схемы $U = U_{\text{яп}}$, для монополярной схемы $U = 2U_{\text{я}}$, где $U_{\text{я}}$ — напряжение на одной ячейке; n — количество ячеек (пар электродов).

Напряжение на один зазор должно составлять 2–4 В. Желательно, чтобы напряжение, подаваемое на электроды, не превышало величины, безопасной для обслуживающего персонала, т. е. было не выше 36 В.

Схема управления источником питания должна обеспечивать возможность переподсоединения, т. е. смены полярности электродов вручную (кнопкой, тумблером) или автоматически. В последнем случае переподсоединка производится по сигналу реле времени.

Ширина межэлектродного зазора $q_3 = U_{\text{я}}/E$. Скорость потока воды в межэлектродном зазоре должна быть такой, чтобы время нахождения воды в камере электрообработки было не менее 1 мин.

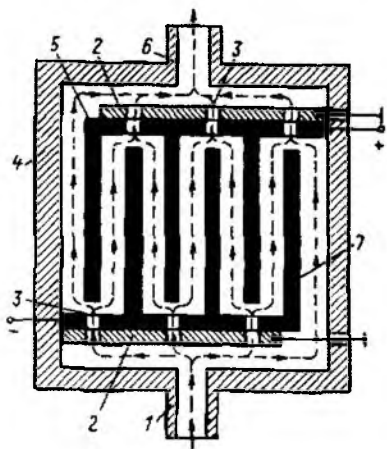


Рис. 5.20. Электрокоагулятор с плоскими электродами.

1, 6 – вход и выход; 2 – приспособление для регулирования потока воды; 3 – отверстия; 4 – корпус; 5, 7 – электроды в виде блока анодов и блока катодов.

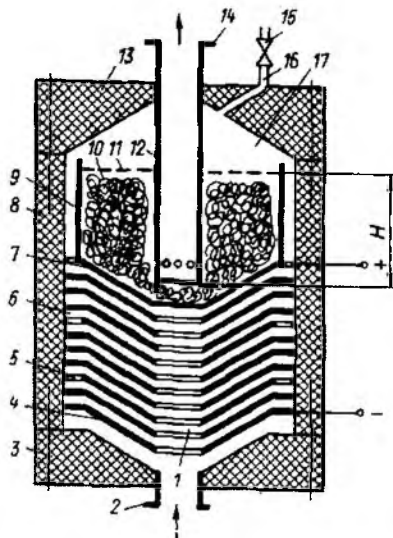


Рис. 5.21. Электрокоагулятор с электродами в виде усеченных конусов.

1 – центральный водораспределительный канал; 2 – подвод воды; 3, 13 – крышки; 4 – электроды; 5 – отверстия; 6 – межэлектродные зазоры; 7 – доньшко; 8 – корпус; 9 – камера флокуляции; 10 – насадка (например, капролоновая стружка); 11 – сетка; 12, 14 – отвод воды; 15, 16 – отвод газа; 17 – газосборник.

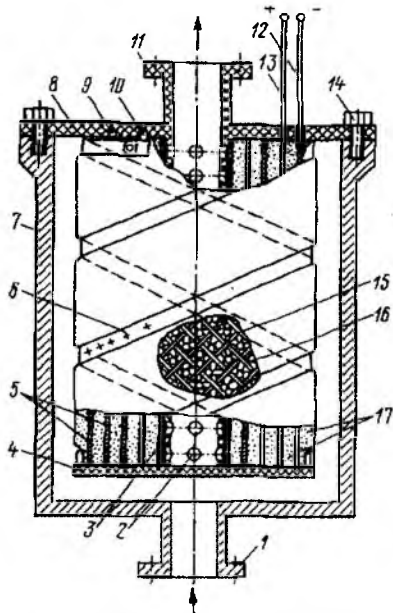


Рис. 5.22. Электрофильтр с неоднородным электрическим полем.

1, 2, 4, 11, 14 – элементы конструкции; 3 – водосборный коллектор; 5 – электроды в виде сеток, навитых на барабан; 6, 9, 10, 12, 13 – элементы конструкции; 7 – корпус; 8 – крышка; 15 – сетка; 16 – алюминиевая стружка или гранулы; 17 – пенополиуретановая прокладка.

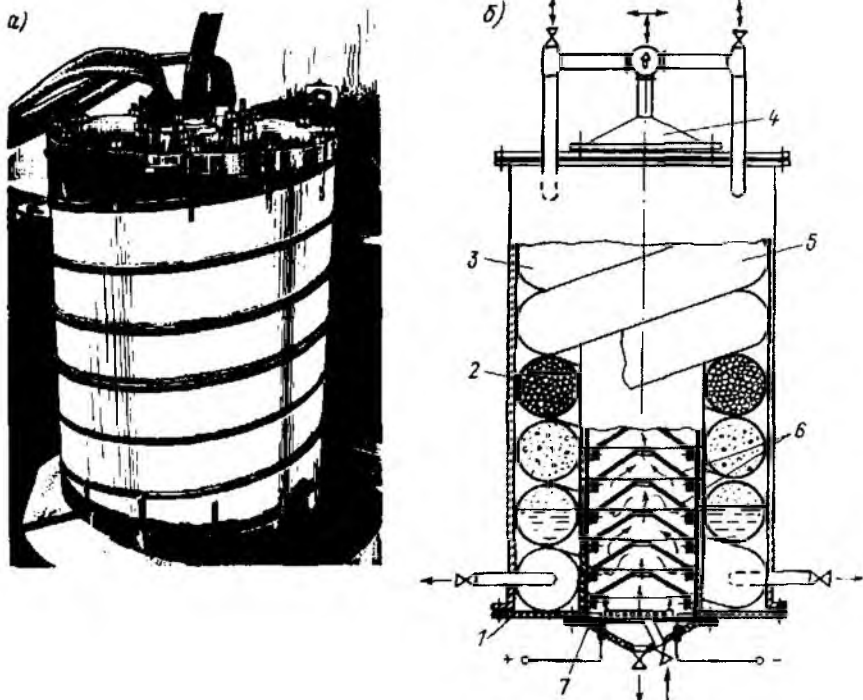


Рис. 5.23. Электрофильтр: а — общий вид; б — схема устройства.

1 — корпус; 2 — фильтрующая загрузка (вспененный полистирол); 3, 5 — винтовые полости корпуса (осветлительного фильтра); 4, 7 — крышки; 6 — конусные электроды.

Для расчета электрофильтров с неоднородным электрическим полем необходимо определить минимальную площадь сечения и высоту камеры, межэлектродный зазор, напряжение на электродах и длительность экспозиции.

В неоднородном электрическом поле напряженность поля E является переменной величиной, зависящей от того, каким образом „нарушена” однородность поля.

Неоднородное поле можно получить, например, в межэлектродном зазоре плоских электродов, поместив в него ткань, сетку, войлок, гранулы, волокна и тому подобные проницаемые набивки из диэлектрического материала (капрон, стекло и т. д.).

Силовые линии электрического поля, огибая диэлектрический материал, сгущаются в зазорах и щелях, создавая локальные микрзоны с более высокой, чем у внешнего поля, напряженностью.

При фильтровании загрязненной воды через ячейку с неоднородным электрическим полем наблюдается более высокий эффект очистки воды по сравнению с очисткой в однородном электрическом поле. Теоретически это явление объясняется существованием в неоднородном поле кроме обычных электрофоретических (кулоновских) сил также дополнительной — диполофоретической силы, обусловленной наличием микрзон с повышенной и пониженной напряженностью поля. Электрофоретические силы обеспечивают перенос загрязненных частиц в направлении действия внешнего поля, а диполофоретические силы — концентрирование, коагуляцию и удержание частиц в зонах неоднородности.

Приведем примерный порядок расчета электрофильтра с плоскими нерастворимыми электродами и рабочими камерами, заполненными диэлектрическими волокнами.

Минимальная площадь сечения камеры (см²) $f_{\min} = Q / n v_{\phi}$, где Q — производительность электрофильтра, л/ч; n — число камер; $v_{\phi} = 1 \div 4$ — скорость фильтрования, см/с; меньшие значения v_{ϕ} выбирают для обеспечения более высокого качества очистки. Межэлектродный зазор (см) $L = f_{\min} / B$, где B — ширина электродов, см. Высота камеры (см) $H = V_n / n f_{\min}$, где V_n — объем насадки, см³ (принят исходя из ресурса работы фильтра). Напряжение на электродах $U = EL$, где $E \geq E_{кр}$. Критическая напряженность поля $E_{кр}$ зависит от характеристик обрабатываемой воды и толщины волокон набивки δ_v (выбирается экспериментально). Время экспозиции $\tau = H / v_{\phi}$ должно быть не менее $\tau_{кр}$. Некоторые значения $E_{кр}$ и $\tau_{кр}$ приведены ниже:

δ_v , мкм	$E_{кр}$, В/см	$\tau_{кр}$, с
10	60	10
20	50	10
40	10	30

Для экономии электроэнергии фильтрование в фильтрах с неоднородным электрическим полем целесообразно вести с периодическим отключением внешнего электрического поля. В момент отсутствия напряжения на электродах очистка осуществляется благодаря так называемому „эффекту последствия“. При отключении электрического поля на 0,5–5 мин с интервалами 1,5–30 мин обеспечивается стабильное качество фильтра при одновременной экономии электроэнергии до 30%.

Электрокоагулятор с плоскими электродами показан на рис. 5.20, а с электродами в виде усеченных конусов — на рис. 5.21. Электрофильтры для очистки питьевой воды изображены на рис. 5.22 и 5.23.

§ 5.3. Нефтедержащие воды

Очистка нефтедержащих вод на судах производится в сепараторах гравитационного, флотационного, коалесцирующего и центробежного типов.

Гравитационные сепараторы. Наиболее простым способом разделения нефтедержащих вод является их естественный отстой. Нефтепродукты как более легкие в смеси нефть — вода постепенно всплывают, занимая верхнее положение. Если смесь находится в спокойном состоянии достаточно длительное время, то это приводит к довольно четкому разделению компонентов смеси. Основной принцип гравитационного разделения жидкостей подтверждается законом Стокса, который применим для скорости поднятия шариков нефти в воде, $w = g d^2 (\rho_v - \rho_n) / 18\mu$, где w — скорость всплытия шарика нефти, м/с; g — ускорение силы тяжести, м/с²; d — диаметр шарика нефти, м; ρ — плотность воды и нефти, кг/м³; μ — динамическая вязкость воды. Па · с.

Закон Стокса также может быть использован для твердых частиц, находящихся в воде и покрытых пленкой нефти. Шарик нефти и твердые включения, находясь в воде, будут подниматься или опускаться в зависимости от знака разности плотностей.

Эффективность гравитационного разделения таким образом зависит от размера частицы нефти, разности плотности нефти и воды и вязкости воды. А эти факторы в свою очередь зависят от температуры.

Повышение температуры способствует усилению броуновского движения мелких капель нефтепродукта и соответственно повышению вероятности их столкновений и слияний в более крупные. У более крупной капли при прочих равных условиях скорость всплытия выше, чем у мелкой.

С повышением температуры уменьшается плотность воды и нефтепродуктов, однако это уменьшение происходит неодинаково интенсивно. Разность плотностей воды и нефти с повышением температуры увеличивается, что приводит к некоторому увеличению скорости всплытия нефти при более высоких температурах. Это

увеличение более характерно для температур 60° С и выше. В значительной степени скорость всплытия частиц нефти зависит от вязкости самого нефтепродукта и вязкости воды. Уменьшение вязкости воды и нефтепродукта приводит к интенсификации процесса всплытия частиц нефтепродукта. Оптимальная температура подогрева лежит в пределах 40–70° С. Таким образом, подогрев смеси в сепараторах гравитационного типа является положительным фактором, способствующим лучшему отделению нефти.

Наиболее существенное влияние на эффективность отделения нефти оказывает величина самих частичек нефти, подлежащих отделению. Поэтому особое значение имеет способ подачи нефтесодержащих вод к сепарирующему устройству. Любое механическое воздействие на каплю нефтепродукта приводит к ее дроблению. Такое дробление имеет место как в трубопроводах, так и в насосе, осуществляющем подачу смеси к сепаратору.

Правильный выбор типа применяемого насоса и соответствие характеристик насоса по напору и подаче характеристикам сепаратора в значительной мере влияет на эффективность работы сепаратора. Диспергирующая способность насосов неравнозначна. Процентное отношение частиц нефти размером менее 254 мкм к общему нефтесодержанию в смеси после прохождения через насосы различного типа при производительности насоса 10 т/ч составляет: для трехвинтового 12, однолопастного 20, двухлопастного 21, ротационного 22, поршневого 24, гидроциклонного 40, дискового 56, центробежного 56.

Меньшая диспергирующая способность насосов объемного типа делает их более предпочтительными для комплектации систем очистки нефтесодержащих вод.

Использование насосов большей производительности, чем это необходимо для нормальной работы сепаратора, приводит к необходимости снижения производительности насосов. Если это снижение достигается увеличением сопротивления на нагнетательной части трубопровода путем прикрытия задвижки, то это приводит к повышению эмульгированию нефтепродуктов в самой задвижке. Использование для этой цели байпасного устройства со сбросом части смеси обратно в льяльный колодец приводит к повторному прохождению этой смеси через насос, т. е. к большему эмульгированию. Поэтому правильный выбор типа насоса и его производительности очень важен при создании сепарационной установки.

Одним из факторов, влияющих на эффективность работы гравитационного сепаратора, является расстояние, необходимое для прохождения частицы нефти до ее налипания на плоскость накопления или до слоя свободной отстоявшейся нефти. Это расстояние может изменяться в зависимости от конструктивных особенностей сепаратора.

Таким образом, эффективность работы гравитационного сепаратора зависит от ряда факторов, основные из которых следующие: степень эмульгирования нефтепродукта в смеси, время прохождения смеси в сепараторе (время сепарирования), конструктивные особенности сепаратора, разность плотностей воды и нефтепродукта и наличие подогрева в сепараторе.

Гравитационный способ очистки нефтесодержащих вод наиболее экономичен, так как не требует сложного оборудования, и нетрудоемок при выполнении, но он не обеспечивает стабильного качества очистки. Практика эксплуатации в судовых условиях сепараторов гравитационного типа показала, что они зачастую не обеспечивают очистной способности до 100 млн⁻¹. В последние годы применение сепараторов этого типа резко сократилось, особенно как самостоятельного средства по обработке нефтесодержащих вод, однако они служат для грубой очистки в более сложных сепарационных установках с очистной способностью до 15 млн⁻¹.

Повышение эффективности очистной способности установленных на судах сепараторов гравитационного типа может быть осуществлено за счет следующего:

— значительного снижения производительности установки. Это позволит увеличить время нахождения обрабатываемой воды в сепараторе, снизить скорость ее движения и тем самым улучшить условия отделения нефти. При этом необходимо учитывать, что снижение производительности установки путем перекуса воды с нагнетательной стороны насоса назад в трюмный колодец или на всасывающую сторону насоса приводит к излишнему дроблению частиц нефтепродуктов и соответственно к ухудшению условий очистки в сепараторе. Такой же отрицательный эффект

наблюдается при значительном дросселировании потока запорными клапанами на трубопроводах;

- дооборудования сепаратора приставкой, доводящей очистную способность до необходимых требований;

- эксплуатации сепаратора в режиме проточно-статического отстоя, при этом продолжительность отстоя должна быть не менее 3 ч;

- применения насосов объемного типа (поршневых и двухвинтовых), позволяющих уменьшить эмульгирование;

- подогрева водонефтяной смеси до 40–60°С в самом сепараторе или водоподогревателе;

- перевода работы сепаратора на вакуумный режим. Это достигается путем установки насоса после сепаратора. Насос, забирая воду из сепаратора, создает в нем давление ниже атмосферного. Поступление новых порций смеси в сепаратор производится за счет вакуума в сепараторе. При такой комбинации сепаратора и насоса полностью исключается диспергирующее действие насоса и обеспечивается поступление в сепаратор нефтеводной смеси с более крупными каплями нефтепродуктов, что в значительной степени повышает эффективность отделения этих капель в сепараторе.

Наибольшее распространение на судах получили гравитационные сепараторы следующих типов: СТВ (СССР), ТЕ (ФРГ), Е (ФРГ), SP (ПНР), WWN (ГДР). Более часто устанавливаются сепараторы типа ТЕ, которые выпускаются производительностью 0,125–350 м³/ч. Технические характеристики ряда сепараторов этого типа представлены в табл. 5.14.

Сепаратор однокорпусной вертикальный типа ТЕ представлен на рис. 5.24. Стальной корпус разделен на две части. Верхняя часть предназначена для отделения крупных капель нефти, которые легко всплывают и собираются под крышкой. Удаление нефти из сепаратора более раннего выпуска производилось вручную. Впоследствии сепараторы оборудовались автоматическим датчиком, дающим сигнал на открытие электромагнитного клапана на трубопроводе слива отстоявшейся нефти при заполнении нефтесборника нефтепродуктами.

Мелкие капли нефти, не отделившиеся в верхней зоне – зоне грубой очистки, потоком воды заносятся в нижнюю часть сепаратора. В этой зоне по центру вертикально расположена перфорированная труба, к которой по всей высоте приварены конические тарелки. Водонефтяная смесь проходит между тарелками. Мелкие частицы нефти под действием гравитационных сил всплывают и собираются на поверхности тарелок, где укрупняются. Эффективности отделения капель нефти способствует значительное сокращение пути всплытия, так как тарелки располагаются близко друг к другу. Укрупненные капли нефти всплывают и собираются в верхней части сепаратора, а очищенная вода через перфорированную трубу удаляется из него. И верхняя, и нижняя части сепаратора снабжены паровыми подогревателями для интенсификации разделения.

Флотационные сепараторы. Попытка интенсифицировать процесс отделения нефтепродуктов от воды привела к созданию сепараторов флотационного типа. Газовая флотация представляет собой процесс ускоренного гравитационного отстоя, когда всплытие частицы нефтепродукта заменяется всплытием агломератов, состоящих из пузырьков воздуха и капель нефти.

Процесс можно разбить на несколько стадий: введение пузырьков воздуха в водонефтяную смесь, столкновение пузырьков воздуха с частицами нефтепродукта, слипание воздушных пузырьков и капелек нефти, образование агломератов, поднятие агломератов на поверхность, удаление отделившейся нефти.

Эффективность очистки нефтесодержащих вод в сепараторах флотационного типа в значительной мере зависит от количества подаваемого в сепаратор воздуха, степени его дисперсности и прочности слипания воздушных пузырьков и капелек нефти.

Подача воздуха во флотационную камеру может осуществляться:

- подсосыванием воздуха во всасывающую трубу насоса;
- насыщением флотационной камеры воздухом под давлением;
- выделением пузырьков воздуха из воды при изменении давления;
- подсосыванием воздуха с помощью импеллера.

Технические характеристики сепараторов типа ТЕ

Тип	Производительность, м ³ /ч	Масса, кг	Диаметр, мм	Высота, мм
ТЕ0,125	0,125	32	265	660
ТЕ0,25	0,250	40	350	720
ТЕ0,5	0,500	45	400	760
ТЕ0,75	0,750	55	450	820
ТЕ1	1	70	500	870
ТЕ2,5	2,5	85	550	1090
ТЕ5	5	130	550	1640
ТЕ10	10	255	550	1680
ТЕ25	25	385	800	2500
ТЕ50	50	595	1000	3150

Последний способ нашел практическое применение при создании отечественного сепаратора типа СТВФ. ИмPELLер располагается внутри сепаратора, вращение его осуществляется от электродвигателя. При вращении имPELLера вода отбрасывается к периферии, а в центральную часть через воздушную трубу подсасывается воздух, который перемешивается с водой, диспергируется имPELLером и в виде мелких пузырьков выбрасывается во флотационную камеру. Поднимаясь вверх, пузырьки воздуха сталкиваются с каплями нефти и увлекают их в верхнюю часть сепаратора, откуда нефтевоздушная пена сбрасывается специальным вращающимся пеноуловителем.

Наряду с количеством и дисперсностью пузырьков воздуха для качественной очистки воды от нефти большое значение имеет прочность соединения этих пузырьков

с каплями нефти. Прочность прилипания капли нефти к воздушному пузырьку зависит от величины поверхностного натяжения на границе фаз вода-воздух, а эта величина находится в прямой зависимости от содержания в воде поверхностно-активных веществ, флотаторов. Добавление флотатора в обрабатываемую нефтесодержащую воду способствует более эффективному процессу очистки.

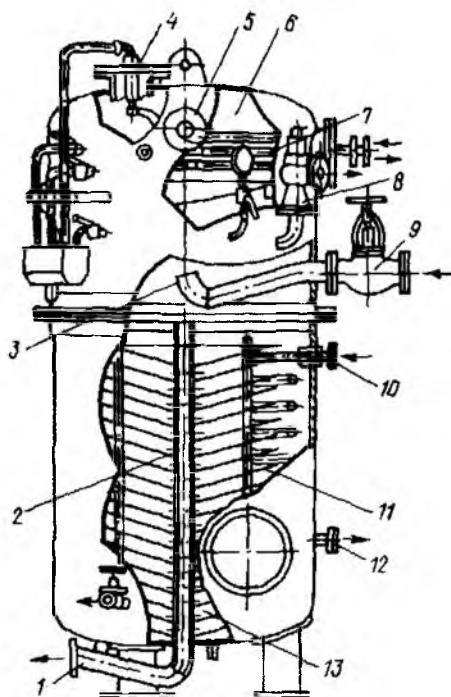


Рис. 5.24. Сепаратор типа ТЕ.

1 — выход очищенной воды; 2 — перфорированная сборная трубка; 3 — полость грубой очистки; 4 — клапан спуска воздуха; 5 — выход отделенных нефтепродуктов; 6 — полость сбора нефтепродуктов; 7 — паровой обогрев полости грубой очистки; 8 — предохранительный клапан; 9 — вход нефтесодержащей воды; 10 — вход пара в нижний отсек; 11 — улавливающие листы; 12 — выход пара из нижнего отсека; 13 — отсек тонкой очистки.

Сепараторы флотационного типа на судах представлены двумя марками — СТБ5Ф и СТБ10Ф производительностью 5 и 10 т/ч. Эти сепараторы специально созданы для использования на судах, работающих на тяжелых сортах топлива плотностью 0,985 г/см³ и выше.

Содержание нефтепродуктов в сливаемой после сепаратора воде не должно превышать 100 млн.⁻¹ при условии, что содержание нефтепродуктов в воде, подаваемой на сепаратор, не выше 400 млн.⁻¹.

Таким образом, флотационный сепаратор является доочистным устройством и должен устанавливаться после какого-либо другого очистного устройства, обеспечивающего очистку нефтесодержащих вод до 400 млн.⁻¹ (на судах таким устройством является отстойная цистерна, продолжительность отстоя в которой составляет не менее 4 ч). В результате получается двухступенчатая установка, имеющая большие габариты и массу. Кроме того, сепаратор типа СТБФ представляет собой более сложную конструкцию по сравнению с сепараторами гравитационного типа. Он оснащен блоком импеллера, пеносъемным, водосливным и дозерным устройствами. Для нормальной работы сепаратора необходима постоянная добавка флотореагента в количестве 30 г на 1 т обрабатываемой воды. Эксплуатация флотационных сепараторов на судах и испытания сепарационных установок в судовых условиях подтвердили их очистную способность до 100 млн.⁻¹.

Однако имеются и недостатки, присущие данным сепараторам:

- необходимость использования флотореагента;
- повышенная трудоемкость технического обслуживания;
- унос большого количества воды в шламовую цистерну при работе пеносъемника;
- большие габариты и масса.

Опыт эксплуатации судов с сепарационными установками, укомплектованными сепараторами СТБ5Ф и СТБ10Ф, позволяет сделать вывод о соответствии очистной способности этих установок требованиям Конвенции 1954 и 1973 гг. Однако высокие массогабаритные характеристики, конструктивные и эксплуатационные недостатки сепараторов, а также недостаточная по современным требованиям степень очистки не привели к широкому распространению этих сепараторов на судах.

Коалесцирующие сепараторы. В последние годы широкое применение на судах получили сепараторы коалесцирующего типа. Повышение эффективности отделения нефти в сепараторах данного типа достигается укрупнением мельчайших частиц нефтепродукта, что значительно способствует их отделению. Процесс коалесценции (укрупнения) практически всегда имеет место в нефтесодержащих водах. Благодаря броуновскому движению капли нефтепродукта сталкиваются и соединяются в более крупные, но скорость этого процесса незначительна и сам процесс не может иметь решающего значения для очистки воды от нефти.

Намного более эффективно коалесценция происходит при пропускании загрязненной воды через слой коалесцирующего материала. В качестве такого материала могут быть использованы: зернистые материалы (песок, галька), натуральные (шерсть, хлопок), синтетические материалы (стекловолокно, полипропилен, полиуретан), мембраны на основе целлюлоз и др.

Коалесценция — сложный процесс и механизм ее еще полностью не изучен. Упрощенно процесс укрупнения частиц нефтепродукта на коалесцирующем материале можно представить следующим образом. Мелкие капли нефтепродуктов, проходя через фильтрующий коалесцирующий материал или в непосредственной близости от него, контактируют с этим материалом и прилипают к нему либо к каплям, уже ранее прилипшим к этому материалу. Прилипшие капли сливаются и укрупняются. Укрупнение будет проходить до тех пор, пока силы, стремящиеся оторвать каплю, не станут преобладать над силами, удерживающими ее на коалесцирующем материале. Когда это произойдет, укрупненная капля оторвется от поверхности материала и всплывет. Захват капель нефти волокнами или гранулами коалесцента может происходить посредством различных механизмов: броуновской диффузии, перехвата, инерционного столкновения, гравитационного осаждения и сил трения.

Различают два типа процесса коалесценции:

- **глубинный**, когда укрупнение частиц происходит в пористом материале, и вода с нефтью проходят через этот материал;

— поверхностный, когда коалесценция имеет место на поверхности пористого материала и через материал проходит только вода.

При создании сепараторов коалесцирующего типа наиболее широко используют волокнистые материалы. Важными параметрами коалесценции для этих материалов являются:

— физические свойства коалесцирующей среды — избирательная смачиваемость слоя, характеристики распределения нефти по толщине слоя коалесцирующей среды, размеры волокон, равномерность структуры, уплотнение среды, распределение размеров пор, шероховатость поверхности волокон, проницаемость слоя относительно воды и нефтепродуктов;

— межфазное натяжение и угол касания (снижение межфазного натяжения нефти и воды способствует коалесценции диспергированной нефти);

— скорость потока (критической скоростью потока считается скорость ниже 0,01 м/с, более высокая скорость не дает возможности разделения воды и нефти), рекомендуемые скорости 0,0015–0,003 м/с;

— физико-химические свойства жидкостей — вязкость, плотность, температура и т. д.).

Успешная работа коалесцирующего фильтра во многом зависит от загрязненности обрабатываемой среды механическими примесями и поверхностно-активными веществами.

Твердые вещества, осевшие в фильтрующем слое или на его поверхности, ухудшают эффективность работы коалесцирующего элемента, так как изменяют локальные скорости жидкости в слое и его поверхностные свойства. Кроме того, они приводят к резкому повышению гидравлического сопротивления элемента и соответственно к снижению срока его эксплуатации.

Поверхностно-активные вещества, попадающие в трюмные нефтесодержащие воды при использовании в машинном отделении моющих средств, концентрируются на поверхности раздела нефти и воды во время коалесценции и препятствуют слиянию капель нефтепродукта, а также их отделению от поверхности элемента.

Структура коалесцирующего элемента из волокнистого материала обеспечивает извилистый путь для капли нефти при прохождении ее через элемент, что способствует лучшему укрупнению капель. Необходимо, чтобы структура элемента была однородной и равномерной, а его механическая прочность достаточной и способной выдерживать рабочее давление до 0,4–0,5 МПа. Диаметр волокна должен быть оптимальным не только для эффективной очистки, но и для возможности более продолжительной эксплуатации элемента до наступления предельного значения по гидравлическому сопротивлению.

Коалесцирующие сепараторы типа СК, устанавливаемые на судах, представляют собой горизонтальную сварную конструкцию, состоящую из обечайки и двух сферических днищ. В верхней части сепаратора установлены два нефтесборника. Корпус сепаратора разделен поперечной переборкой на полость грубой очистки и полость тонкой очистки. Нефтесодержащие воды поступают в сепаратор через встроившийся подогреватель, в котором они нагреваются до 35–50° С. Степень нагрева зависит от вида топлива, на котором работает главный двигатель судна.

Первоначальная очистка происходит в полости грубой очистки, где отделяются крупные капли нефти. Всплывшая нефть собирается в нефтесборнике этой полости. Частично очищенная вода с мелкими частицами нефтепродукта поступает в полость тонкой очистки, где установлены коалесцирующие элементы.

Коалесцирующий элемент представляет собой полный цилиндр из напыленного полипропилена. Наружная и внутренняя поверхности цилиндра ограничены перфорированными металлическими корпусами. Вода поступает внутрь элемента и продавливается через слой полипропилена. При этом происходит коалесценция мелких частичек нефти. Укрупненные нефтяные частицы всплывают и собираются в нефтесборнике полости тонкой очистки, а очищенная вода из нижней части полости через сливную трубу выводится из сепаратора.

Оба нефтесборника оборудованы датчиками уровня, реагирующими на раздел сред нефть–вода. По мере накопления нефти в нефтесборнике уровень раздела достигает нижнего датчика. Это приводит к открытию электромагнитного клапана на трубопроводе слива отсепарированных нефтепродуктов из нефтесборника. По мере

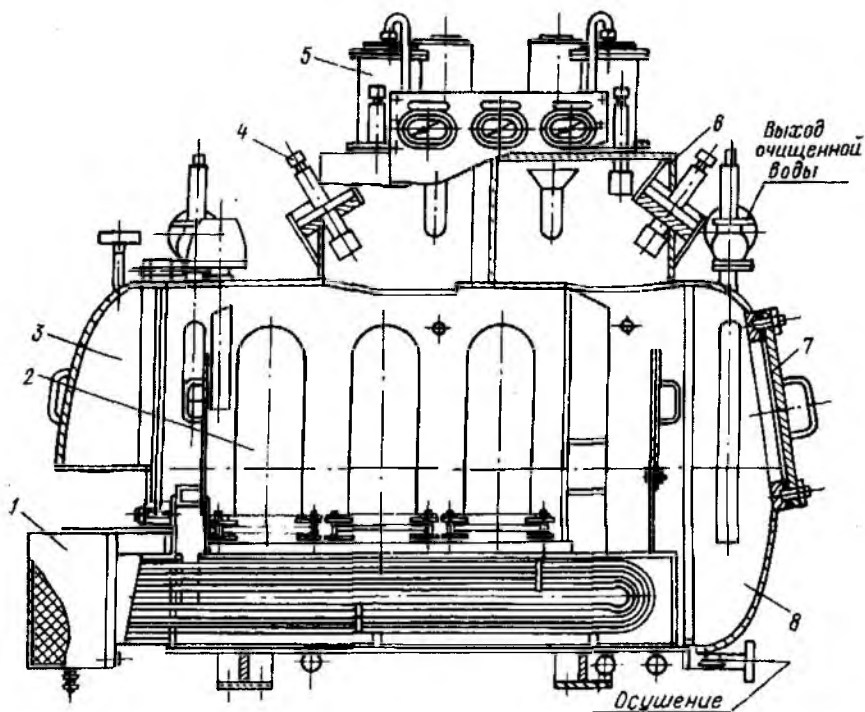


Рис. 5.25. Сепаратор СКМ.

1 — подогреватель; 2 — коалесцирующий фильтроэлемент; 3 — крышка; 4 — датчик уровня; 5 — клапан выпуска воздуха; 6 — нефтесборник; 7 — крышка; 8 — корпус.

слива уровень раздела поднимается и достигает верхнего датчика, что приводит к закрытию электромагнитного клапана.

Кроме датчиков уровня сепаратор оборудован следующими приборами автоматики: двумя реле температуры, одно из которых предотвращает возможность работы сепаратора при температуре жидкости в нем ниже 20°C , а второе поддерживает заданную температуру, воздействуя на электромагнитный клапан, установленный на трубопроводе подачи пара в подогреватель; реле давления, которое прекращает работу сепаратора, если давление перед коалесцирующими элементами достигает предельного значения 0,35 МПа. Кроме того, в схеме устанавливается реле перепада давления, которое контролирует давление во всасывающей и нагнетательной магистралях насоса сепаратора. При отсутствии перепада давления в этих магистралях, когда насос перестает качать жидкость из колодца или цистерны и начинает захватывать воздух, т. е. когда колодец или цистерна осушены, реле останавливает насос.

В модернизированных сепараторах типа СКМ (рис. 5.25), технические характеристики которых представлены в табл. 5.15, предусмотрено введение дополнительного фильтра с поролоновой фильтрующей вставкой, устанавливаемого до сепаратора, и изменение направления потока жидкости в самом сепараторе. Это позволило предохранить коалесцирующие элементы от загрязнения механическими примесями, которые имеются в трюмных водах машинного отделения, и несколько увеличить рабочую поверхность элемента. Рабочая поверхность

Технические характеристики сепараторов СКМ

Характеристика	СК1М	СК1, 6М	СК2, 5М	СК4М	СК6, 3М	СК10М
Максимальная пропускная способность на режиме непрерывной прокачки, м ³ /с (м ³ /ч)	0,17 · 10 ⁻³ (1)	0,445 · 10 ⁻³ (1,6)	0,7 · 10 ⁻³ (2,5)	1,12 · 10 ⁻³ (4)	1,76 · 10 ⁻³ (6,3)	2,8 · 10 ⁻³ (10)
Плотность сепарируемых нефтепродуктов, г/см ³ , до	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
Содержание нефтепродуктов в воде перед сепаратором, %	0–100	0–100	0–100	0–100	0–100	0–100
Содержание нефтепродуктов в воде на выходе из сепаратора (при испытаниях по правилам ИМО), част./млн, не менее	100	100	100	100	100	100
Начальное гидравлическое сопротивление, Па, не более: фильтра механического сепаратора	1 · 10 ⁴ 5 · 10 ⁴	1 · 10 ⁴ 5 · 10 ⁴	1 · 10 ⁴ 5 · 10 ⁴	1 · 10 ⁴ 5 · 10 ⁴	1 · 10 ⁴ 5 · 10 ⁴	1 · 10 ⁴ 5 · 10 ⁴
Предельное сопротивление, Па: фильтра механического сепаратора	10 · 10 ⁴ 30 · 10 ⁴	10 · 10 ⁴ 30 · 10 ⁴	10 · 10 ⁴ 30 · 10 ⁴	10 · 10 ⁴ 30 · 10 ⁴	10 · 10 ⁴ 30 · 10 ⁴	10 · 10 ⁴ 30 · 10 ⁴
Температура подогрева, °С	45–50	45–50	45–50	45–50	45–50	45–50
Расход греющего пара (при давлении 30 · 10 ⁴ Па), кг/ч	62,3	101,2	155,8	248	392	622
Масса сепаратора, кг: сухого в рабочем состоянии	808 1268	900 1510	1020 1780	2000 3630	2080 4660	2235 5075
Количество коалесцирующих элементов в сепараторе, шт	2	4	6	6	9	12
Род тока, Гц	~ 50	~ 50	~ 50	~ 50	~ 50	~ 50
Напряжение системы автоматики, В	127, 220	127, 220	127, 220	127, 220	127, 220	127, 220

элемента увеличилась в связи с тем, что отпала необходимость в установке внешнего перфорированного корпуса, который был нужен для фиксации полипропиленового элемента.

В сепараторах СКМ очищаемые воды поступают на элемент с внешней стороны, поэтому достаточно иметь только внутренний корпус, предотвращающий смятие элемента. Новая конструкция элементов облегчает процесс их изготовления, а также смену отработавших элементов в сепараторе и открывает перспективу внедрения бескаркасного способа изготовления коалесцирующих элементов.

Сепарационные установки типа ТЕФ выпускаются фирмой HDW (ФРГ), а также предприятием „Шиффсанлагенбау“ (ГДР, по лицензии HDW). Это двухкорпусная установка, состоящая из гравитационного сепаратора типа ТЕ-1F и доочистного фильтра типа ТФ. Очистная способность установки 15 млн.⁻¹

В гравитационном сепараторе происходит удаление основной массы нефтепродуктов из нефтесодержащих вод, именно той части, которая представлена в виде свободной нефти и крупных капель. Мелкие частицы нефти поступают в доочистный коалесцирующий фильтр.

Доочистный фильтр (рис. 5.26) предназначен для укрупнения оставшихся в воде мелких капель нефти и доведения очистки воды до остаточного нефтесодержания в ней менее 15 млн.⁻¹ Корпус фильтра разделен на три части. Сначала вода поступает в фильтрующие камеры, где установлены фильтры, предназначенные для задержания твердых и полутвердых включений. Основное назначение этих фильтров — не допустить механических и других примесей к коалесцирующим элементам. Кроме того, в фильтрах происходит частичная коалесценция капель нефтепродуктов. Фильтры должны удлинить срок службы коалесцирующих элементов. Подача воды в фильтры осуществляется снаружи. Затем очищенная в фильтрах вода через камеру сбора нефтепродуктов поступает к коалесцирующим элементам, где происходит укрупнение мельчайших частиц нефти. Вышедшие из элементов крупные капли всплывают и собираются в верхней части камеры. Отделившиеся нефтепродукты выводятся из фильтра ТФ вручную через пробобортные краны слива нефтепродуктов. При нормальной работе сепарационной установки удаление нефтепродуктов можно производить раз в месяц.

На корпусе фильтра установлены манометры, по которым можно следить за степенью засоренности фильтров. Очистная способность гарантируется, если перепад давлений до и после фильтрующих вставок не превышает $25 \cdot 10^4$ Па. Это давление является также максимально допустимым для фильтрующих вставок. По достижении давления $25 \cdot 10^4$ Па необходимо заменить фильтрующие вставки. Схемой автоматики предусмотрена возможность автоматической остановки насоса при достижении максимального давления или выдачи дополнительного сигнала.

У коалесцирующих элементов ресурс выше, чем у фильтрующих вставок, так как он в большой степени определяется степенью загрязненности воды твердыми включениями, а основная масса этих включений задерживается фильтрующими вставками. Предусмотрена возможность дополнительной защиты фильтров съемными чулками и возможность частичной регенерации с помощью растворителей.

Фильтры типа ТФ выпускаются производительностью 2,5; 5 и 10 м³/ч. Их массы соответственно: 373, 536, 1084 кг (незаполненных водой), габариты 831×867×1466; 850×972×1996; 1005×1265×2087 мм.

Основные характеристики установок типа ТЕФ представлены в табл. 5.16. Сепарационные установки типа ОВ выпускаются заводом „Варма“ (ПНР). Их производительность 5, 10 и 25 м³/ч, степень очистки до 15 млн.⁻¹. Установки трехступенчатые, смонтированы на единой раме, комплектуются насосом и шитом управления.

Первая ступень — сепаратор гравитационного типа, работающий в вакуумном режиме, предназначен для предварительной очистки нефтесодержащих вод. В нем отделяется свободная нефть и крупные капли нефтепродукта. Сепаратор работает следующим образом: очищенная в сепараторе вода отсасывается из его корпуса, а новое поступление загрязненной воды из трюмных колодцев или цистерны нефтесодержащих вод происходит за счет вакуума в сепараторе. Этим повышается эффективность работы сепаратора, так как исключается эмульгирование нефтепродуктов в насосе.

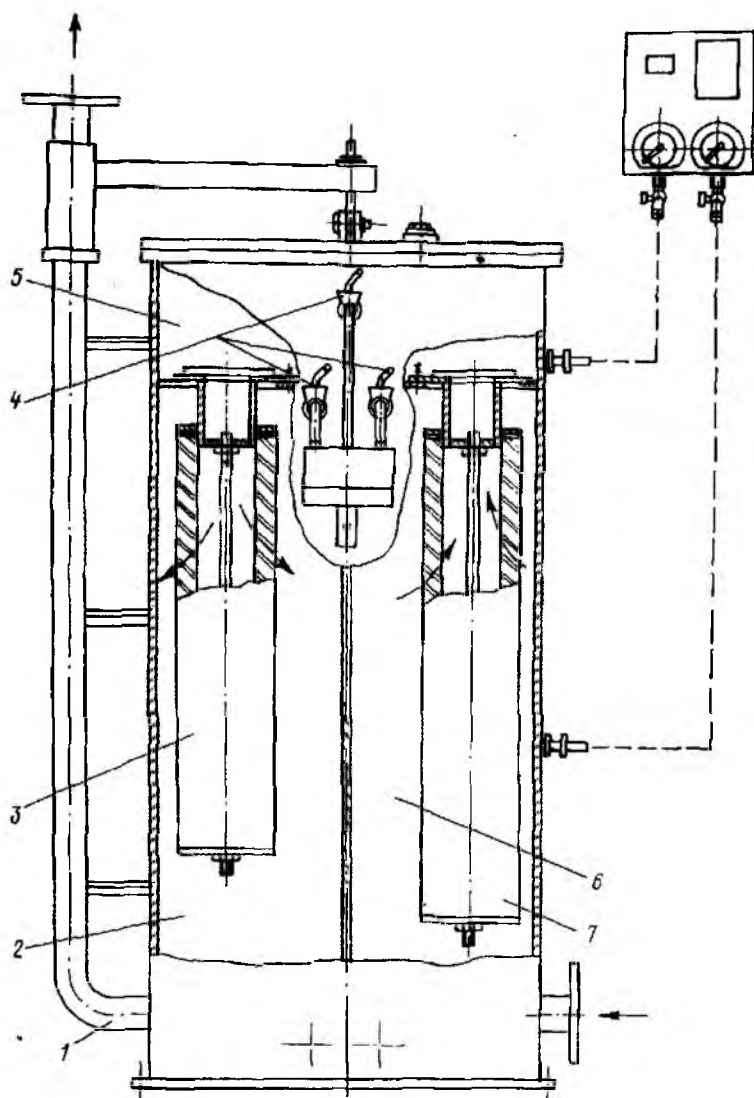


Рис. 5.26. Фильтр типа ТФ.

1 — трубопровод отвода очищенной воды; 2 — коалесцирующая камера; 3 — коалесцирующий элемент; 4 — краники слива отделенных нефтепродуктов; 5 — камера сбора нефтепродуктов; 6 — фильтрующая камера; 7 — фильтрующая вставка.

Характеристики сепараторов ТЕР

Тип	Производительность, м ³ /ч	Масса сепаратора, кг		Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм
		сухого	заполненного			
TEF0,5	0,5	330	605	1305	735	1190
TEF1	1	490	875	1385	728	1508
TEF2	2,5	580	1150	1541	755	1700
TEF5	5	1100	2200	1710	785	2277
TEF10	10	1890	4140	2245	1055	2800

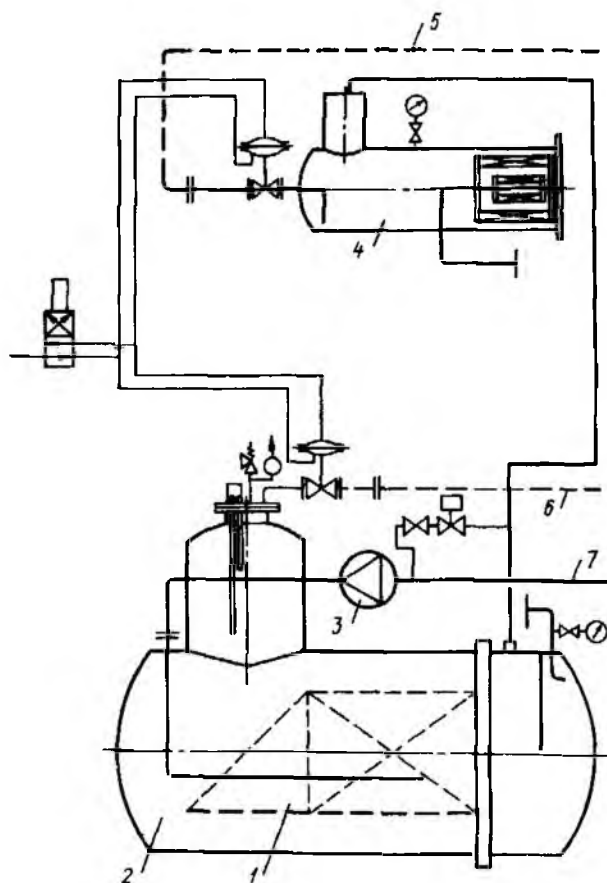


Рис. 5.27. Сепаратор фирмы „Фрам“.

1 — набор пластин; 2 — сепаратор; 3 — насос; 4 — доочистный коалесцирующий элемент; 5 — слив очищенной воды; 6 — слив нефтепродуктов; 7 — вход нефтесодящей смеси.

Вторая и третья ступени — доочистные фильтры — работают в напорном режиме и предназначены для доочистки обрабатываемой воды до остаточного нефтесодержания менее 15 млн.⁻¹. Фильтры оборудованы коалесцирующими элементами. Сепаратор и фильтры имеют автоматику слива отстоявшихся нефтепродуктов. Система управления пневмоклапанами обеспечивает переключение клапанов по сигналам датчиков уровня, восстановленных в верхней части корпусов и реагирующих на раздел сред нефть—вода.

Отделившаяся нефть из фильтров вытесняется, а из сепаратора отсасывается с использованием насоса установкой. Сепаратор и фильтры оборудованы паровыми подогревателями. Подача пара регулируется автоматически в зависимости от температуры в верхней части корпуса.

Коалесцирующие элементы, которыми оборудованы фильтры, представляют собой цилиндрические корпуса высотой 380 мм и диаметром 153 мм, в которых между двумя стальными перфорированными кожухами помещен гофрированный коалесцирующий материал, состоящий из двух слоев фильтрационной бумаги и расположенный между ними асбестовым материалом. По наружному кожуху располагается второй слой коалесцента в виде полипропиленового материала.

Количество коалесцирующих элементов в установках: ОВ25 — 32 шт., ОВ10 — 12 шт., ОВ5 — 8 шт. Замена коалесцирующих элементов должна производиться в зависимости от гидравлического сопротивления фильтров. При перепаде давления до каждой ступени и после каждой из них, равном 0,2 МПа, элементы подлежат замене. Разрешается заменять элементы первого фильтра на элементы второго фильтра при условии, что на втором фильтре давление не достигло предельного. В этом случае во второй фильтр вставляют новые элементы.

Сепарационные установки фирмы „Фрам“ сначала выпускались для очистки нефтесодержащих вод до остаточного нефтесодержания не более 15 млн.⁻¹, имели традиционную конструкцию и состояли из гравитационного сепаратора и доочистной коалесцирующей приставки. В качестве коалесцента использовались патроны из прессованного волокна с пористостью около 5 мкм. Опыт эксплуатации этих установок показал, что эффективность гравитационного сепаратора невелика и на коалесцирующие элементы идет вода со значительным нефтесодержанием, что отрицательно сказывается на ресурсных характеристиках этих элементов.

Разработана новая установка этого типа, в которой предусмотрено использование на первой стадии очистки эффективного сепаратора, способного очищать нефтесодержащие воды до остаточного содержания нефти не более 25 млн.⁻¹ (рис. 5.27). Это позволяет значительно облегчить работу доочистного коалесцирующего элемента и соответственно повысить срок его службы.

Основной частью нового сепаратора является пакет из параллельно расположенных волнообразных олеофильных пластмассовых пластин (рис. 5.28). Высокая степень очистки достигается комбинированным действием подъемной силы и коалесцирующего эффекта. Нефтесодержащие воды проходят через пакет этих пластин. Мелчайшие частицы нефти сталкиваются и укрупняются. При образовании частицы определенной величины происходит ее всплывание к поверхности пластины и прилипание к ней. Отверстия на гребнях волн дают возможность собранным частицам подняться вверх. При номинальной пропускной способности задерживаются все частицы нефтепродукта диаметром более 20 мкм и большая часть частиц диаметром 5—20 мкм. Те частицы нефти, которые не были отделены в блоке пластин, сепарируются затем в фильтрокоалесцирующем элементе, расположенном после сепаратора.

Коалесцирующий элемент выполнен специально для обработки воды с малым содержанием нефти и механических примесей. Отделенная нефть собирается в нефтесборнике сепаратора. Удаление ее происходит по сигналу датчика уровня, воздействующего на открытие пневматического клапана на трубопроводе слива нефти из сепаратора.

Установка оборудована винтовым насосом. Пакет пластин сепаратора подлежит промывке раз в год, а коалесцирующий элемент имеет проектный ресурс 500 ч.

Сепараторы типа „Аквамарин“ разработаны фирмой „Гейрстен“ (Голландия), поставку их осуществляет фирма „Сторк“. Технические характеристики этих сепараторов представлены в табл. 5.17.

„Аквamarin” — вакуумный сепаратор гравитационно-коалесцирующего типа, однокорпусной.

В верхней части корпуса размещены направляющие потоки. Эти направляющие образованы стальной гофрированной полосой, свернутой по окружности таким образом, что создается большое количество вертикальных каналов. Нефтеводная смесь, поступающая в верхнюю часть, равномерно распределяется по каналам и с небольшой скоростью проходит по ним вниз по направлению к коалесцирующим элементам сепаратора. Уже в верхней части корпуса начинается отделение нефтепродуктов, особенно той их части, которая была представлена в виде крупных капель. Отделенная нефть всплывает и собирается под диафрагмой.

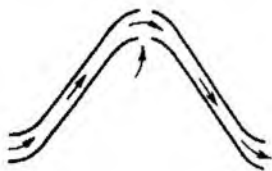


Рис. 5.28. Элемент пластины сепаратора фирмы „Фрам”.

Диафрагма из специальной нефте- и химически устойчивой резины толщиной 4 мм является одним из основных элементов, который управляет процессом сбора выпуска из сепаратора отделенной нефти и переключением его работы с режима сбора нефти на режим ее слива и наоборот.

Схема работы сепаратора представлена на рис. 5.29. До запуска в работу сепаратор заполняется полностью чистой морской водой. Так как вода находится под диафрагмой и над ней, диафрагма не подвержена давлению. По мере накопления всплывшей нефти под диафрагмой на последнюю начинает воздействовать давление. Диафрагма все больше и больше прогибается вверх, вытесняя воду из наддиафрагмовой полости через компенсирующую трубу с вентилем 1.

Выгибаясь, диафрагма тянет за собой металлический стержень, который прикреплен к центру диафрагмы. В свою очередь, стержень соединен с горизонтальным валом, один конец которого выведен из сепаратора. На этот конец вала насажен круглый диск, на котором закреплены два кулачка. Поворачиваясь влево и вправо, диск своими кулачками замыкает пневматические переключатели. В данном случае диск медленно поворачивается по часовой стрелке.

Когда под диафрагмой собирается предельно допустимое количество нефти, левый кулачок замыкает свой пневматический переключатель и сепаратор переключается на работу в режим слива нефтепродуктов и промывки. По мере удаления нефти из сепаратора диафрагма опускается с помощью противовеса на диск и правый кулачок замыкает свой переключатель, вновь возвращая сепаратор на работу в режим отделения нефтепродуктов.

В нижней части корпуса сепаратора расположены коалесцирующие элементы. Они представляют собой синтетическую ткань, натянутую между двумя дисками

Таблица 5.17
Технические характеристики сепараторов типа GEDE „Аквamarin”

Характеристика	0001	0002,5	0005	0010
Производительность, м ³ /ч	1	2,5	5	10
Масса, кг	567	1015	1242	1430
Габариты, мм	1040 x 1250 x 1780	1265 x 1515 x 1985	1400 x 1480 x 2130	1645 x 1635 x 2285
Напряжение, В	220, 380	220, 380	220, 380	220, 380
Количество теплоты, Вт	2100	2900	4200	5200
Высота всасывания, м	5	5	5	5
Давление, кПа	300	300	300	300
Максимальный расход воздуха, л/мин	10	10	10	10

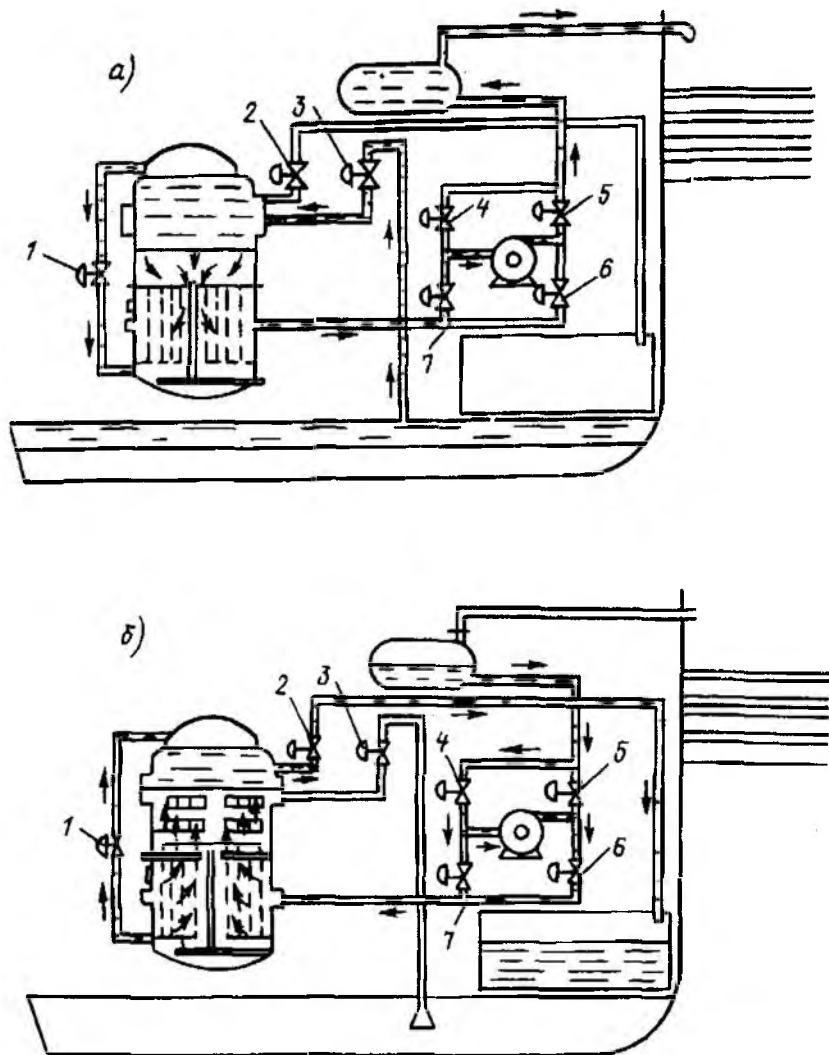


Рис. 5.29. Сепаратор типа „Аквамарин“ (Голландия): *а* – схема работы в режиме очистки нефтесодержащих вод; *б* – схема работы в режиме промывки коалесцирующих элементов и слива отстоявшихся нефтепродуктов.

таким образом, что образуется несколько круговых камер. Ткань имеет гладкую поверхность с одной стороны и ворсистую с другой. Мельчайшие капли нефти, не отделившиеся в верхней ступени, задерживаются на ворсистой поверхности ткани и сливаются со следующими капельками.

Укрупненные капли приобретают достаточную выталкивающую силу и всплывают, собираясь под верхним диском. В верхнем диске имеются отверстия, расположенные через равные промежутки друг от друга. Если смотреть на диск сверху, то отверстия образуют серп. Над верхним диском располагается еще один диск-скользун, в котором также сделаны отверстия.

Когда сепаратор работает в режиме отделения нефтепродуктов, диски расположены так, что отверстия не совпадают, т. е. диск-скользун перекрывает камеру коалесцирующих элементов, не давая возможности отделенной нефти уйти из камеры.

В режиме выпуска нефтепродуктов диск-скользун медленно поворачивается на 30°, совмещая при этом отверстия в обоих дисках. Это дает возможность нефтепродукту, отделенному в камере коалесценции, подняться вверх и соединиться с нефтепродуктом, собранным под диафрагмой. Перемещение диска осуществляется пневматическим приводом, расположенным под дном сепаратора.

Сепаратор имеет семь пневматических управляемых вентилей: вентиль 3, через который в сепаратор засасывается нефтewодная смесь; вентиль 2, предназначенный для вывода из сепаратора отделенного нефтепродукта; вентиль 1, расположенный на компенсирующей трубе (этот вентиль открыт во время режима отделения нефтепродуктов и закрыт в начале режима слива нефтепродуктов; через 20 с после начала режима он открывается); вентили 7, 5, 4 и 6, предназначенные для переключения потока жидкости при изменениях режима.

Когда сепаратор запускается в работу, вентили 3, 7, 5 и 1 открыты, вентиль 2 закрыт. Очищенная вода насосом забирается из сепаратора через вентиль 7 и нагнетается через вентиль 5 в сборный бак, а через него за борт. По мере накопления отделенных нефтепродуктов под диафрагмой последняя, прогибаясь, приводит к замыканию пневмовыключателя. По сигналу этого пневмовыключателя происходит переключение режима. Закрываются вентили 3, 7, 5 и 1, а вентили 4, 6 и 2 открываются.

Вода из сборного бака насосом подается в нижнюю часть сепаратора для промывки коалесцирующих элементов и вытеснения нефтепродуктов из-под верхнего диска нижней камеры и полости под диафрагмой. По мере вытеснения нефтепродуктов диафрагма опускается и производит переключение вентилей вновь на работу в режиме отделения нефтепродуктов.

В верхней части камеры коалесцирующих элементов установлен защитный датчик, реагирующий на нефтепродукт, по импульсу которого останавливается насос. Если по какой-либо причине нефтепродукт заполнит сепаратор или большое количество нефтепродукта соберется в коалесцирующей камере, чувствительный элемент датчика остановит насос и не даст ему выбросить нефтепродукт за борт. Кроме того, в схеме автоматического управления предусмотрена остановка насоса в случае опасности опорожнения сепаратора. Остановка должна производиться от датчика минимального уровня в сборном баке.

Сепарационная установка фирмы „Сарекс“ (США) — трехкорпусная (табл. 5.18). Степень очистки нефтесодержащих вод до 15 млн.⁻¹. Комплектно с установкой поставляется насос и щит управления, смонтированные на одном фундаменте.

Сепарационные установки „Виктор“ фирмы „Виктор Ойлс Вотор Сепараторс“ (Англия) выпускаются также трехкорпусной конструкции (табл. 5.19). Их очистная способность менее 15 млн.⁻¹.

Сепарационные установки HSN-F и HSN-D выпускаются фирмой „Хейсин ламп уоркс“ (Япония). Установка типа HSN-D (табл. 5.20) — двухкорпусная, установка типа HSN-D (табл. 5.21) — трехкорпусная. Кроме того, фирма выпускает доочистную ступень типа PV (табл. 5.22).

Сепараторы типа HSN-F обеспечивают очистную способность менее 15 млн.⁻¹ при испытаниях в соответствии с рекомендациями ИМО. Однако фирма считает, что условия работы сепарационной установки на судне могут быть более неблагоприятными, чем при стендовых испытаниях. Это обусловлено присутствием загрязнений в трюмных водах; наличием в этих водах поверхностно-активных моющих веществ, отработавших масел, химических веществ, применяемых для чистки котлов; условиями работы насосов, связанных с их износом; вибрацией и качкой. Все эти факторы приводят к повышенному эмульгированию нефтепродуктов. Поэтому фирма рекомендует для получения гарантированной очистки нефтесодержащих вод в судовых условиях до величин менее 15 млн.⁻¹ использовать модель HSN-D. Доочистную ступень типа PV можно дооборудовать судовые сепарационные установки, которые не обеспечивают требуемой очистки нефтесодержащих вод. Приставка типа PV испытана в соответствии с рекомендациями ИМО; ее очистная способность менее 15 млн.⁻¹.

Характеристики сепарационных установок фирмы „Сарекс“

Модель	Производительность, м ³ /ч	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм	Масса установки, кг	
					сухой	заполненной водой
5GPM	1	1420	559	787	122,5	192
10GPM	2	1420	559	1016	172,4	276,7
20GPM	4	1625	609	1245	211	404

Таблица 5.19

Характеристики сепарационных установок „Виктор“

Производительность установки, м ³ /ч	Сепаратор				
	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм	Масса, кг	
				сухого	заполненного водой
0,25	311	471	1126	83	144
0,5	387	547	1390	116	238
1	467	679,5	1648,5	221	431
2	619	832	1827	305	742
3	695	908	1960,5	396	985
5	924	1137	2143	609	1666
10	1229	1435	2083	538	2104
15	1533	1743	2407	752	3801
20	1838	2045	2292	1118	5080
25	2143	2349,5	2391	1400	6855
30	2295,5	2505	2407	1596	8019

Производительность установки, м ³ /ч	Доочистные фильтры				
	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм	Масса, кг	
				сухих	заполненных водой
0,25	432	273	1060	44	97
0,5	432	273	1060	44	97
1	432	273	1057	44	97
2	432	273	1057	44	97
3	432	273	1343	61	142
5	432	273	1343	61	142
10	432	273	1606	66	173
15	660	495	1530	118	383
20	660	495	1530	118	383
25	660	495	1822	132	462
30	660	495	1822	132	462

Таблица 5.20

Характеристики сепарационных установок типа HSN-F

Модель	Производи- тельность, м ³ /ч	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм	Масса установки, кг	
					сухой	заполнен- ной водой
HSN0,25F	0,25	832	370	1165	135	170
HSN0,5F	0,5	947	453	1327	185	265
HSN1F	1	985	528	1530	220	370
HSN2F	2	1215	625	1700	430	725
HSN3F	3	1300	715	1930	495	935
HSN5F	5	1470	870	2161	675	1425
HSN10F	10	1918	1145	2442	1120	2630

Таблица 5.21

Характеристики сепарационных установок типа HSN-D

Модель	Производи- тельность, м ³ /ч	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм	Масса установки, кг	
					сухой	заполнен- ной водой
HSN0,25D	0,25	1257	370	1165	175	225
HSN0,5D	0,5	1437	453	1327	240	350
HSN1D	1	1485	528	1530	295	505
HSN2D	2	1815	625	1700	550	960
HSN3D	3	1940	715	1930	675	1290
HSN5D	5	2190	870	2161	905	1950
HSN10D	10	2868	1145	2442	1515	3630

Таблица 5.22

Характеристики доочистного фильтра типа PV

Модель	Производи- тельность, м ³ /ч	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм	Масса фильтра, кг	
					сухого	заполнен- ного водой
PV0,25	0,25	405	420	955	40	55
PV0,5	0,5	435	475	1125	55	85
PV1	1	435	485	1285	75	135
PV2	2	530	575	1450	120	235
PV3	3	570	650	1685	180	355
PV5	5	610	720	1900	230	550
PV10	10	745	925	2150	395	1000

Характеристики сепарационных установок фирмы RWO

Модель	Производительность, м ³ /ч	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм
WZ1	1	1250	850	1270
WZ2	2,5	1750	1100	1700
GSF0,25	0,25	750	465	740
GSF0,5	0,5	800	490	848
GSF1	1	985	610	1170
GSF2,5	2,5	1330	860	1540
GSF5	5	1800	1050	1720
GSF7,5	7,5	2000	1300	1800
GSF10	10	2500	1500	2025

Сепарационные установки типов WZ и GSF, состоящие из гравитационного сепаратора и доочистной коалесцирующей приставки (табл. 5.23) выпускает фирма RWO (ФРГ). Установки укомплектованы насосом. Все оборудование смонтировано на единой раме. Очистная способность 15 млн.⁻¹. При необходимости сепаратор, доочистную приставку и насос можно расположить раздельно.

Сепараторы коалесцирующего типа, которыми оборудованы многие суда, были первыми сепарационными установками со степенью очистки до 15 млн.⁻¹.

Таблица 5.24

Технические характеристики установок типа УСА

Характеристика	УСА0,6Н	УСА1,6Н	УСА1,6	УСА4	УСА10
Пропускная способность, м ³ /с (м ³ /ч)	0,17 · 10 ⁻³ (0,6)	0,45 · 10 ⁻³ (1,6)	0,45 · 10 ⁻³ (1,6)	1,1 · 10 ⁻³ (4)	2,78 · 10 ⁻³ (10)
Плотность сепарируемых нефтепродуктов при 15°С, г/см ³ , не более	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Содержание нефтепродуктов в воде перед установкой, %	0-100	0-100	0-100	0-100	0-100
Содержание нефтепродуктов в воде на выходе из установки (при испытаниях по правилам ИМО), част./млн, не более	15	15	15	15	15
Масса установки, кг:					
сухой	625	700	1450	1900	2400
в рабочем состоянии	635	720	1500	2100	2700
Масса гранулированного наполнителя для разовой засыпки, кг	16	32	32	50	80
Общая потребляемая мощность, кВт, не более	2,7	4,8	4,8	10,2	20,5
Частота вращения ротора сепаратора, мин ⁻¹	2950	2860	2860	2910	2910
Габариты, мм:					
длина	—	—	2100	2100	2800
ширина	—	—	1142	1340	1200
высота	—	—	2250	2260	2300

Примечание. Установки УСА1,6, УСА4 и УСА10 поставляются в агрегированном исполнении; УСА0,6Н и УСА1,6Н в неагрегированном исполнении.

Широкому распространению сепараторов коалесцирующего типа способствует их относительная простота. Однако существенным недостатком этих сепараторов является ограниченный ресурс коалесцирующих элементов. Стремление получить хорошую очистную способность приводит к необходимости уменьшения пор в элементе, что в свою очередь способствует более быстрому росту сопротивления элемента в эксплуатации из-за забивания мелких пор, т. е. снижению его ресурса.

Большой интерес представляют работы по увеличению ресурса элементов, производимые фирмами „Фрам“ и „Гейрстен“, на сепараторах типов CPS и „Аквamarin“.

Сепараторы центробежного типа. Извлечение нефтепродуктов из нефтесодержащих вод с помощью центробежных сил использовано в нефтеводных центробежных сепараторах. Сепараторы центробежного типа широко применяют на судах для очистки топлива и масла от воды и механических примесей. В топливных и масляных сепараторах из массы нефтепродукта надо выделить примеси воды и механические частицы, в нефтеводном сепараторе от массы воды необходимо отделить капельки нефтепродукта, очистив таким образом воду, и подготовить ее для сбора с судна. Наложение центробежных сил может осуществляться путем закручивания потока жидкости, подаваемой в неподвижный корпус сепаратора или вращением самого корпуса.

Первый способ используется в гидроциклонах, где вращательное движение нефтесодержащей смеси обеспечивается ее тангенциальной подачей относительно круглой конфигурации корпуса. Простота конструкции, отсутствие движущихся частей, низкая стоимость делают привлекательным использование гидроциклона для отделения нефти от воды. Однако достигнуть высокой степени очистки в гидроциклоне практически невозможно, поэтому широкого самостоятельного применения этот способ не нашел, хотя центробежные силы при закручивании потока используются во многих сепараторах гравитационного типа.

Второй способ нашел свое применение в сепараторах типа СЦК. В этих сепараторах наряду с использованием центробежных сил, создаваемых ротором сепаратора с частотой вращения 3000 об/мин, применяется также коалесцирующая засыпка. Центробежная сила, действующая на частицу нефти, пропорциональна массе этой частицы, квадрату окружной частоты вращения и обратно пропорциональна расстоянию частицы от оси вращения. Таким образом, эффективность центробежного сепаратора в значительной мере зависит от размера частиц нефтепродукта. Гранулы полипропилена, засыпанные в ротор сепаратора, задерживают на своей поверхности мельчайшие капли нефтепродукта, способствуют укрупнению путем слияния с другими каплями и получению таким образом более крупных капель, отделение которых будет происходить более эффективно.

Сепараторы типа СЦК входят в состав установок типа УСА, основные характеристики которых представлены в табл. 5.24.

Общий вид установки УСА1,6 представлен на рис. 5.30. Загрязненная вода из льяльных колодцев или цистерны сбора нефтесодержащих вод насосом через подогреватель и воздушный колпак с фильтром подается в сепаратор. Включение насоса может производиться автоматически от датчиков уровня в льяльных колодцах. Подогрев нефтесодержащей смеси предусмотрен для установок, которые могут быть использованы на судах, применяющих тяжелые сорта топлива для главных силовых установок. При использовании на судне в основном дизельного топлива комплектация подогревателями необязательна. Подогрев осуществляется паром, подача которого производится автоматически через электромагнитный клапан, управляемый датчиком температуры.

Воздушный колпак со встроенным фильтром предохраняет сепаратор от попадания в него воздуха и крупных механических примесей. Колпак оснащен воздушным клапаном поплавкового типа. При скоплении воздуха в колпаке уровень воды понижается, при этом опускается поплавок и через рычажную систему открывается клапан для выпуска воздуха в атмосферу.

Очищенная в сепараторе вода сливается через трубопровод с установленным на нем электромагнитным клапаном за борт, а отсепарированные нефтепродукты — в цистерну грязного топлива. Визуальный контроль за сливом очищенной воды может осуществляться через смотровой фонарь на трубопроводе слива, а автоматический контроль качества очистки проводится с помощью сигнализатора.

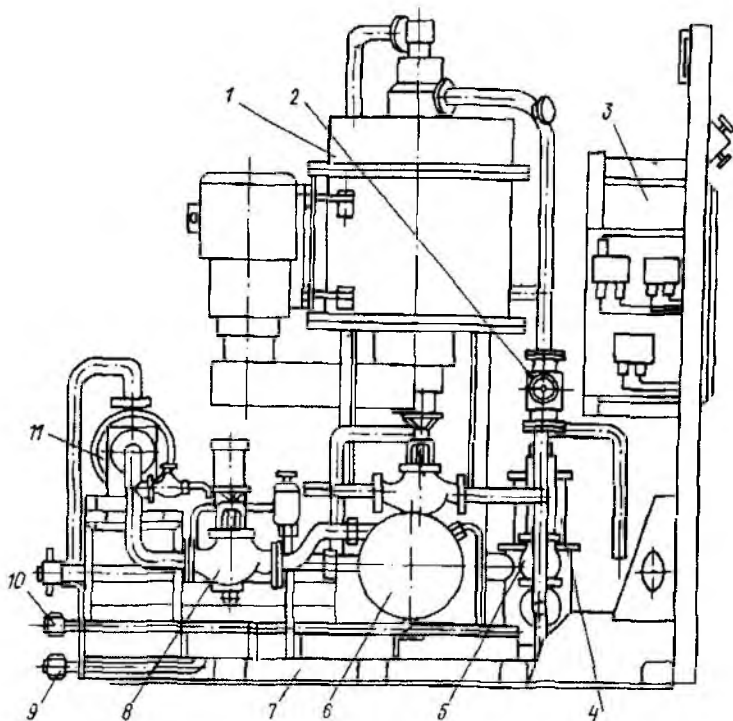


Рис. 5.30. Сепарационная установка УСА1.6.

1 — сепаратор СЦК; 2 — клапан запорный; 3 — щит управления; 4 — колпак воздушный с фильтром; 5 — клапан предохранительный; 6 — подогреватель; 7 — рама с поддоном; 8 — клапан паровой с электромагнитным приводом; 9 — дренаж протечек; 10 — трубопровод слива конденсата; 11 — агрегат электронасосный.

При повышении нефтесодержания в сливаемой за борт воде более 15 млн.^{-1} по импульсу, получаемому от сигнализатора, производится переключение электромагнитных клапанов. Закрывается клапан на трубопроводе слива очищенной воды за борт и открывается клапан на трубопроводе сброса воды в цистерну сбора нефтесодержащих вод. При этом в центральный пост управления подается обобщенный сигнал неисправности, а на щите сепарационной установки загорается красная лампа „Слив неочищенной воды”.

Схемой автоматического управления установкой предусматривается также ряд защит сепаратора и необходимых переключений для обеспечения ее нормальной работы. К защитным реле относятся: реле высокого давления, предназначенное для отключения установки при повышении давлений в напорной магистрали насоса; датчик-реле разности давлений для отключения установки при снижении давления в напорной магистрали. Отключение при снижении и превышении давления производится с задержкой времени 80–100 с. Если за это время давление восстановится, то установка будет продолжать нормально работать. Предусмотрена блокировка, исключающая работу сепаратора, если не произошел запуск насоса. При нормальном автоматическом пуске установки сначала включается подогреватель и подается питание на электродвигатель сепаратора. Только после набора оборотов сепаратором (примерно через 2 мин) запускается насос.

Основной частью сепарационной установки является центробежный коалесцирующий сепаратор. Принцип действия сепаратора основан на разделении жидкостей с различными плотностями под действием центробежных сил. Засыпка в ротор сепаратора гранулированного полипропилена способствует укрупнению частиц нефти и соответственно более эффективному воздействию на них центробежных сил.

§ 5.4. Сточная и хозяйственно-бытовая вода

Одним из наиболее эффективных методов очистки сточной и хозяйственно-бытовой воды является флотация.

Метод флотационной очистки сточных вод основан на действии сил адгезии между загрязнениями и пузырьками воздуха, которые в основном определяют эффективность процесса. Величины сил адгезии в свою очередь зависят от величины свободной энергии на границе раздела жидкость-газ и жидкость-твердая частица, определяемой уравнением $W_1 = S_{ж-г} \sigma_{ж-г} + S_{т-ж} \sigma_{т-ж}$, где W_1 — суммарная величина свободной энергии на границе раздела жидкость-газ и жидкость-твердая частица; $S_{т-ж}$ — площадь поверхности раздела; $\sigma_{т-ж}$, $\sigma_{ж-г}$ — поверхностная энергия на границе раздела.

При взаимодействии пузырька со взвешенной частицей энергия системы описывается уравнением $W_2 = (S_{ж-г} - 1) \sigma_{ж-г} - \sigma_{т-г} + (S_{т-ж} - 1) \sigma_{т-ж}$.

Уменьшение свободной энергии и, как результат этого, образование флотокомплекса будет происходить при осуществлении условия: $\Delta W = W_1 - W_2 = \sigma_{ж-г} + \sigma_{т-ж} - \sigma_{т-г}$ или $\sigma_{ж-г} + \sigma_{т-ж} > \sigma_{т-г}$.

Однако на практике последнее уравнение использовать сложно, так как трудно измерить величину $\sigma_{т-г}$. Для этой цели часто находят величину краевого угла смачивания θ (рис. 5.31), исходя из которой можно определить изменение энергии взаимодействия пузырька газа с твердой частицей, т. е. $\sigma_{т-г} - \sigma_{т-ж} = \sigma_{т-ж} \cos \theta$, где θ — краевой угол смачивания. Тогда $\Delta W = \sigma_{ж-г} (1 - \cos \theta)$. Таким образом, чем гидрофобней частица, тем лучше она будет прилипать к пузырьку газа, движущемуся в объеме жидкости.

Для определения условий, при которых осуществляется флотация, рассмотрим пузырек газа, расположенный на твердой поверхности в жидкости, тогда краевой угол смачивания будет равен $\cos \theta = (\sigma_{т-г} - \sigma_{т-ж}) / \sigma_{ж-г}$. Как следует из этого уравнения, мерой смачивания является величина краевого угла смачивания $\cos \theta = B$: при $+1 > B > 0$ или $0 < \theta < 90^\circ$ загрязнения смачиваются (являются гидрофильными) и флотации не происходит, а при $\theta > 90^\circ$ или $-1 < B < 0$ загрязнения не смачиваются и флотация происходит.

Кроме того, для осуществления процесса флотации необходимо соблюдение следующего условия: $F + P < 0$, где F — сила флотации, $F = \sigma_{т-г} - \sigma_{т-ж}$; P — сила тяжести.

Величина силы флотации

$$F = L_{ж-г} \sigma_{ж-г} \cos \theta, \quad (5.7)$$

где $L_{ж-г}$ — периметр взаимодействия на границе раздела жидкость-газ.

Сила тяжести определяется из уравнения

$$P = g \{ V (D_3 - D_1) + (V - V_1) (D_3 - D_2) \}, \quad (5.8)$$

где V_1 — объем всей твердой частицы; V — объем части, погруженной в водную среду; D_1, D_2, D_3 — плотность жидкости, воздуха и твердой частицы; g — ускорение свободного падения.

Для воздуха $D_2 < D_1$ и D_3 , тогда $P = g (D_3 V - D_1 V_1)$. При полном несмачивании $V_1 = V$ и $P = g V (D_3 - D_1)$.

Условиями флотируемости являются: $F < 0$ и $|F| > P$.

Из уравнений (5.7) и (5.8) следует, что сила флотации пропорциональна радиусу частицы $F \sim r$, а сила тяжести — кубу радиуса частицы $P \sim r^3$. Тогда

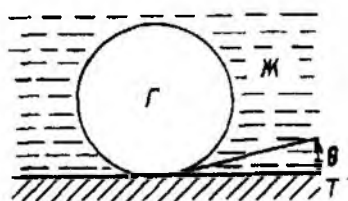


Рис. 5.31. Положение пузырька на поверхности твердого тела.

Ж — жидкость; Г — газ; Т — твердая поверхность.

флотируемость частицы описывается уравнением

$$\frac{F}{P} = \frac{\sigma_{ж-г}}{g(D_2 - D_1)} \cos \theta \frac{L_{ж-г}}{V} = \frac{\sigma_{ж-г}}{K} B \frac{1}{r^2}$$

плохо смачиваться водой и иметь такие размеры, чтобы сила флотации была больше силы тяжести.

При использовании флотационной очистки судовых сточных вод для коагуляции коллоидных загрязнений используют различные коагулянты: хлорное железо, сульфат алюминия и т. д. Флотация образующих хлопья скоагулированных коллоидов происходит лучше и прочность флотокомплексов выше, если с момента коагуляции до момента флотации прошло как можно меньше времени. Наилучшие условия флотации — это когда процессы образования пузырьков газа и хлопьев происходят одновременно.

Введение пузырьков в обрабатываемую жидкость осуществляется различными методами: подсасыванием воздуха с помощью импеллера, насыщением воздухом жидкости под давлением, выделением пузырьков газа при снижении давления над жидкостью, получением пузырьков газа при помощи электролиза обрабатываемой воды. Обычно качество очистки жидкости флотацией тем выше, чем мельче образующиеся пузырьки.

Для обработки судовых сточных вод используют напорную флотацию, которая обладает высокой эффективностью, так как позволяет получать очень мелкие пузырьки воздуха. Этот процесс начинается с создания перенасыщенного раствора воздуха при повышенном давлении в обрабатываемых сточных водах, затем давление резко сбрасывается и растворенный воздух начинает выделяться из стоков, образуя мелкие пузырьки, которые флотируют загрязнения, содержащиеся в стоках. Образование пузырьков воздуха происходит преимущественно на поверхности загрязнений, что обеспечивает высокую эффективность процесса напорной флотации.

Количество воздуха, которое должно выделиться из перенасыщенного раствора для обеспечения необходимого эффекта флотации, составляет 2–5% от объема обрабатываемых стоков.

Расчет количества воздуха также можно проводить по эмпирическому уравнению

$$y = (P - 1)b - (Pb - b_a)e^{-k_T t}, \quad (5.9)$$

где b — концентрация воздуха, соответствующая полному насыщению при данной температуре и атмосферном давлении, мг/л; b_a — растворимость азота в воде при данной температуре и атмосферном давлении, мг/л; k_T — константа скорости растворения газа в воде, мин^{-1} , $k_T = 0,35b_{a0}/b_T$; t — продолжительность насыщения жидкости воздухом, мин.

Решая уравнение (5.9) относительно давления и времени насыщения, имеем

$$P = \frac{y + b - b_a e^{-k_T t}}{b(1 - e^{-k_T t})};$$

$$t = \frac{\lg(Pb - b_a) - \lg[(P - 1)b - y]}{0,434k_T}$$

Полученные уравнения позволяют определить марку насоса для создания избыточного давления и время насыщения стоков воздухом.

Оптимальное давление для создания перенасыщенного раствора воздуха обычно составляет 0,3–0,5 МПа (3–5 кгс/см²).

Время пребывания сточных вод во флотокамере должно быть не менее времени, необходимого для образования пузырьков и удаления их из обрабатываемых стоков. Скорость подъема агломератов пузырек-частица определяется по скорости подъема их нижней границы. Объем флотационной емкости, м³, $V = Qh/v$, где h – высота флотационной емкости, м; Q – расход сточных вод, м³/с; v – скорость подъема нижней границы флотокомплекса, м/с.

Высоту флотационной емкости обычно принимают 1,5–2,5 м. Продолжительность процесса флотации обычно 20–30 мин.

Глава 6 ФИЗИЧЕСКИЕ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ОЧИСТИТЕЛИ

§ 6.1. Нефтепродукты

К физическим и физико-химическим методам очистки топлива, масла и рабочих жидкостей относятся такие, при помощи которых вредные примеси удаляются без использования фильтрования и силовых полей.

К физико-химическим методам очистки можно отнести коагуляцию (как предварительный метод обработки жидкости для очистки в фильтрах и силовых очистителях) и адсорбцию, к физическим методам – выпаривание и турбулизацию с применением трубок Вентури.

Коагуляция – явление слипания и укрупнения частиц в нефтепродукте.

Коагуляцию частиц могут вызвать: введение в нефтепродукт различных химических веществ (добавление электролитов и неэлектролитов); механическое воздействие (перемешивание или встряхивание); нагревание или сильное охлаждение, действие лучистой энергии. Иногда коагуляция может наступить в результате старения нефтепродукта, т. е. медленного увеличения размеров частиц с течением времени, или химических изменений. Во всех случаях причиной коагуляции является ослабление связей частиц с окружающей их дисперсной средой.

Для регенерации масел и очистки топлива от воды широко применяют в качестве коагуляторов минеральные и синтетические моющие средства и поверхностно-активные вещества (ПАВ).

Вещества, применяемые для коагуляции, можно разделить на четыре типа: – электролиты – кальцинированная сода (Na_2CO_3), тринатрийфосфат (Na_3PO_4) и т. п.

– ионогенные ПАВ с активным органическим катионом или анионом (органические электролиты);

– неионогенные ПАВ (неэлектролиты);

– поверхностно-активные коллоиды и гидрофильные высокомолекулярные соединения.

Электролиты вызывают коагуляцию коллоидных растворов, начиная лишь с определенной их концентрации, называемой порогом коагуляции. Концентрация электролита типа Na_2CO_3 в отработанном масле должна быть не менее 10% водного раствора.

Действие коагуляторов не ограничивается только коагуляцией. Большинство коагуляторов-электролитов гидролизуются в воде с образованием щелочей или кислот. Электролиты вымывают также некоторые примеси из масла.

Процесс коагуляции просходит успешно только при соблюдении определенных условий: температура нефтепродукта должна быть 75–80°С, но не более 95°С из-за возможности его вспенивания; продолжительность обработки нефтепродукта – 20–30 мин; концентрация водного раствора электролита – 10%; количество раствора электролита – до 1% на обрабатываемое масло.

Наиболее эффективными веществами, применяемыми для коагуляции мелкодисперсных примесей в отработанных маслах, являются: серная кислота, кальцинированная сода, тринатрийфосфат, моющее вещество НП-5 и моющие препараты МП.

Серная кислота в качестве коагулятора применима для всех масел, не поддающихся фильтрованию, независимо от количества содержащихся в них загрязнений, но содержание воды в отработанном масле должно быть не более 0,5–1%.

Кальцинированную соду и тринатрийфосфат можно использовать только для нефилтрующихся отработанных масел с содержанием механических примесей не более 1%. Мощные вещества из НП и МП эффективны при количествах загрязнений более 1%. Вода в отработанном масле в этом случае не препятствует процессу коагуляции, но количество ее должно учитываться при изготовлении коагулятора, применяемого для безводного отработанного масла в виде 10%-ных водных растворов.

Методы коагуляции, действие которых основано на использовании химических ускорителей образования осадка, в судовых условиях пока еще не нашли широкого применения, хотя некоторые из них представляются весьма перспективными.

Адсорбция называют процесс концентрирования веществ на поверхности адсорбента. Применение адсорбентов в процессах очистки масла основано на их способности удерживать на своей поверхности значительное количество асфальтосмолистых веществ, кислотных соединений, эфиров и других продуктов старения. При обработке отработанных масел адсорбентами может происходить и химическое взаимодействие между различными кислородосодержащими соединениями продуктов старения масла и адсорбентом.

Активной поверхностью твердых адсорбентов служит не только внешняя поверхность их зерен (гранул), но и поверхность пор — капилляров. Благодаря этому адсорбенты имеют большую поверхность. Для адсорбционной очистки отработанных масел, как правило, применяют крупнопористые адсорбенты.

Эффективность адсорции зависит также и от природы адсорбента. Например, адсорбенты основного характера (окись алюминия и др.) лучше поглощают и нейтрализуют органические кислоты, особенно низкомолекулярные. Несколько хуже они адсорбируют асфальтосмолистые вещества. Силикагель лучше поглощает асфальтосмолистые вещества и несколько хуже органические кислоты.

В процессах очистки масел применяют естественные адсорбенты (отбеливающие глины, бокситы и др.) и искусственные (силикагель, окись алюминия, алюмосиликатный катализатор).

Попытки создания промышленных моделей фильтров адсорбционного действия широкого распространения не получили из-за их малой эффективности и высокой стоимости. Кроме того, такие фильтры удаляют присадки из смазочных циркуляционных масел и требуют защитных устройств от вымывания фильтрующей массы, обладающей во многих случаях абразивными свойствами.

Выпаривание — это процесс превращения части жидкости в пар (например, при очистке масла происходит превращение воды в пар). Выпаривание происходит из всей массы жидкости при температуре, соответствующей точке кипения при данном давлении. В вакууме температура кипения снижается, это нередко используется при выпаривании воды из нефтепродуктов. Вакуумные маслоочистительные установки обычно используют для глубокой очистки трансформаторных масел от воды, они могут найти также широкое применение для очистки синтетических масел, близких к воде по плотности. Такие установки обеспечивают очистку смазочных циркуляционных и трансформаторных масел от воды до 0,002% по массе.

Турбулизация с применением трубок Вентури основана на соударении частиц и глобул воды с очищаемой жидкостью в турбулентном потоке при ускоренном или замедленном его движении. Этот процесс осуществляется в трубке Вентури. Загрязненный нефтепродукт поступает в горловину трубки, с большой скоростью проходит через нее и выходит через диффузор (рис. 6.1). В процессе истечения через горловину ускорение жидкости значительно выше, чем ускорение, приобретаемое глобулами жидкости, входящими в основной поток через сопло. В процессе движения потока через диффузорный участок трубки скорость потока снижается, мелкие частицы укрупняются. Для их улавливания за трубкой Вентури обычно устанавливают очиститель.

Процесс обработки жидкости в трубке Вентури можно уподобить процессу фильтрования жидкости через объемный фильтр из мельчайших капелек, образуемых при дроблении жидкости скоростным потоком другой жидкости.

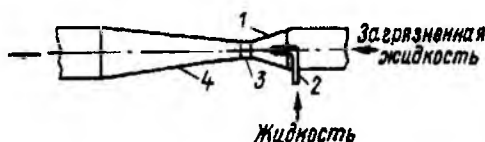


Рис. 6.1. Схема трубы Вентури.

1 — конфузор; 2 — сопло-форсунка; 3 — горловина; 4 — диффузор.

Гомогенизация — это метод очистки топлива, заключающийся в том, что топливо перед подачей в двигатель подвергается воздействию специально генерируемых высокочастотных колебаний, которые дробят асфальтосмолистые образования и глобулы воды в топливе. Структура топлива становится высокодисперсной и более однородной, асфальтосмолистые вещества и водотопливная

эмульсия не отделяются от топлива и сгорают в двигателе, не нарушая работы топливной аппаратуры и рабочего процесса двигателя.

Типовая конструкция вакуумной маслоочистительной установки показана на рис. 6.2. Эта установка разработана на производительность 1500 кг/ч, моноблочного исполнения, вертикального типа; состоит она из следующих основных узлов: блока насосов, вакуумного бака, конденсатора, электродвигателя, блока гидроциклонов, терморегулятора.

Блок насосов состоит из водокольцевого вакуумного насоса и маслооткачиваемого роторного насоса, смонтированных на одном общем валу, приводимых в движение от одного электродвигателя. Водокольцевой вакуумный насос предназначен для отсасывания водяных паров из вакуумного бака и подачи их в конденсатор.

Маслооткачивающий роторный насос роликового типа предназначен для откачивания масла из нижней полости вакуумного бака и подачи его в блок гидроциклонов для очистки масла от механических примесей.

Вакуумный бак, конденсатор и электронагреватель являются составными частями корпуса маслоочистительной установки.

Вакуумный бак предназначен для выпаривания воды из масла при пленочном течении его по конусообразным тарелкам, которые размещены внутри бака и закреплены на дырчатом приемном патрубке. В нижней части вакуумного бака имеется маслосорбник.

Конденсатор поверхностного типа с теплосъемом 31 400 кДж/ч предназначен для конденсации пара, отсасываемого из вакуумного бака, и удаления конденсата в цистерну отходов сепарирования. Трубки конденсатора U-образного типа размещены в кольцеобразной полости корпуса установки и приварены к нижней крышке корпуса. Для эффективного теплообмена кольцевая полость конденсатора разделена паронаправляющими перегородками.

Электронагреватель поверхностного типа предназначен для подогрева масла до 70°С. При достижении в системе маслоснабжения паротурбинной установки температуры масла 70°С маслоподогреватель автоматически отключается терморегулятором и маслоочистительная установка при нормальных эксплуатационных условиях ПТУ работает с отключенным электронагревателем (без подвода тепла). Электронагреватель оборудован нагревательными элементами, размещенными в верхней кольцевой камере корпуса установки и закрепленными в верхней крышке корпуса.

Блок гидроциклонов состоит из шести гидроциклонов, разбитых на две группы (по три в каждой), и предназначен для очистки масла от примесей. Блок оборудован коллектором подачи масла, коллектором слива масла, собственно гидроциклоном и емкостью для сбора примесей, которые периодически удаляются продувкой в цистерну отходов сепарации.

По своей конструкции гидроциклон представляет собой усеченный конус, обращенный вершиной вниз. В верхней части гидроциклон имеет тангенциальное отверстие для подачи масла в верхнюю часть конуса. Масляный поток, поступивший по касательной во внутреннюю полость гидроциклона, закручивается, вследствие чего под воздействием центробежной силы тяжелые механические частицы (продукты коррозии, износа и т. д.) спускаются по конусу вниз в полость сбора механических примесей, а чистое масло через аксиальное отверстие поступает в камеру слива. Производительность каждого гидроциклона ~ 300 л/ч.

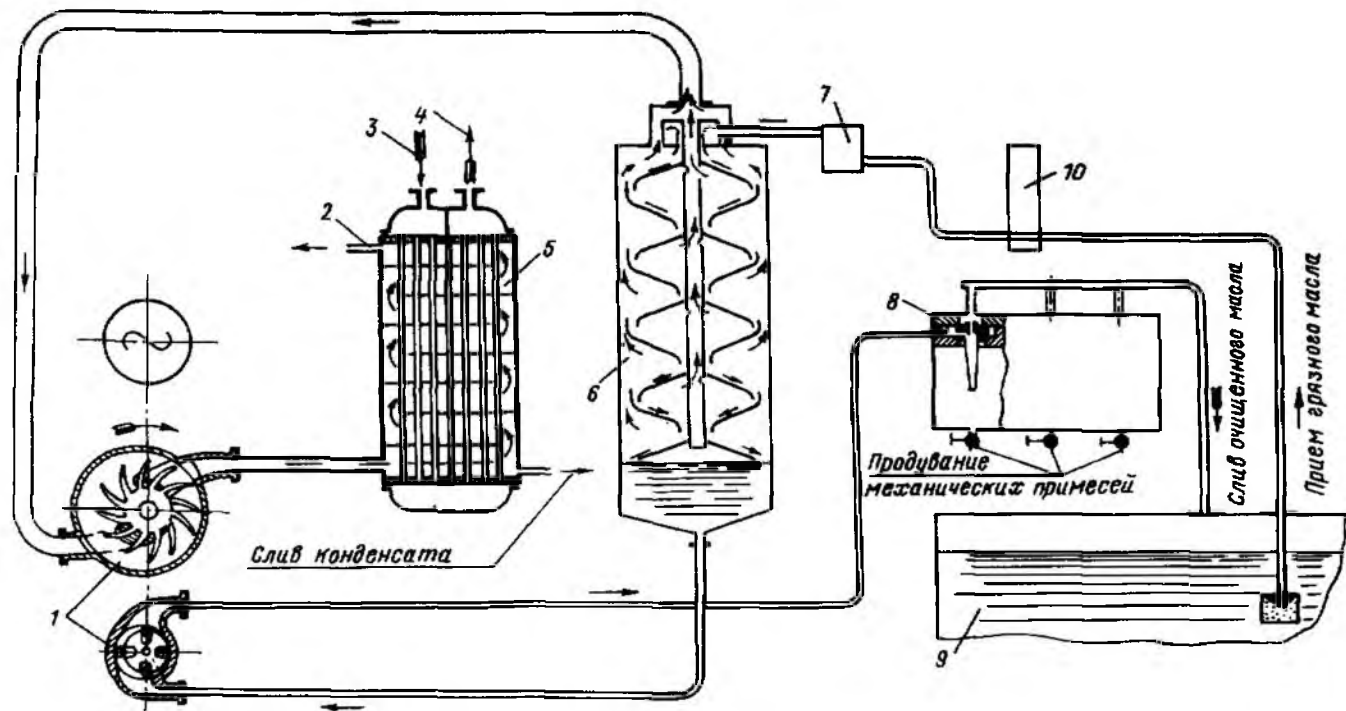


Рис. 6.2. Вакуумная маслоочистительная установка.

1 — блок насосов; 2 — выход воздуха; 3 — вход охлаждающей воды; 4 — выход охлаждающей воды; 5 — конденсатор; 6 — вакуумный бак; 7 — терморегулятор; 8 — блок гидрошклов; 9 — масляный бак; 10 — подогреватель.

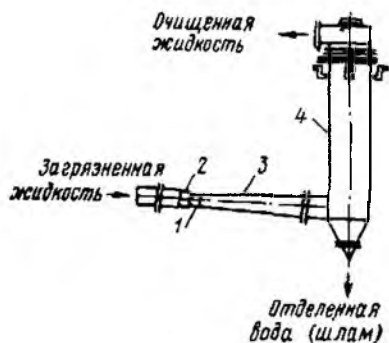


Рис. 6.3. Схема трубки Вентури с циклоном-каплеуловителем.

1 — горловина; 2 — конфузор; 3 — диффузор; 4 — циклон-каплеуловитель.

Турбулентный промыватель (морализованная трубка Вентури) состоит из двух усеченных конусов — конфузора и диффузора, соединенных горловиной (рис. 6.3). В конфузор на некотором расстоянии от горловины подводится жидкость с помощью сопла. Загрязненный поток обрабатываемой жидкости поступает в горловину трубки с большой скоростью.

Разные типы турбулентных промывателей отличаются конфигурацией поперечного сечения, а также местом подачи жидкости через сопло (в конфузор или в горловину).

Конструкция клапанного гомогенизатора высокого давления, относящегося по принципу действия к гидродинамическим преобразователям энергии, показана на рис. 6.4. Тихоходный плунжерный насос подает топливо в нагнетательную камеру под давлением 17,5–25 МПа (175–250 кг/см²) и далее в гомогенизационную головку, где оно продавливается по зазору между седлом и гомогенизационным клапаном. Давление гомогенизации устанавливается винтом. Протекание топлива в щелевом расширяющемся зазоре между седлом и клапаном сопровождается интенсивными кавитационными явлениями. В конечной стадии захлопывания кавитационных пузырьков возникают мощные кратковременные локальные импульсы давления в несколько тысяч атмосфер, имеющие звуковую и ультразвуковую частоту. Высокие ударные давления на поверхности тел, в частности асфальтосмолистых частиц или глобул воды, соприкасающихся с кавитационными пузырьками, вызывают сильное разрушение и дробление этих тел. В результате такой обработки топливо приобретает высокодисперсную и более однородную структуру.

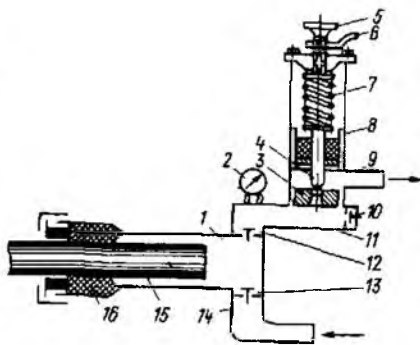


Рис. 6.4. Схема клапанного гомогенизатора.

1 — блок насосов; 2 — манометр; 3 — сопло гомогенизационного клапана; 4 — гомогенизационный клапан; 5 — регулирующий винт; 6 — стопор винта; 7 — пружина; 8 — сальниковое уплотнение штока клапана; 9 — отводная труба; 10 — предохранительный клапан; 11 — нагнетательная камера; 12 — нагнетательный клапан насоса; 13 — всасывающий клапан насоса; 14 — подвод топлива; 15 — плунжер; 16 — уплотнение плунжера.

§ 6.2. Питательная вода

Для предотвращения образования накипных отложений в котельных агрегатах, проточных частях турбин, конденсаторах и других теплообменных аппаратах, а также предупреждения повреждения теплосилового оборудования коррозионно-агрессивными газами (кислородом, свободной углекислотой и др.) служат физические и физико-химические методы очистки питательной воды.

Таблица 6.1

Основные технические характеристики фильтров с натрий-катионитной загрузкой

Марка	Давление, МПа	Производительность, кг/с	Объем загрузки, м ³
ФН 0,16-0,6	0,6	0,28	0,016
ФН 0,3-1,0	1	0,98	0,057
ФН 0,4-1,6	1,6	1,7	0,114
ФН 0,6-2,5	2,5	4,2	0,310
ФН 0,6-4,0	4	4,2	0,310
ФН 0,9-2,5	2,5	8,4	0,572
ФН 0,9-4,0	4	8,4	0,572
ФН 1,1-4,0	4	13,9	1,140

В качестве физико-химических очистителей питательной воды в системах судовых энергетических установок применяют ионитные фильтры, а в качестве физических — термомеханические деаэраторы.

Ионитные фильтры. Ионитные фильтры являются основным видом очистителей, обеспечивающим требуемое солесодержание питательной воды. Посредством ионитных фильтров достигается умягчение питательной воды при докотловой обработке и химическое обессоливание и обескислороживание питательной воды судовых энергетических установок.

Принцип действия ионитных фильтров основан на способности некоторых твердых нерастворимых в воде веществ — ионитов вступать в ионный обмен с растворенными в воде солями. В зависимости от знака обменных ионов иониты называются катионитами и анионитами.

Ионитные фильтры с натрий-катионитной загрузкой служат для умягчения питательной воды, подаваемой в судовые котлы. Основные технические характеристики этих фильтров с гидравлическим сопротивлением не более 0,25 МПа при скорости фильтрования до 160 м/ч приведены в табл. 6.1. В качестве фильтрующей загрузки в них применен катионит КУ2-8, технологические характеристики которого вместе с характеристиками некоторых других отечественных и зарубежных катионитов приведены в табл. 6.2.

Процесс умягчения воды методом катионирования сводится к фильтрации ее через слой катионита. Находящиеся в воде ионы кальция и магния, являющиеся накипеобразователями, при этом заменяются эквивалентным количеством катионов натрия. Вместо кальциевых и магниевых солей в обрабатываемой воде образуется эквивалентное количество легкорастворимых натриевых солей, которые не образуют накипи и удаляются из котла при промывках.

Таблица 6.2

Технологические характеристики некоторых марок отечественных и зарубежных катионитов

Марка	Страна-изготовитель	Насыпная масса, г/м ³	Объемная емкость, г-экв/м ³
Сульфуголь	СССР	0,65	100—550
КУ-1	"	0,70	650
КУ2-8	"	0,7—0,88	950—1700
Вофатиты	ГДР	0,62—0,71	600—1200
Цеокارب 216	США	0,77	550
Цеокارب 215	"	0,69	390—550
Цеокارب 225	"	0,90	920—1420
Сукоп	"	0,80	360
Амберлиты	"	0,45—0,85	730—1400
Леватит	ФРГ	0,78	2000

Основные технические характеристики ионитных фильтров

Внутренний диаметр корпуса фильтра, мм	Производительность, кг/с	Высота фильтрующей загрузки, мм	Загрузка обессоливающая (емкость по NaCl), кг	Загрузка обескислороживающая (емкость по O ₂), кг			
				ЭИ-5	ЭИ-5В	ЭИ-5У	ЭИ-21
900	8-35	800	6,1	6,52	30,7	16,8	20
		1000	7,62	8,16	38,2	20,3	25,4
		1200	9,17	9,80	46	26,4	30,5
1100	13-53	800	9,12	9,75	45,6	25,6	30,2
		1000	11,40	12,20	57	30,4	38,8
		1200	13,70	14,60	68,4	36,4	45,6
1300	17-74	800	12,70	13,60	63,5	34	42,2
		1000	16	17,10	80	42,4	53,1
		1200	19,10	22	95,3	50,8	63,5
1400	21-84	800	14,80	15,70	73,5	39,3	49,1
		1000	18,50	22,30	92	49,1	61,5
		1200	22,2	23,70	110	59	74

Примечания. 1. Рабочее давление для фильтров 1; 1,6; 6,4 и 10 МПа. 2. В качестве обессоливающей загрузки используются иониты КУ2-84С или смесь КУ2-84СН и АВ-17-84С.

Работа катионитного фильтра может продолжаться до момента его истощения, т. е. момента, когда „проскок” катионов накипеобразователей начнет оказывать существенное влияние на качество filtrата.

Для восстановления работоспособности фильтра его отключают от питательной системы и производят регенерацию загрузки раствором поваренной соли или морской соли или морской водой согласно типовой инструкции.

Ионитные фильтры для обессоливания и обескислороживания служат для обессоливания и обескислороживания питательной воды в

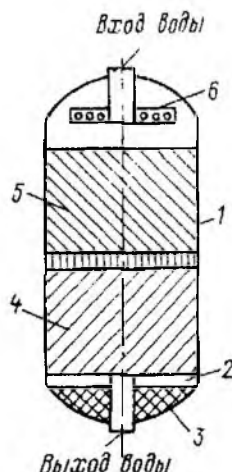
Таблица 6.4

Технологические характеристики некоторых марок отечественных и зарубежных аннионитов

Марка	Страна-изготовитель	Насыпная масса, т/м ³	Объемная емкость, г-экв/м ³
АН-2Ф	СССР	0,60	450-675
АН-18	„	0,68	880-1045
АН-1	„	0,80	114-525
АН-9	„	0,74	200
ЭДЭ-10П	„	0,60	800-1200
Вофатит М	ГДР	0,66	340-480
Вофатит МД	„	0,70	350-500
Леватит М-500	ФРГ	0,70	430
Леватит М-600	„	0,75	710
АВ-17	СССР	0,74	420 (по SiO ₃ ²⁻)

Рис. 6.5. Схема двухполостного фильтра с обескислороживающей и обессоливающей загрузками.

1 — корпус; 2 — дренажное устройство; 3 — дренажный подслей; 4 — обессоливающая загрузка; 5 — обескислороживающая загрузка.



системах судовых энергетических установок. Применяют два типа стандартизованных ионитных фильтров: однополостные и двухполостные. Основные технические характеристики этих фильтров приведены в табл. 6.3.

Обессоливание воды производится путем фильтрации ее через слой анионита или смеси катионита и анионита, загруженной в фильтр. Технологические характеристики некоторых анионитов приведены в табл. 6.4.

Для обескислороживания воды в ионитных фильтрах используется ионитовый материал, на котором возможно одновременное протекание как ионообменных, так и окислительно-восстановительных реакций. Такой материал называется электроионообменником.

Однополостные фильтры предназначены для размещения в них обескислороживающей или обессоливающей загрузки.

Двухполостные фильтры позволяют разместить в одном корпусе одновременно как обескислороживающую, так и обессоливающую загрузки. При этом первой по направлению движения воды располагают обескислороживающую загрузку.

Таблица 6.5
Нормализованный ряд судовых термомеханических деаэраторов

Марка	Объем конденсата в цистерне, м ³	Масса деаэратора, кг	
		сухого	при рабочем уровне конденсата
ДСТМ 900-2,5	2,5	1 680	3 950
ДСТМ 900-6,5	6,5	2 300	8 300
ДСТМ 1600-6,5	6,5	3 100	9 100
ДСТМ 1600-14	14	5 700	18 600
ДСТМ 2400-3,5	3,5	5 000	8 500
ДСТМ 2400-6,5	6,5	5 100	10 800
ДСТМ 2400-14	14	7 400	20 300
ДСТМ 2400 x 2-32	32	20 350	47 250

Таблица 6.6
Основные технические характеристики судовых деаэрационных головок

Марка	Производительность, кг/с (т/ч), при среднем подогреве в деаэраторе $\Delta t_{cp}, ^\circ\text{C}$				
	65	55	45	35	25
ГДСТМ 900	5,55 (20)	8,35 (30)	11,10 (40)	13,90 (50)	16,70 (60)
ГДСТМ 1600	20,85 (75)	27,80 (100)	33,30 (120)	38,85 (140)	44,40 (160)
ГДСТМ 2400	50 (180)	63,80 (230)	75 (270)	88,90 (320)	100 (360)

Примечание. Рабочее давление в деаэраторе 0,025—0,25 МПа.

На рис. 6.5 показана схема двухполостного фильтра, в цилиндрическом корпусе которого размещены обескислороживающая и обессоливающая загрузки. Для организации равномерного движения воды по поперечному сечению загрузки в фильтре устанавливаются водораспределительное и дренажное устройства. Ниже дренажного устройства располагается дренажный подслон, защищающий это устройство от засорения мелкими частицами сорбентов.

Термомеханические деаэраторы. Принцип действия термомеханического деаэратора основан на законе Генри, согласно которому количество газа, растворенного в единице объема воды K , пропорционально парциальному давлению этого газа над поверхностью воды, т. е. $G = k p_r = k (p - p_n)$, где k — коэффициент растворимости газа, зависящий от температуры воды; p_r — парциальное давление газа над поверхностью воды; p — суммарное давление газа и водяных паров над поверхностью воды; p_n — парциальное давление водяных паров в том же пространстве.

Как видно из приведенного выражения, растворимость газа в воде уменьшается с понижением его парциального давления в пространстве над водой и может стать равной нулю при кипении воды, когда $p_n = p$. Однако нагрев воды до температуры кипения при данном давлении еще не обеспечивает достаточно быстрого и полного удаления из нее растворенных газов. Это объясняется тем, что процесс термической деаэрации является сочетанием параллельно протекающих процессов нагрева деаэрируемой воды до температуры кипения, диффузии растворенных в воде газов и их десорбции.

В термодинамическом деаэраторе обеспечиваются условия, при которых достигается наибольшая эффективность процесса выделения газов: вода подогревается до температуры насыщения; создается большая поверхность раздела фаз, через которую происходит десорбция газов, выделяющиеся газы отводятся, что снижает их парциальное давление в паровом объеме деаэратора и уменьшает вследствие этого их растворимость в воде.

В СССР стандартизован ряд судовых термомеханических деаэраторов, номенклатура которых приведена в табл. 6.5.

Деаэратор представляет собой цилиндрическую цистерну, соединенную с деаэрационной головкой. Для судовых деаэраторов разработан нормализованный ряд деаэрационных головок с форсуночным распылом и насадкой из омегаобразных элементов.

Ряд включает головки трех типов, различающиеся производительностью при заданных значениях средней температуры подогрева деаэрируемой воды в процессе удаления газов. Технические характеристики деаэрационных головок приведены в табл. 6.6.

Схема деаэрационной головки представлена на рис. 6.6. Вода, подлежащая деаэрации, подается в конденсатор выпара, расположенный в верхней части головки, после чего поступает в водораспределительное устройство, снабженное нерегулируемыми форсунками стандартной конструкции. Форсунки распыляют воду, создавая совместно с насадкой из беспорядочно расположенных стандартизованных омегаобразных элементов развитую поверхность деаэрации. Греющий пар через парораспределительный коллектор поступает в нижнюю часть деаэрационной головки и движется навстречу падающему потоку деаэрируемой воды. По мере движения вверх греющий пар конденсируется, в результате чего повышается парциальное давление удаляемых газов, которое достигает максимального значения в верхней части деаэрационной головки.

Газопаровая смесь, состоящая из избыточной части греющего пара и неконденсирующихся газов, поступает в конденсатор выпара, где пар частично конденсируется, а охлажденная газопаровая смесь удаляется из корпуса деаэратора. Деаэрированная вода стекает в цистерну, из которой попадает в питательную систему.

Судовые термомеханические деаэраторы обеспечивают остаточную концентрацию кислорода в деаэрированной воде не более 0,02 мг/л при производительности, превышающей номинальную не более чем на 20%. При этом начальная концентрация кислорода в деаэрируемой воде не должна быть более 2 мг/л при среднем подогреве воды в деаэраторе не менее 55°C.

Эффективность процесса десорбции газов из воды в термомеханическом деаэраторе зависит от следующих факторов: высоты парового объема в деаэрационной

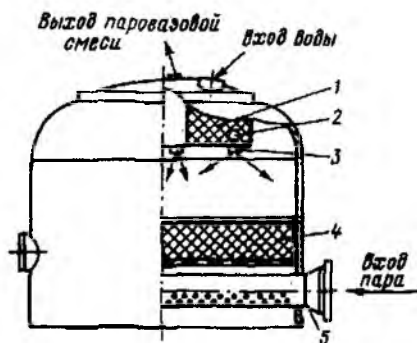


Рис. 6.6. Схема судовой деаэрационной головки.

1 — конденсатор выпара; 2 — водораспределительное устройство; 3 — форсунка; 4 — насадка из омегообразных элементов; 5 — парораспределительный коллектор.

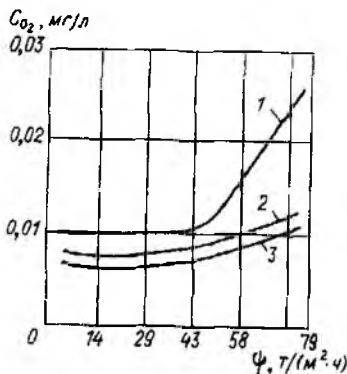


Рис. 6.7. Зависимость кислородосодержания C_{O_2} деаэрированной воды от плотности орошения ψ и высоты парового объема $H_{п.о}$ при давлении деаэрации 0,025 МПа, высоте насадки 250 мм и начальной температуре воды 50°C.

1 — $H_{п.о} = 250$ мм; 2 — $H_{п.о} = 350$ мм; 3 — $H_{п.о} = 450$ мм.

головке; плотности орошения насадки, равной отношению количества воды, поступающей в деаэратор, к площади поперечного сечения деаэрационной головки; высоты насадки; температуры воды, поступающей в деаэратор; количества отводимой из деаэратора газопаровой смеси; величины охлаждающей поверхности конденсатора выпара.

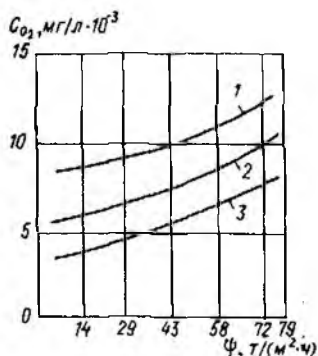


Рис. 6.8. Зависимость кислородосодержания C_{O_2} деаэрированной воды от плотности орошения ψ и высоты насадки H_n при давлении деаэрации 0,025 МПа, высоте парового объема 450 мм и начальной температуре воды 50°C.

1 — $H_n = 150$ мм; 2 — $H_n = 250$ мм; 3 — $H_n = 400$ мм.

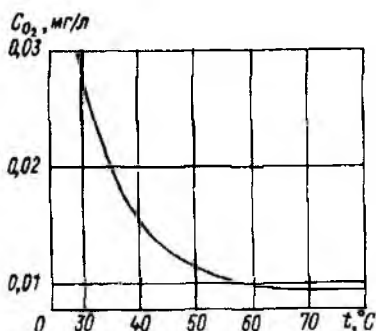


Рис. 6.9. Зависимость кислородосодержания C_{O_2} деаэрированной воды от ее начальной температуры t при давлении деаэрации 0,025 МПа, высоте парового объема 350 мм, высоте насадки 250 мм и плотности орошения 21,7 кг/(м²·с).

Характер влияния перечисленных факторов на кислородосодержание деаэрированной воды иллюстрируется графиками на рис. 6.7–6.10.

На рис. 6.7 показана зависимость кислородосодержания воды от плотности орошения насадки деаэратора при различной высоте парового объема деаэрационной головки. Увеличение высоты парового объема ведет к увеличению продолжительности контакта воды с греющим паром, более полному ее прогреву и удалению из нее газов. Повышение плотности орошения насадки, наоборот, ведет к росту кислородосодержания деаэрируемой воды. Эта закономерность наблюдается также на рис. 6.8, на котором приведена экспериментальная зависимость кислородосодержания деаэрированной воды от плотности орошения при различной высоте насадки. Увеличение высоты насадки увеличивает поверхность контакта воды и греющего пара и сопровождается снижением кислородосодержания деаэрируемой воды.

На рис. 6.9 показана зависимость кислородосодержания деаэрированной воды от ее температуры на входе в деаэратор. Повышение температуры воды, поступающей в деаэратор, сокращает время нагрева ее до температуры насыщения и ведет к снижению кислородосодержания деаэрированной воды.

На рис. 6.10 приведена зависимость кислородосодержания воды от количества парогазовой смеси, отводимой из деаэратора. Процесс деаэрации протекает интенсивнее при увеличении количества отводимой парогазовой смеси, так как при этом уменьшается парциальное давление газа в деаэраторе. Тот же эффект достигается при увеличении поверхности конденсатора выпара.

Порядок выбора термомеханического деаэратора. Исходными данными для выбора термомеханического деаэратора как физического очистителя питательной воды являются:

– производительность деаэратора, соответствующая суммарному расходу деаэрируемой воды, поступающей через разные подводы;

- давление в деаэраторе;
- температура всех потоков деаэрируемой воды;
- начальное и конечное кислородосодержание деаэрируемой воды;
- параметры и энтальпии греющего пара.

При нескольких подводах деаэрируемой воды определяется средняя температура воды,

$C_{O_2}, \text{мг/л} \cdot 10^3$

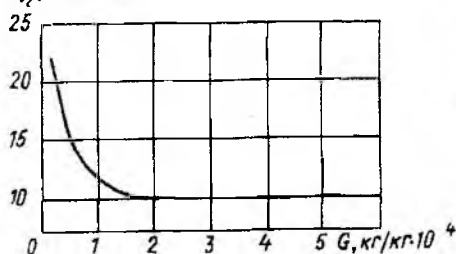


Рис. 6.10. Зависимость кислородосодержания C_{O_2} деаэрированной воды от количества парогазовой смеси G , отводимой из деаэратора при давлении деаэрации 0,025 МПа, высоте парового объема 350 мм, высоте насадки 250 мм, плотности орошения 13,6 кг/(м²·с) и начальной температуре воды 30°C.

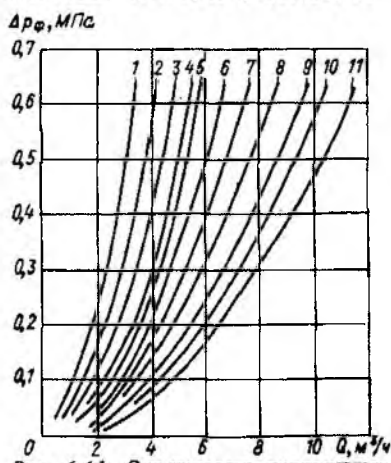


Рис. 6.11. Зависимость гидравлического сопротивления $\Delta P_{\text{ф}}$ форсунок от расхода воды Q при различных диаметрах сопла D .

Для форсунки типа ДФ42: 1 – $D = 12$ мм; 2 – $D = 14$ мм; 3 – $D = 16$ мм; 4 – $D = 18$ мм.

Для форсунки типа ДФ56: 5 – $D = 14$ мм; 6 – $D = 16$ мм; 7 – $D = 18$ мм; 8 – $D = 20$ мм; 9 – $D = 22$ мм; 10 – $D = 24$ мм; 11 – $D = 26$ мм.

поступающей в деаэратор, $t = \sum_{i=1}^n G_i t_i / \sum_{i=1}^n G_i$,

где G_i – расход воды в i -м подводе в деаэратор; t_i – температура воды в i -м подводе.

Средний подогрев воды до температуры насыщения t_s при давлении в деаэраторе $\Delta t = t_s - t$.

По заданной производительности деаэратора и полученному среднему подогреву воды в нем по данным табл. 6.6 подбирают марку деаэрационной головки.

Производительность одной форсунки деаэратора для каждого подвода отдельно

определяется по формуле $G_{\phi} = \sum_{i=1}^n G_i / n$, где

n – число форсунок.

Исходя из расчетной производительности одной форсунки, по графику рис. 6.11 определяют гидравлическое сопротивление ΔP_{ϕ} стандартной форсунки в зависимости от расхода воды Q при различных диаметрах ее сопла D .

Гидравлическое сопротивление конденсатора выпара ΔP_K при заданной производительности каждого подвода деаэратора G_i определяют по графику рис. 6.12.

Необходимое давление воды, создаваемое насосами перед деаэратором, находят как сумму давлений $P_B = \Delta P_{\phi} + \Delta P_K + P_D$, где ΔP_{ϕ} – гидравлическое сопротивление форсунки; ΔP_K – гидравлическое сопротивление конденсатора выпара; P_D – давление в деаэраторе.

Иногда требуемые производительность и степень подогрева воды отличаются от нормализованных значений. Тогда при выборе головки деаэратора руководствуются следующим: если деаэратор должен постоянно работать на полной нагрузке, то выбирают деаэрационную головку ближайшего большего размера, если же деаэратор используют на полную мощность относительно редко, а массогабаритные характеристики оборудования имеют существенное значение, то выбирают деаэрационную головку, исходя из возможности ее работы с перегрузкой до 120%.

Расход греющего пара, необходимый для работы деаэратора, определяется уравнением

$$D_{г.п} = \frac{\sum_{i=1}^n G_i (i_d - i_i)}{(i_{г.п} - i_d) \eta_d},$$

где i_d – энтальпия воды при температуре насыщения в деаэраторе; i_i – энтальпия воды в i -м подводе; $i_{г.п}$ – энтальпия греющего пара; η_d – коэффициент, учитывающий потери тепловой энергии в деаэраторе.

§ 6.3. Пресная бытовая вода

Физико-химическая очистка пресной бытовой воды. На судах широко применяются методы обеззараживания воды и минерализации дистиллята.

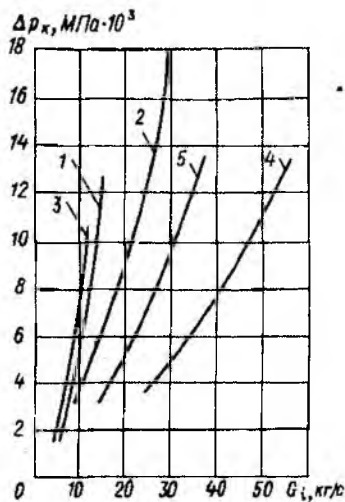


Рис. 6.12. Зависимость гидравлического сопротивления конденсатора выпара ΔP_K от производительности деаэратора G_i .

1 – для головки ГДСТМ 900; 2, 3 – для первого и второго подводов головки ГДСТМ 1600; 4, 5 – для первого и второго подводов головки ГДСТМ 2400.

Обеззараживание — одна из наиболее важных составляющих общего процесса приготовления питьевой воды. Если мутная, цветная или солоноватая вода вызывает лишь неприятные ощущения при ее употреблении, то вода, содержащая болезнетворные бактерии и вирусы, опасна для здоровья человека и не должна использоваться для питья без предварительного обеззараживания. Классификация методов обеззараживания приведена на рис. 6.13.

Обеззараживающий эффект любого бактерицидного агента в большей или меньшей степени зависит от дозы и степени активности бактерицидного агента, времени контакта с обрабатываемой водой, прозрачности и цветности воды, концентрации бактерий в обрабатываемой воде, стойкости бактерий и вирусов к данному бактерицидному агенту и др.

Процесс обеззараживания воды окислительного характера при постоянной концентрации в ней химического агента описывается уравнением $dy/dt = A(N_0 - y_M)$, где y_M — число погибших микроорганизмов за единицу времени; t — время контакта; A — константа скорости; N_0 — начальное число микроорганизмов.

После интегрирования это уравнение преобразуется к виду: $(N_0 - y_1)/N_0 = e^{-At}$. Из полученного уравнения следует, что процесс обеззараживания во времени подчиняется экспоненциальному закону.

Зависимость концентрации обеззараживающего агента от времени, необходимо для снижения концентрации бактерий до заданной величины, выражается формулой $C^n = K$, где C — концентрация обеззараживающего агента; t — время контакта, необходимое для снижения общего числа бактерий на заданный процент; n — коэффициент поглощения; K — константа резистентности микроорганизмов в отношении данного обеззараживающего агента, зависящая от вида микроорганизма и свойств обеззараживающего агента (иногда от pH среды).

С повышением температуры воды требуемое время контакта бактерицидного вещества с водой несколько уменьшается за счет увеличения скорости диффузии его через оболочку бактериальной клетки.

Влияние температуры воды на скорость процесса обеззараживания описывается выражением

$$\lg \frac{t_1}{t_2} = \frac{E(T_2 - T_1)}{RT_1 T_2},$$

где T_1 и T_2 — время, необходимое для снижения содержания в воде бактерий на заданный процент при температурах T_1 и T_2 соответственно, мин; R — газовая постоянная.

Зависимость эффекта обеззараживания от первоначальной концентрации бактерий выражается формулой Козна-Чика

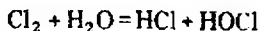
$$K = \frac{1}{\tau} \lg \frac{N_0}{N_1},$$

где K — константа отмирания бактерий; τ — время действия бактерицидного агента; N_0 — начальная концентрация бактерий; N_1 — конечная концентрация бактерий в воде.

Из этой формулы следует, что, чем больше бактерий было до введения бактерицидного агента, тем больше их останется после обеззараживания. Таким образом, недостаточная физико-химическая очистка воды отрицательно сказывается на бактерицидном действии применяемых обеззараживающих агентов.

Хлорирование — традиционный метод обеззараживания воды на судах.

При введении в воду хлор гидролизуется, образуя хлорноватистую и соляную кислоты



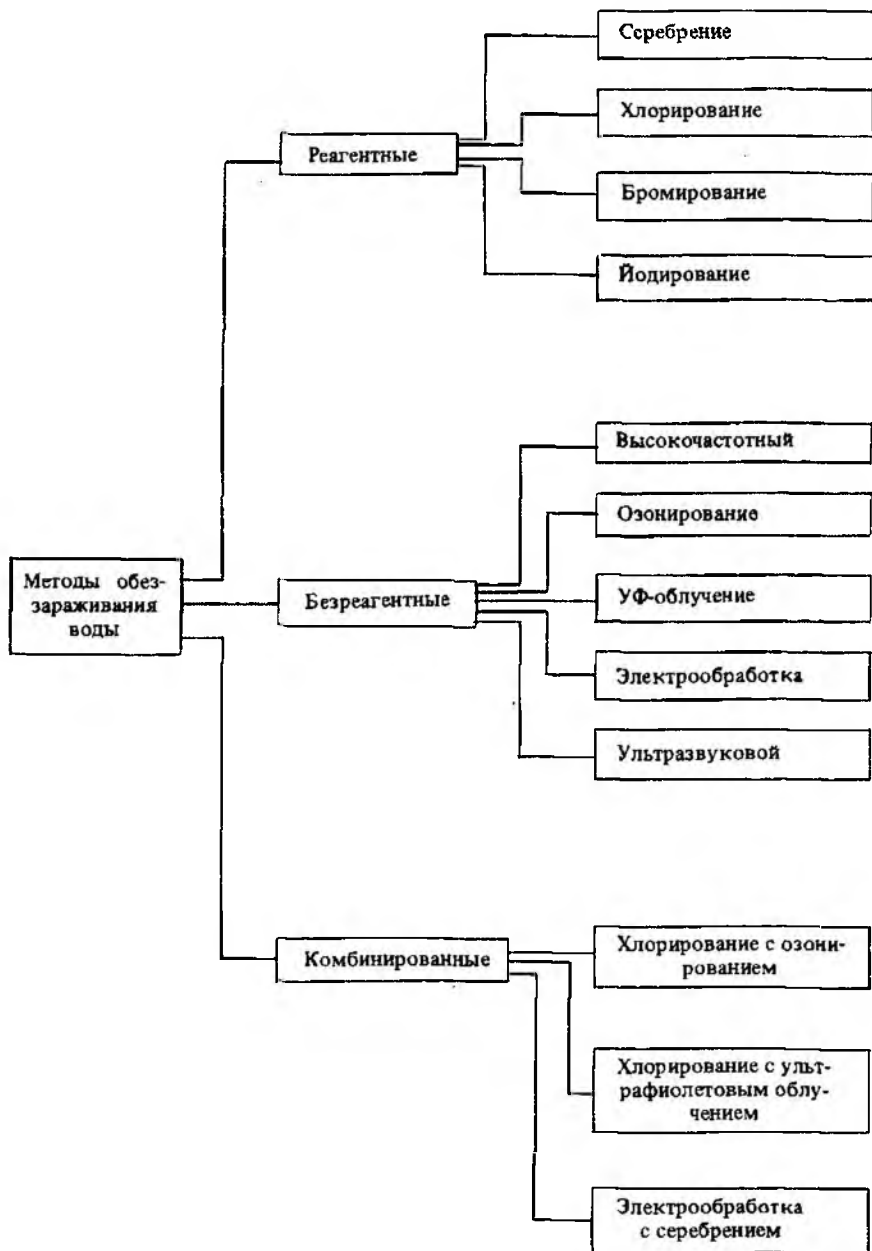


Рис. 6.13. Классификация методов обеззараживания воды.

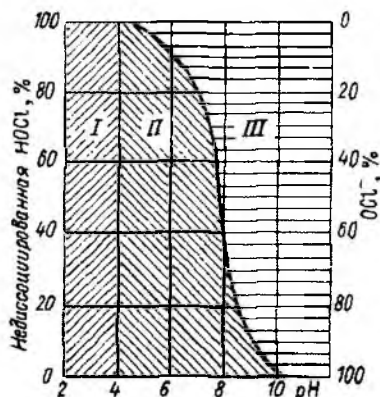
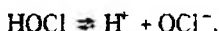


Рис. 6.14. Зависимость концентрации HOCl и OCl_2 в воде от pH.

I, II, III – зоны присутствия в воде активного хлора в виде Cl_2 , HCl и OCl^- соответственно.

Хлорноватистая кислота подвергается диссоциации на ионы водорода H^+ и гипохлоритные ионы OCl^-



Хлорноватистую кислоту и гипохлорит-ионы называют свободным активным хлором, обеспечивающим бактерицидный эффект.

Зоны присутствия в воде активного хлора в виде Cl_2 , HCl и OCl^- в зависимости от pH показаны на рис. 6.14.

Наличие в воде аммиака или азотосодержащих органических соединений приводит при взаимодействии со свободным

активным хлором к образованию хлораминов. Хлорамины называют связанным активным хлором. Окислительная способность его значительно ниже, чем свободного активного хлора.

Бактерицидное действие хлора и его соединений объясняется взаимодействием с протеинами и аминокислотами, которые содержатся в оболочке бактерии и ее внутриклеточном веществе. Это взаимодействие приводит к распаду структуры клетки и прекращению жизнедеятельности бактерий.

Опыт обеззараживания воды свидетельствует об отрицательной роли взвешенных примесей, затрудняющих проникновение дезинфицирующего вещества в толщу частиц. Эффект обеззараживания усиливается, если до обеззараживания вода была подвергнута осветлению.

Большое влияние на активность свободного и связанного хлора в воде оказывают температура и величина pH.

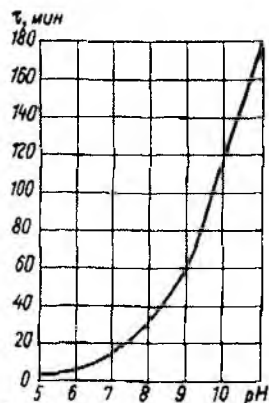


Рис. 6.15. Зависимость бактерицидности свободного хлора от pH воды.

T – время, необходимое для снижения содержания кишечной палочки в воде на 99% при дозе свободного хлора 0,1 мг/л.

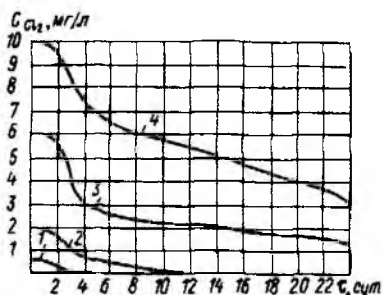


Рис. 6.16. Зависимость концентрации свободного хлора CCl_2 в воде от длительности ее хранения T в судовой цистерне при различной исходной концентрации.

1 – 0,5 мг/л; 2 – 2 мг/л; 3 – 6 мг/л; 4 – 10 мг/л.

С повышением температуры бактерицидность возрастает, с увеличением pH -- снижается (рис. 6.15).

Согласно требованиям ГОСТ 2874-73, количество остаточного хлора в воде должно быть 0,3–0,5 мг/л. При концентрации хлора менее 0,3 мг/л нет гарантии в полном обеззараживании воды, при концентрации выше 0,5 мг/л вода приобретает характерный запах и требует дехлорирования.

В процессе хранения хлорированной воды в судовых цистернах концентрация хлора в воде со временем уменьшается, что объясняется его расходом на окислительные процессы, а также диффузией несвязанного хлора из воды в воздух (рис. 6.16).

Для хлорирования воды применяют различные хлорсодержащие препараты. Основные из них перечислены ниже.

Хлорная известь CaOCl_2 — поставляется по ГОСТ 1692-58. Содержание активного хлора в товарном продукте 32–36%. При растворении в воде образуется хлорное молоко (хлорсодержащий агент) и нерастворимый осадок, состоящий из Ca(OH)_2 , CaO и CaCO_3 . Оставшийся после использования хлорного молока обводненный осадок содержит до 5% активного хлора и может быть использован в качестве загрузки минерализованных и стабилизационных судовых фильтров. Хлорная известь гигроскопична и малостойка. Под воздействием влаги, света и углекислоты распадается с выделением активного хлора. Хранят хлорную известь в герметичной таре.

Гипохлорит кальция Ca(ClO)_2 — представляет собой белый кристаллический порошок, влажность которого не превышает 2%. Промышленность выпускает двутретиосновную соль гипохлорита кальция (ДТСТГК) — $3\text{Ca(ClO)}_2 \cdot x\text{Ca(OH)}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ — двух сортов. Содержание активного хлора в первом сорте 52%, а во втором — 47%.

Гипохлорит натрия NaClO — поставляется по ГОСТ 11086-76 в виде сиропообразного зеленовато-желтого раствора, не содержащего осадка и взвешенных частиц, в специальных гумированных цистернах или покрытых винипластом контейнерах. Гипохлорит натрия получают также в специальных аппаратах — электролизерах путем электролиза хлорсодержащих растворов (морской воды, раствора NaCl и др.).

Содержание хлора в воздухе помещений по санитарным нормам не должно превышать 0,001 мг/м³.

Озонирование (в отличие от хлорирования) обеспечивает не только стерилизацию воды, но и ее обесцвечивание и дезодорацию.

В воде озон распадается на молекулы кислорода и атомарный кислород. Скорость распада быстро возрастает с увеличением соленосодержания, температуры и pH воды.

Ввиду сильной окислительной способности озон обладает высокой бактерицидностью против таких устойчивых организмов, как вирусы и цисты. Гибель микробов, встречающихся в воде, в результате обработки ее методом озонирования, наступает внезапно при определенной критической дозе озона, причем их оживление исключено. Бактерицидный эффект озона объясняется действием его на окислительно-восстановительную систему бактерий и непосредственно на протоплазму клетки.

Доза озона, необходимая для обеззараживания, возрастает с увеличением содержания в воде органических веществ и повышением температуры, pH, мутности и цветности воды. Например, бактерицидная доза для фильтрованной воды в 2–2,5 раза меньше, чем для исходной воды того же источника. Бактерицидное действие озона проявляется наиболее сильно в воде, содержащей малое количество органических веществ. Оптимальная концентрация O_3 для обеззараживания воды при времени контакта 5–20 мин составляет 0,4–4 мг/л. Бактерицидное и антивирусное действие озона превосходит действие таких агентов как хлор и серебро, поэтому время, необходимое для уничтожения бактерий озонированием, значительно меньше, чем при использовании хлора и серебра (рис. 6.17).

Озонированная вода менее подвержена последующим загрязнениям. Минеральный химический состав воды практически не изменяется; в ней не появляется никаких дополнительных веществ и химических соединений. Озон очищает воду от фенолов, нефтепродуктов и гуминовых веществ, удаляет из воды железо, марганец и даже пестициды.

Озон получают под действием „тихого“ электрического разряда на пропускаемый через генератор озона воздух или кислород.

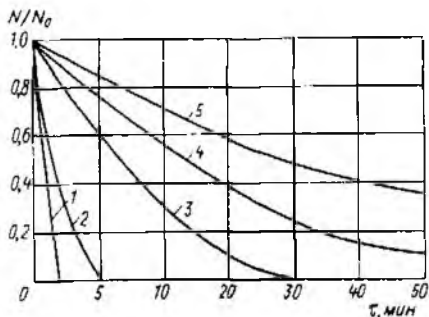


Рис. 6.17. Зависимость степени обеззараживания воды от длительности воздействия на воду бактерицидного вещества при обработке воды различными методами.

1 — ультрафиолетовым облучением; 2 — озонированием; 3 — хлорированием; 4 — серебрением; 5 — перекисью водорода.

Активная мощность озонатора определяется по формуле

$$P = \frac{2}{\pi} U_p \omega [C_z (U_0 - U_p) - C_n U_p].$$

где U_p — напряжение в разрядном промежутке, В; ω — круговая частота тока, Гц; C_z , C_n — электрическая емкость соответственно электродов и разрядного промежутка, Ф; U_0 — рабочее напряжение, подводимое к озонатору, В.

Поскольку для определенного озонатора величины C_z , C_n и U_p имеют постоянные значения независимо от напряжения и частоты тока, то расход электроэнергии пропорционален последним. Причем, с ростом частоты тока несколько снижается его КПД за счет увеличения потребления электроэнергии трансформатором и преобразованием частоты.

Электросинтез озона сопровождается образованием окислов азота, что снижает КПД озонатора (рис. 6.18).

При увеличении температуры и влажности воздуха, подаваемого в озонатор, наблюдается снижение выхода озона (рис. 6.19), что свидетельствует о целесообразности предварительного охлаждения и осушения поступающего воздуха при помощи специальных устройств. Однако это вызывает дополнительную потребность в электроэнергии, расход которой на получение 1 кг озона составляет 6–10 кВт·ч. Расход энергии на получение 1 кг озона из хорошо осушенного воздуха колеблется для озонаторов различного типа от 13 до 29 кВт·ч, а для неосушенного воздуха — от 43 до 37 кВт·ч. Стоимость озона в 7–8 раз выше стоимости хлора.

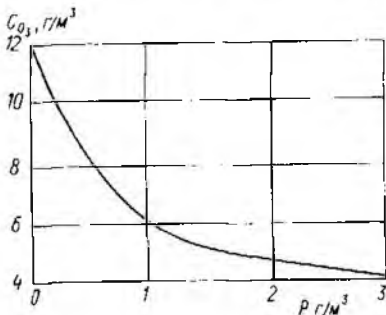


Рис. 6.19. Зависимость выхода озона от влажности воздуха, подаваемого в озонатор.

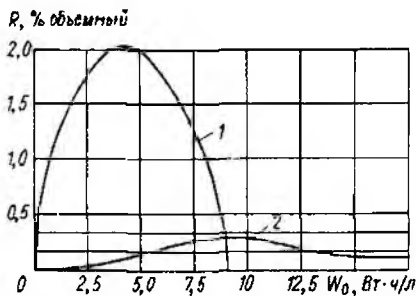


Рис. 6.18. Зависимость выхода озона и окислов азота в озонаторе R от потребляемой удельной энергии W_0 .

1 — для озона; 2 — для окислов азота.

Ионы серебра используются как средство обеззараживания и консервации воды. Вода, насыщенная ионами серебра, или, как ее называют, серебряная вода, имеет высокие бактерицидные

свойства. Концентрация серебра 0,1–0,2 мг/л уже через 2 ч вызывает гибель микроорганизмов. Летальная доза серебра в воде для кишечной палочки 0,04 мг/л. Однако при обработке воды, содержащей споры бактерий, серебро малоактивно даже при концентрации 20 мг/л и времени экспозиции 30–60 мин. Последствие серебра продолжается в течение многих месяцев. Вода, обработанная серебром при дозах более 0,2–0,5 мг/л, через некоторое время становится стерильной.

Серебряную воду получают методом электролитического растворения серебряного анода, которое идет наиболее эффективно при плотности тока 0,15–5 мА/см, напряжении на электродах 3–12 В, межэлектродном расстоянии 5–12 мм, периодической смене полярности через 3–12 мин и слабом перемешивании воды вокруг электродов.

Бактерицидный эффект серебра в сильной степени зависит от солевого состава воды, концентрации органических веществ, дозы серебра, температуры воды, времени контакта и pH. Большие концентрации хлоридов, сульфатов и карбонатов снижают бактерицидные свойства серебра в результате образования химических соединений, не обладающих столь же сильным бактерицидным действием.

Предельно допустимая концентрация серебра в питьевой воде 0,05 мг/л. Поэтому применение в судовых условиях для обеззараживания воды доз серебра 0,2–0,5 мг/л требует последующего досеребрения.

Расчет ионатора серебра сводится к выбору размеров электродов исходя из заданных характеристик: производительности, ресурса, дозы серебра и др.

Ультрафиолетовые лучи оказывают бактерицидное действие на микроорганизмы, находящиеся в воде, практически мгновенно. Это объясняется фотохимическим воздействием их на бактерии подобно солнечным лучам в процессах самоочистки водоемов. Под влиянием ультрафиолетовых лучей происходит изменение внутренней структуры микроорганизмов, нарушается проницаемость протоплазмы и повреждается клеточная оболочка кишечной палочки. Действие этих лучей распространяется на все виды бактерий, в том числе и споровые.

Бактерицидный эффект действия ультрафиолетового излучения зависит от его интенсивности, толщины слоя обрабатываемой воды, поглощения излучения средой, прозрачности и особенно цветности воды. Повышение цветности или мутности воды вызывает наибольшее поглощение ультрафиолетового излучения, что резко снижает бактерицидный эффект (рис. 6.20).

Расчетный бактерицидный поток ультрафиолетового излучения (Вт) определяется по формуле

$$F_B = 2,25 \frac{Qa_n K \left(\lg \frac{P}{P_0} \right)}{\eta}$$

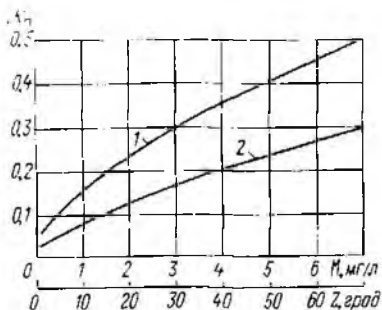


Рис. 6.20. Зависимость поглощения ультрафиолетовых лучей K_n от мутности M и цветности воды Z .

1 – от мутности; 2 – от цветности.

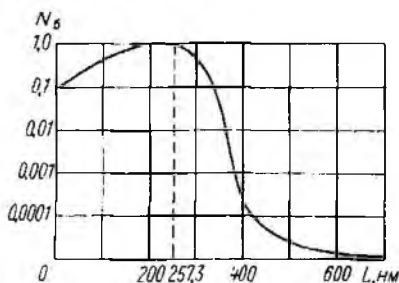


Рис. 6.21. Зависимость относительной бактерицидной эффективности ультрафиолетового излучения N_6 от длины волны L .

где Q – количество обрабатываемой в единицу времени воды, $\text{м}^3/\text{ч}$; $\alpha_{\text{п}}$ – коэффициент поглощения, см^{-1} , для воды поверхностных источников $\alpha_{\text{п}} = 0,3 \text{ см}^{-1}$; $K = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ (Вт} \cdot \text{с)}/\text{см}^2$ – коэффициент сопротивляемости бактерий; $P \leq 3$ – коли-индекс для питьевой воды по ГОСТ 2874–82; P_0 – коли-индекс исходной воды; $\eta = 0,8 \div 0,9$ – коэффициент использования бактерицидного потока источника ультрафиолетового излучения, погруженного в воду.

Наибольшим бактерицидным действием обладают ультрафиолетовые лучи с длиной волны 253,7 нм (рис. 6.21).

Эффективное обеззараживание воды ультрафиолетовыми лучами возможно только при условии очень хорошего осветления воды, что достигается при помощи коагуляции взвеси, находящейся в воде, с последующей фильтрацией. В этом случае важное значение придается коагуляции, так как основная масса бактерий размещается в образовавшихся хлопьях грязи и задерживается фильтром.

При сильном бактериальном загрязнении воды ультрафиолетовое облучение не всегда обеспечивает должное обеззараживание.

Аппараты обеззараживания воды ультрафиолетовыми лучами имеют рабочую камеру и узлы: турбулизации воды, очистки лампы, замера интенсивности ультрафиолетового излучения, предочистки воды и др.

Минерализацию дистиллята применяют для улучшения вкусовых качеств опресненной воды путем обогащения ее минеральными солями.

Наибольшее распространение получил метод минерализации, основанный на добавлении в дистиллят определенных доз концентрированных растворов солей (табл. 6.7). Добавление солей осуществляется циклически на определенный объем воды, находящийся в цистерне, или непрерывно путем впрыскивания солей в поток дистиллята.

Характеристика наборов солей для приготовления питьевой воды из дистиллята приведена в табл. 6.8.

Менее дорогой и более простой метод минерализации заключается в фильтровании дистиллята через накипь, образующуюся в самоочищающемся опреснителе. При

Таблица 6.7

Расход солей на минерализацию дистиллята

Страна	Минерализующие компоненты	Расход на 1 м^3 воды, г	
		по компонентам	всего
СССР	NaHSO_4	96	763,4
	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	81	
	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	322	
	NaHCO_3	262,6	
	NaF	1,8	
Франция	NaF	0,77	137,72
	NaHCO_3	75,6	
	NaCl	34,5	
	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	26,85	
	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	69	
ГДР	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	24	108
	NaCl	10	
	KCl	5	
	NaHCO_3	72,98	
ГДР	NaF	1,76	239
	NaCl	90,6	
	NaHSO_4	24	
	MgSO_4	28,4	
	Na_2SO_4	21,26	

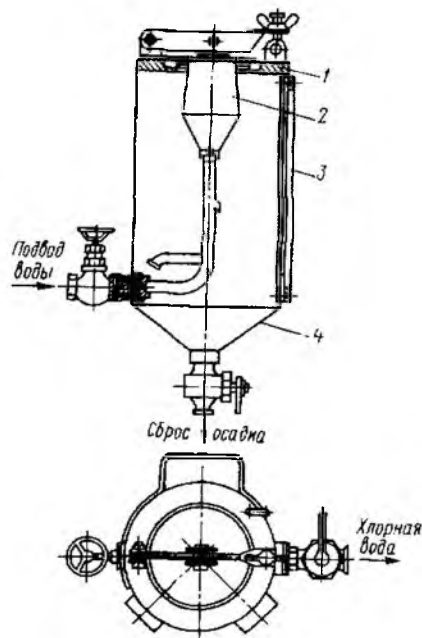


Рис. 6.22. Хлоратор типа ХЛ.

1 – крышка; 2 – мерник для хлорной извести; 3 – смотровое стекло; 4 – корпус с коническим дном.

Таблица 6.8

Характеристика наборов солей для приготовления питьевой воды из дистиллята

Минерализующий компонент	Соль	Количество соли, г, в зависимости от объема приготавливаемой воды, м ³			
		1	2	3	5
I	Натрий сернокислый кислый	96	192	288	480
	Магний сернокислый	81	162	243	406
II	Кальций хлористый кристаллический	322	644	966	1610
III	Натрий двууглекислый	262,6	525,2	787,8	1313
	Натрий фтористый	1,8	3,6	5,8	9

Таблица 6.9

Основные технические характеристики хлораторов типа ХЛ

Характеристика	ХЛ 0,5/1	ХЛ 8	ХЛ 50
Объем обеззараживаемой воды за одну заправку, м ³	0,5	8	50
Габариты, мм	185 x 70 x 70	510 x 445 x 150	845 x 48 x 320
Масса, кг	0,9	15	51

температуре испарения морской воды 40–80°С и кратности упаривания от 1,5 до 3 в таком опреснителе образуется и самопроизвольно скалывается с нагревательных батарей накипь, состоящая на 90–95% из CaCO_3 . Удельный выход накипи составляет 80–100 г на 1 м³ опресненной воды. Периодически выгружаемая из испарителя накипь в виде кусочков (пластинок) размером 0,5–10 мм может быть использована в качестве минерализующей загрузки в специальном фильтре.

Процесс минерализации идет с добавлением углекислоты (например, отдувочной из опреснителя) концентрацией 25–50 мг/л, что обеспечивает растворение накипи и обогащение дистиллята ионами Ca^{2+} и HCO_3^- . Для повышения общего солевого содержания воды до оптимального уровня 200–400 мг/л в фильтрат добавляют очищенную морскую воду в количестве 5–6 мл на 1 л питьевой воды. При этом содержание токсичных микроэлементов бора и брома в минерализованной воде не превышает соответственно 0,5 и 0,2 мг/л. Приготовленная таким методом вода по химическому составу соответствует ГОСТ 2874–82.

Оборудование для обеззараживания воды и минерализации дистиллята. Для обеззараживания воды на судах применяют разнообразное оборудование.

Хлораторы (рис. 6.22) предназначены для растворения хлорной извести. Корпус хлоратора представляет собой цилиндрический сосуд с конусным дном. Крышка хлоратора – откидывающаяся. Внутри хлоратора помещается мерник, в который засыпается хлорная известь. Для наблюдения за наполнением хлоратора водой и дозированием раствора на корпусе установлено водомерное стекло. Вода подается в хлоратор через приемный клапан и, поступая по трубе, расположенной внутри корпуса вдоль его оси, вымывает хлорную известь из мерника. Приготовленный в хлораторе раствор дозируется в цистерну питьевой воды. Образовавшийся в донной части корпуса нерастворившийся осадок удаляется через нижний патрубок

путем промывки хлоратора водой. Основные технические характеристики хлораторов типа ХЛ представлены в табл. 6.9.

Хлоратор фирмы „Райнер“ (Англия) предназначен для непрерывного дозирования в трубопровод питьевой воды жидкого хлора (рис. 6.23). Дозирование осуществляется по принципу эжекции. Основные технические характеристики хлораторов фирмы „Райнер“ даны в табл. 6.10.

На судах применяют также хлораторы фирм „Норит“ (Голландия) производительностью 0,5–1 м³/ч, „Атлас“ (Дания) производительностью 0,75–6 м³/ч, „Нирекс“ (Дания) производительностью 1–5,5 м³/ч, „Петерсон Кенди“ производительностью 5 м³/ч и др.

Озонаторные агрегаты (рис. 6.24) служат для обеззараживания воды озоном (станции озонирования). Они состоят из собранных на одной раме генератора озона с системой электропитания, смесительной колонны, песчаного фильтра, насосов и трубопроводов. Принципиальное устройство генератора озона показано на рис. 6.25.

Основные технические характеристики станций озонирования воды приведены в табл. 6.11.

На судах, построенных в ГДР, установлены озонаторы типа SOG-16 (рис. 6.26) производства ЧССР. Их

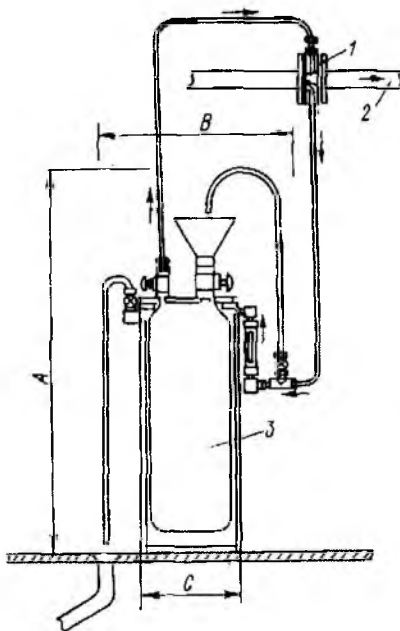


Рис. 6.23. Хлоратор фирмы „Райнер“.

1 – эжектор; 2 – трубопровод питьевой воды; 3 – баллон с жидким хлором.

Основные технические характеристики хлораторов фирмы „Райнер“ (см. рис. 6.23)

Характеристика	№ 0	№ 1	№ 2
Емкость, л	13	55	105
Габариты, мм:			
А	916	990	990
В	406	534	686
С	254	356	503
Масса, кг	102	152	189

применяют для обеззараживания минерализационного дистиллята. Озонатор SOG-16 агрегатированного исполнения. Основные технические характеристики озонатора SOG-16 следующие:

Производительность, м ³ /ч.	4
Производительность по озону, кг/ч	0,013
Расход воздуха, м ³ /ч	0,5
Расход электроэнергии, кВт.	2,5
Высота, мм	1600
Масса, кг	325

Ионатор серебра ЛК-28 (рис. 6.27) предназначен для консервирования питьевой воды путем ее обработки электролитическим раствором серебра. Ионатор состоит из электропульта и гидравлической части, смонтированных в металлическом корпусе. Дозировка вводимых в воду доз серебра ведется по времени на основании показаний амперметра. Для удобства работы к ионатору приложена таблица перевода показаний амперметра в количество серебра (г/мин и г/ч). Настройка ионатора на требуемую дозу серебра производится до включения аппарата в работу. Так как

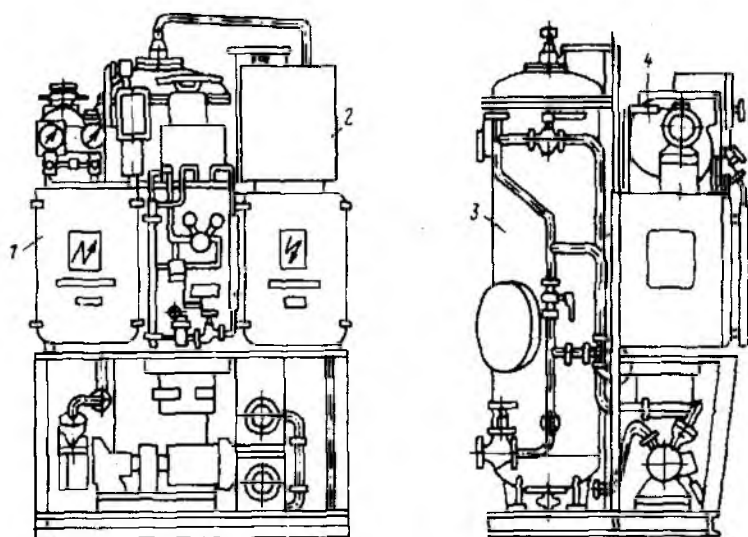


Рис. 6.24. Озонаторный агрегат „Озон 0,5А“.

1 — электрическая часть; 2 — щит управления; 3 — фильтр песчаный; 4 — вентилятор.

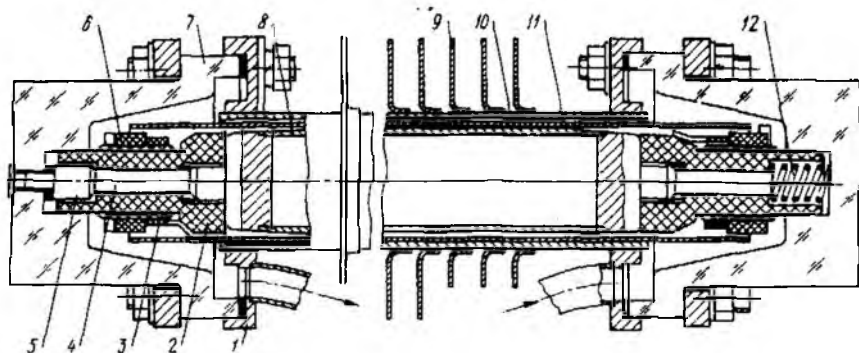


Рис. 6.25. Генератор озона.

1 – корпус; 2 – изолятор; 3 – цапга центрирующая; 4 – центрирующий стержень; 5 – контакт; 6 – втулка; 7 – крышка; 8 – электрод внутренний; 9 – ребро; 10 – электрод наружный; 11 – диэлектрик; 12 – пружина.

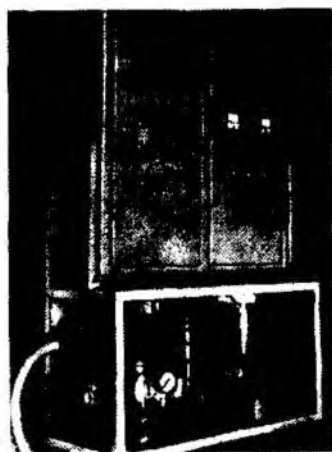


Рис. 6.26. Устройство озонирования воды SOG-16.

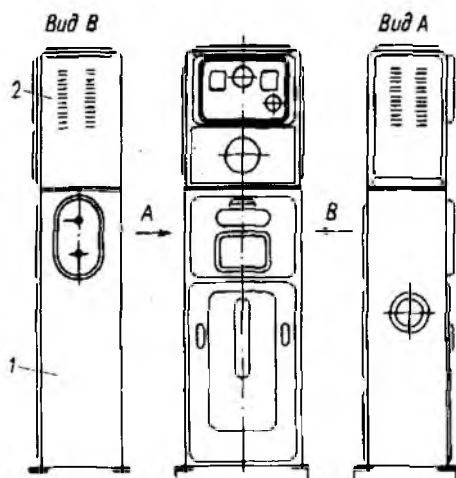


Рис. 6.27. Ионатор серебра ЛК-28.

1 – гидравлическая часть; 2 – электрическая часть.

Таблица 6.11

Основные технические характеристики станций озонирования

Характеристика	„Озон 0,5А“	„Озон 0,1Г“	„Озон 0,1В“
Производительность, м ³ /ч	0,5	0,1	0,1
Потребляемая мощность, кВт	2,5	0,2	0,2
Габариты, мм	1360 x 1370 x 2160	570 x 1080 x 2085	570 x 1080 x 2085
Масса, кг	1300	574	585

Рис. 6.28. Установки для обеззараживания воды ультрафиолетовыми лучами типа ОВ-1П.

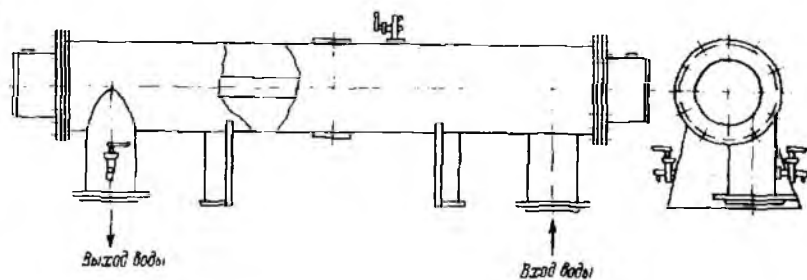


Рис. 6.29. Установка для обеззараживания воды ультрафиолетовыми лучами типа ОВ-50.

Таблица 6.12
Основные технические характеристики установок типов ОВ-1П и ОВ-50

Характеристика	ОВ-1П	ОВ-50
Производительность, м ³ /ч	3	50
Потребляемая мощность, кВт	0,5	0,85
Габариты, мм	1150 x 300 x 380	1288 x 350 x 490
Масса, кг	50	90

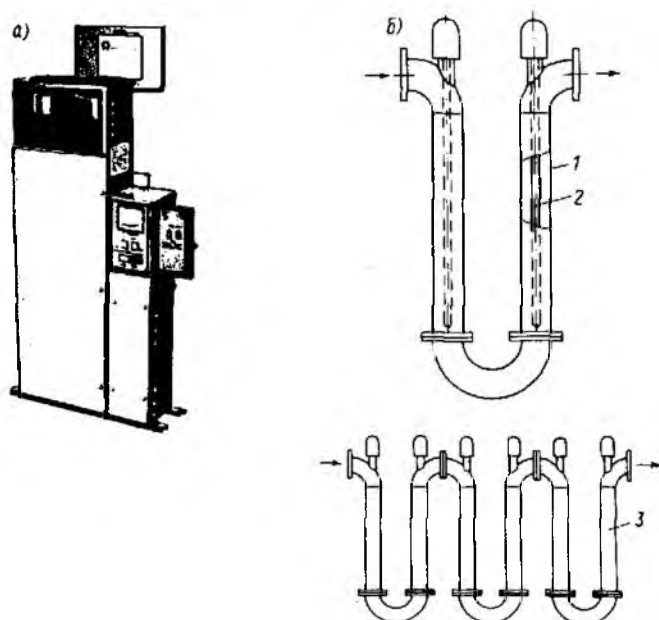


Рис. 6.30. Установка для обеззараживания воды ультрафиолетовыми лучами фирмы „Сисейф Тунор”: а – общий вид; б – схема.

1 – корпус; 2 – измеритель; 3 – батарея установок.

ионатор ЛК-28 не оборудован фильтром-десеребратором, дозирование в воду серебра в дозах, превышающих 0,05 мг/л, не допускается.

Основные технические характеристики ионатора ЛК-28 приведены ниже:

Производительность, м ³ /ч	50
Потребляемая мощность, кВт	0,150
Габариты, мм	1810X580X390
Масса, кг	150

Фирма „Катадин” (Швейцария) выпускает судовые ионаторы серебра производительностью 0,64–12,5 м³/ч.

Таблица 6.13

Основные технические характеристики установок для обеззараживания воды ультрафиолетовыми лучами фирмы „Сисейф Тунор”

Характеристика	Т-1*	Т-2*	Т-1**	Т-2**
Производительность, м ³ /ч	7,2	3,6	7,2	3,6
Потребляемая мощность, Вт	250	125	250	125
Габариты, мм	1022 x 545 x 469	1022 x 545 x 294	1022 x 545 x 469	1022 x 545 x 294
Масса, кг	125	100	105	85

*Установка со стальным корпусом.

**Установка с пластмассовым корпусом.

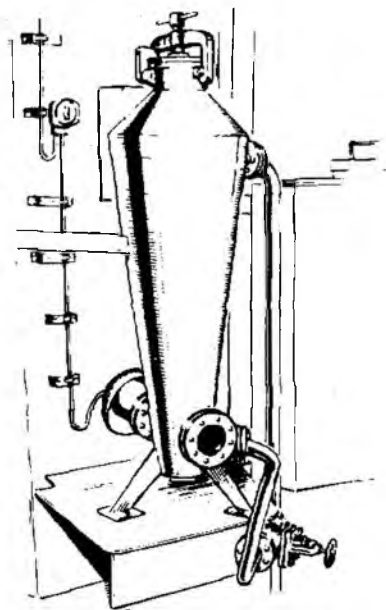
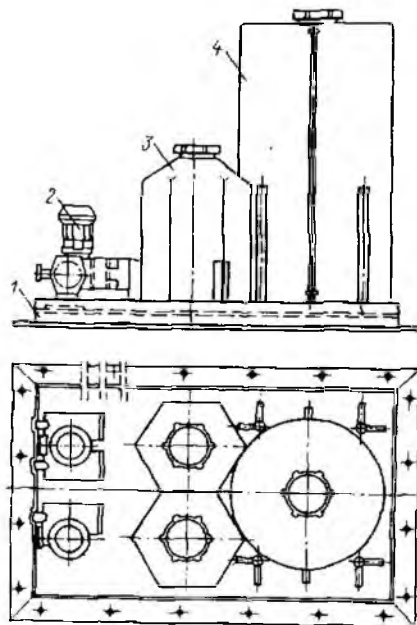


Рис. 6.31. Минерализатор дистиллята вымывного типа MB.

Таблица 6.14.
Основные характеристики минерализаторов
типа MB

Характеристика	MB5	MB50
Производительность на одну заправку солями, м ³ минерализованной воды	1-5	5-50
Габариты, мм	630 x 265 x 230	145 x 500 x 450
Масса, кг	15	64

Рис. 6.32. Минерализатор дистиллята фирмы „Атлас”.
1 — рама; 2 — дозировочный насос; 3, 4 — баки для реактивов.



Ультрафиолетовые лучи как средство обеззараживания применяют в установках различного типа. В судовых условиях используют установки типов ОВ-1П (рис. 6.28) и ОВ-50 (рис. 6.29), их основные технические характеристики приведены в табл. 6.12.

Основные технические характеристики установок для обеззараживания воды ультрафиолетовыми лучами производства шведской фирмы „Сисейф Тукор“ (рис. 6.30) представлены в табл. 6.13.

Судовые установки для обеззараживания воды ультрафиолетовыми лучами разной производительности изготовляют также и некоторые другие зарубежные фирмы: „Ведеко“ (ФРГ) — производительность 1–10 м³/ч, „Катадин“ (Швейцария) — производительность 0,9–20 м³/ч, „Гановия“ (Англия) — производительность 2,5 м³/ч и др.

Минерализаторы дистиллята вымывные (типа МВ) обеспечивают непрерывное вымывание солей из бака-реактора при прокачивании через него дистиллята. Работает минерализатор по замкнутой схеме: судовая цистерна с дистиллятом — циркуляционный насос — минерализатор — судовая цистерна.

Минерализатор (рис. 6.31) состоит из конического корпуса, внутри которого находится отбойный козырек, и быстротъемной крышки. Для наблюдения за процессом растворения солей имеется смотровое окно. Основные технические характеристики минерализаторов типа МВ приведены в табл. 6.14.

Минерализатор дистиллята непрерывного дозирования фирмы „Атлас“ (Дания), представленный на рис. 6.32, имеет три бака (для трех минерализующих

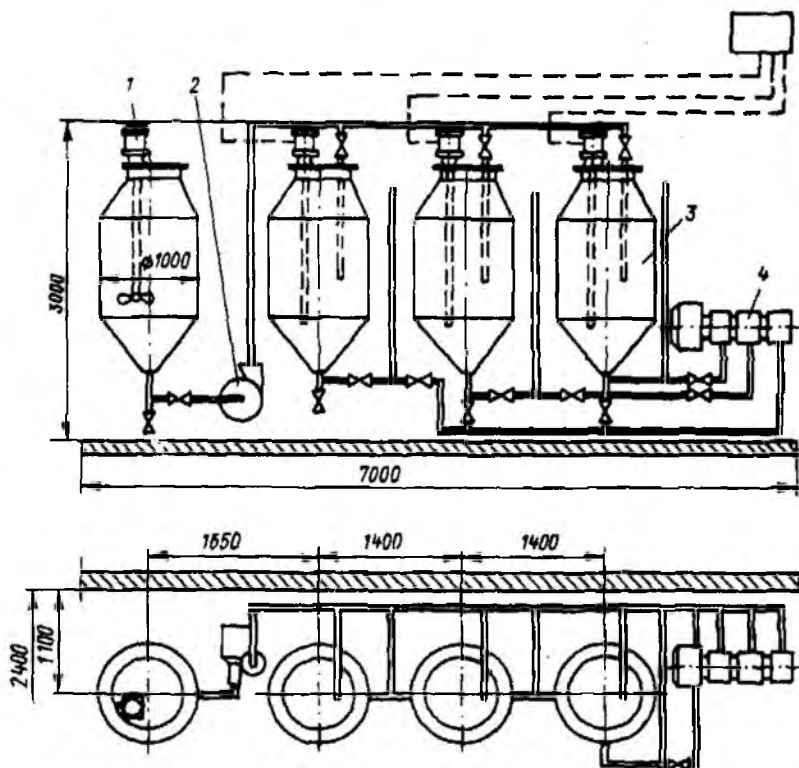


Рис. 6.33. Минерализатор дистиллята фирмы „Интема“.

1 — мешалка с электроприводом; 2 — циркуляционный насос; 3 — баки для минерализующих растворов; 4 — дозировочные насосы.

компонентов), три дозировочных насоса мембранного типа, трубопроводы и арматуру. Все оборудование смонтировано на одной раме. Минерализатор имеет ручную регулировку производительности.

Минерализаторы дистиллята фирмы „Интема“ (ФРГ) (рис. 6.33) устроены аналогично минерализатору фирмы „Атлас“.

Основные технические характеристики минерализаторов „Атлас“ и „Интема“ следующие: производительность 2,08 и 10 м³/ч и габариты 1300 x 850 x 1130 и 7000 x 2400 x 3000 мм соответственно.

§ 6.4. Сточная и хозяйственно-бытовая вода

Электрохимическая очистка сточных вод. Электрохимическая обработка сточных вод проводится электролизом с использованием растворимых и нерастворимых электродов. В качестве растворимых применяют железные и алюминиевые электроды, ионы которых обладают хорошими коагулирующими свойствами, в качестве нерастворимых – электроды из материала, мало или не взаимодействующего с обрабатываемой жидкостью (графита, магнетита), и на основе окислов металлов (например, ОРТА) и др.

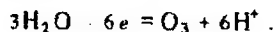
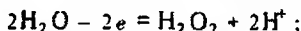
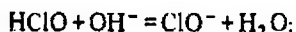
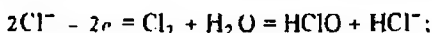
При электрохимической обработке воды происходит ряд процессов, обеспечивающих очистку стоков (рис. 6.34).

На растворимых электродах происходит ионизация металла с переходом в раствор его ионов: $Me - ze = Me^{z+}$, которые, гидролизуясь по реакции $Me^{z+} + zH_2O = Me(OH)_z + zH^+$, образуют гидрооксиды, служащие хорошим адсорбентом скоагулированных загрязнений. При электролизе происходит также разложение воды с подщелачиванием обрабатываемой жидкости у катода $2H_2O + 2e = H_2 + 2OH^-$ и подкислением у анода $H_2O - 2e = \frac{1}{2}O_2 + 2H^+$.

В результате взаимодействия с коллоидными загрязнениями гидроокиси металла и изменении pH обрабатываемой жидкости происходит коагуляция коллоидных загрязнений. Кроме того, при прохождении жидкости между электродами под воздействием электрического поля, возникающего между электродами, происходит нейтрализация заряда коллоидных частиц с последующей их коагуляцией. Одновременно с процессами коагуляции пузырьками газов, выделяющихся при электролизе, осуществляется флотация загрязнений.

На нерастворимых электродах также идет процесс электрохимической флотации загрязнений, при этом происходит электрохимическая деструкция загрязнений на катоде и аноде. При содержании в сточных водах морской воды коагуляция коллоидных загрязнений может происходить за счет гидроокиси магния, образующейся в приэлектродном слое катода по реакции $Mg^{2+} + 2OH^- = Mg(OH)_2$. Образование гидроокиси магния происходит при pH > 8,9.

При электролизе сточных вод их обеззараживание происходит ионами гипохлорита, образующимися на аноде (при наличии в сточных водах ионов хлоридов), а также в результате электрохимического образования перекиси водорода и озона



Кроме того, процесс обеззараживания происходит за счет действия электрического поля между электродами.

Основными факторами, определяющими качество электрохимической очистки сточных вод, являются соотношение токов и объемный расход обрабатываемых стоков между электродами, плотность токов на электродах, время обработки сточных вод, материал и конструкция электродов.



Рис. 6.34. Последовательность процессов электрохимической обработки сточных вод.

Технологические расчеты процесса электрохимической обработки основаны на определении параметров узла электрохимической обработки (блоков электродов) с движущимся потоком очищаемой жидкости. Расчеты проводят обычно для многоэлектродных систем. При расчетах используют геометрические характеристики блока электродов (рис. 6.35).

Скорость движения жидкости w между электродами без учета изменения толщины электродов в процессе их работы определяют по уравнению $w = Q / [K(s - \delta)b]$, где Q — расход жидкости, протекающей между электродами, $\text{см}^3/\text{с}$; $K = n - 1$ — число анодных или катодных пространств; n — число электродов; s — расстояние между электродами, см ; δ — толщина диафрагмы, см ; b — длина электродов, см .

Время, в течение которого очищаемые стоки подвергаются электролизу, $\tau = h/w$, где h — высота электродов, см .

Количество вещества, претерпевшего электрохимические изменения (г-экв) Δm с учетом выхода по току η , определяется по закону Фарадея $\Delta m = \eta I \tau / F$, где I — сила тока, пропускаемого через электроды, А ; $F = 26,8$ — число Фарадея, $\text{А} \cdot \text{ч}/\text{г-экв}$.

Концентрация вещества, претерпевшего электрохимические изменения, может быть выражена как $\Delta C' = \Delta m / V$ или $\Delta m = \Delta C' V$, где $\Delta C'$ — концентрация вещества, претерпевшего электрохимические изменения, на выходе из анодного или катодного пространства, г-экв/л; V — объем катодного или анодного пространства, $V = K[(s - \delta/2)bh]$.

Проведя соответствующие подстановки, получим $\Delta C'_1 = 2\eta I / QF$, где $\Delta C'_1$ —

концентрация вещества, претерпевшего электрохимические изменения, в анодном или катодном пространстве, г-экв/л.

Для электродов с неразделенными анодными и катодными пространствами или в зоне, где происходит смешение жидкостей, выходящих из анодного и катодного пространств, полученное выше уравнение будет иметь вид: $\Delta C'_2 = \eta I / QF$, где $\Delta C'_2$ — концентрация вещества, претерпевшего электрохимическое превращение, в объеме всей обрабатываемой жидкости, г-экв/л.

Для перехода к массовой концентрации вещества (г/л) воспользуемся соотношением $\Delta C' = z \Delta C / M$, где ΔC — массовая концентрация вещества, г/л; M — молекулярная масса вещества, г; z — число электродов, участвующих в электрохимической реакции. Тогда $\Delta C_1 = 2\eta IM / zQF$ и $\Delta C_2 = \eta IM / zQF$, где C_1 — массовая концентрация вещества,

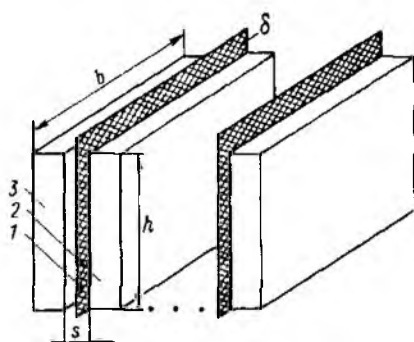


Рис. 6.35. Схема блока электродов для электрохимической очистки.

1 — диафрагма; 2 — катод; 3 — анод; b , h — длина и высота электродов; δ — толщина диафрагмы; s — расстояние между электродами.

претерпевшего электрохимические превращения, на выходе из анодного или катодного пространства диафрагменного электролизера, г/л; C_2 — массовая концентрация вещества, претерпевшего электрохимические превращения, при электролизе без диафрагм или в объеме жидкости после смешения анодных и катодных потоков, г/л.

Таким образом, концентрация вещества, претерпевшего электрохимические изменения, зависит при неизменном выходе по току только от соотношения тока, пропускаемого через электроды, и потока обрабатываемой жидкости.

Выведенные уравнения используются при известном выходе по току при заданной плотности тока и служат для определения концентраций веществ, образующихся в результате электрохимических реакций.

Для выбора напряжения источника питания электродов составляют баланс напряжений

$$U_3 = \varphi_a - \varphi_k + \Delta U_{\text{ом}} + \Delta U_{\text{ом}}^{\text{д}} + \Sigma \Delta U_{\text{к}},$$

где U_3 — напряжение, подаваемое на электроды, В; φ_a и φ_k — потенциалы анода и катода при заданном токе; $\Delta U_{\text{ом}}$ — омические потери в электролите; $\Delta U_{\text{ом}}^{\text{д}}$ — омическое падение напряжения в диафрагме (для диафрагменных электролизеров); $\Sigma \Delta U_{\text{к}}$ — омические падения напряжения в токоподводах, на контактах и в выпрямительном устройстве.

Омическое падение напряжения $\Delta U_{\text{ом}}$ в межэлектродном пространстве и диафрагме $\Delta U_{\text{ом}}^{\text{д}}$ определяют по формулам:

$$\Delta U_{\text{ом}} = \frac{IS}{\chi b h (n-1)};$$

$$\Delta U_{\text{ом}}^{\text{д}} = \frac{IS_{\text{д}} \beta^2}{\chi d b h (n-1)},$$

где χ — удельная электропроводность обрабатываемых стоков, $\text{Ом}^{-1} \text{см}^{-1}$; $S_{\text{д}}$ — толщина диафрагмы, см; β — коэффициент извилистости пор (для тонких тканевых диафрагм $\beta = 1$); d — объемная пористость диафрагмы.

Химическая очистка судовых сточных вод. Обработка жидкостей при изменении водородного показателя (рН) основана на свойстве загрязнений коагулировать и выпадать в осадок при подщелачивании сточных вод (при подщелачивании стоков также происходит инаktivация бактерий).

Для подщелачивания используют обычно гидроокись металлов, растворимых в воде (обычно гидроокиси щелочных и щелочноземельных металлов). Подщелачивание производится до $\text{pH} = 11-12$, при котором происходит надежная коагуляция, осаждение органических и минеральных загрязнений и обеззараживание сточных вод.

Расчет дозы реагента производится следующим образом. При растворении гидроокиси в воде происходит ее диссоциация с образованием в растворе ионов гидроксила по реакции:



при этом из одного моля гидроокиси образуется z молей ионов гидроксила.

Для получения требуемого рН, которое связано с концентрацией ионов гидроксила выражением

$$\text{pH} = -\lg C_{\text{H}^+} = \lg \frac{C_{\text{OH}^-}}{K_{\text{w}}}, \quad (6.1)$$

где C_{H^+} и C_{OH^-} — концентрация ионов водорода и гидроксила, г-ион/л, а $K_{\text{w}} = 10^{-14}$ г-ион/л — ионное произведение воды, необходимо добавить к сточным водам количество гидроокиси

$$m = \frac{C_{OH} \cdot M}{z}$$

(6.2)

где m – количество гидроокиси, добавляемой к 1 л сточных вод для получения требуемой концентрации ионов гидроксидов, г; M – молекулярная масса гидроокиси, г; z – число ионов гидроксидов, образующихся при растворении.

Подставив уравнение (6.1) в (6.2), имеем $pH = \lg \left[(zm) / K_{\text{д}} M \right]$. Предельное pH , которое можно получить для используемой гидроокиси, определяется по формуле $pH = 1/z \lg (L / C_{Me^{2+}})$, где L – произведение растворимости используемой гидроокиси, г-ион/л; $C_{Me^{2+}}$ – концентрация металла в растворе, г-ион/л.

Для более точных расчетов при высокой растворимости гидроокиси необходимо использовать вместо концентрации ионов величину их активности.

Эффективное обеззараживание воды зависит от времени контакта щелочи с бактериями и происходит при $pH > 12$ (рис. 6.36).

Жидкофазное окисление основано на окислении органических загрязнений, содержащихся в сточных водах, кислородом, растворенным в стоках, при высокой температуре ($200-350^\circ\text{C}$) и давлении, обеспечивающем нахождение воды при этой температуре в жидкой фазе. При этом органические вещества, содержащиеся в сточных водах, окисляются до углекислоты, азота, воды и других веществ. Эффективность очистки сточных вод зависит в основном от температуры и времени обработки, которое не превышает для бытовых сточных вод 2 ч.

Технологические расчеты аппаратов жидкофазного окисления включают в себя в основном определение оптимальных температуры и времени окисления, по которым находится их объем. На рис. 6.37 приведена зависимость снижения ХПК сточных вод от времени для судовой установки „Пуритек“.

Процесс жидкофазного окисления наиболее эффективен в присутствии катализаторов и при высокой концентрации загрязнений в сточных водах. Поэтому обработку загрязнений жидкофазным окислением выполняют на установках, обрабатывающих сточные воды систем, использующих малое количество промывочной воды.

Типы установок для физико-химической очистки сточных и хозяйственно-бытовых вод. Установка типа АWWU для химической обработки сточных и хозяйственно-бытовых вод выпускается датской фирмой „Атлас“. Очистка воды в этой установке осуществляется изменением pH стоков при добавлении к ним гидроокиси кальция (гашеной извести).

Схема обработки сточных вод приведена на рис. 6.38. Из сточных вод, поступивших в установку, с помощью наклонной грязеудерживающей решетки извлекаются крупнофракционные загрязнения, которые под действием силы тяжести сползают в шламовый отсек. Периодически решетка промывается водой. После грязеудерживающей решетки частично очищенные стоки поступают в смешительную



Рис. 6.36. Зависимость степени обеззараживания воды от pH .



Рис. 6.37. Зависимость изменения логарифма ХПК сточных вод от времени для установки „Пуритек“.

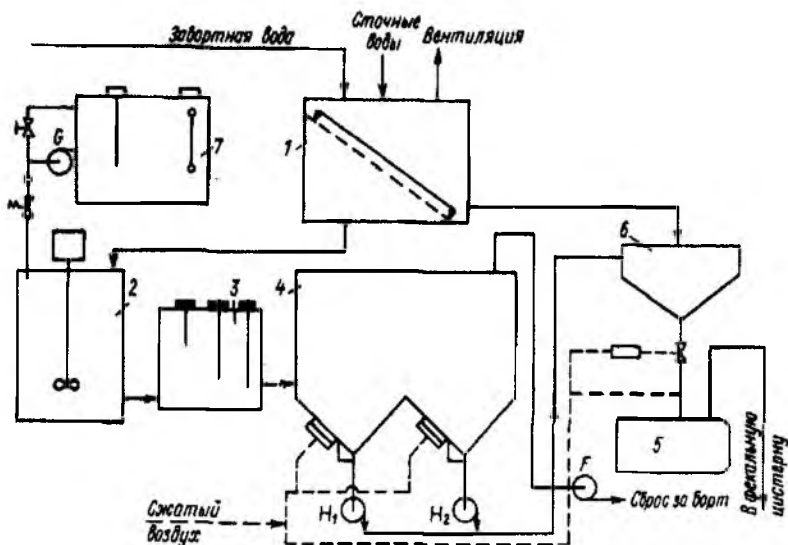


Рис. 6.38. Схема обработки сточных вод в установке типа AWWU.

1 — узел удаления крупнофракционных загрязнений; 2 — смешивательная емкость; 3 — сборная емкость; 4 — отстойная цистерна; 5 — шламовая пневмоцистерна; 6 — шламоприемник; 7 — емкость для химикатов.

H_1 , H_2 , G , F — насосы: шламовые, дозирующий и откачивающий обработанные стоки.

емкость, в которую дозирующим насосом подается суспензия гашеной извести. Дозирующий насос имеет избыточную производительность, и часть перекачиваемой суспензии гидроокиси кальция возвращается обратно в емкость для химикатов. Рециркуляционный поток направляется тангенциально стенкам емкости для химикатов, обеспечивая интенсивное перемешивание суспензии. Регулировка дозы реагента осуществляется установкой реле времени на требуемый период работы дозирующего насоса. При работе установки предусмотрена автоматическая сигнализация о недостаточном уровне суспензии в емкости для химикатов.

В смешивательной емкости сточные воды медленно перемешиваются мешалкой для интенсификации процессов растворения гидроокиси кальция в коагуляции коллоидных загрязнений. При растворении гашеной извести pH сточных вод повышается до 11–12. Такие значения pH обеспечивают коагуляцию коллоидных загрязнений и инактивацию бактерий.

Из смешивательной емкости обрабатываемые стоки перетекают в сборную емкость, где продолжают процессы коагуляции и обеззараживания. Для предотвращения влияния качки на процесс обработки сточных вод в сборной емкости установлены вертикальные пластины-успокоители. Через отверстия в нижней части стенки сборной емкости сточные воды перетекают в отстойную цистерну, где происходит осветление сточных вод отстаиванием, откуда очищенные стоки насосом откачиваются за борт.

Отстойная цистерна имеет коническое днище для более полного удаления отстоявшихся загрязнений. Отстоявшийся шлам периодически перемешивается сжатым воздухом и двумя шламовыми насосами перекачивается в шламовую пневмоцистernу, откуда сжатым воздухом транспортируется в фекальную цистерну.

Установку типа „Пуритек“ используют для химической обработки только сточных вод жидкофазным окислением загрязнений (рис. 6.39). Эта установка предназначена для судов с замкнутой рециркуляционной системой.

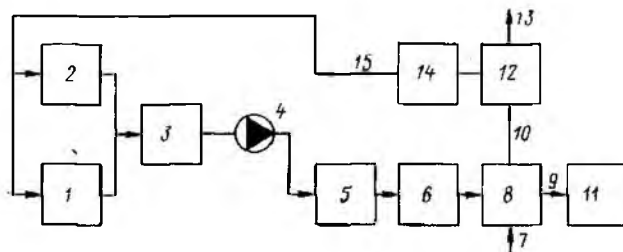


Рис. 6.39. Схема обработки сточных вод в установке типа „Пуритек“.

1, 2 — санитарно-технические устройства; 3 — сборная цистерна; 4 — питательный насос; 5, 6 — первичный и вторичный подогреватели; 7 — подача воздуха высокого давления; 8 — реактор жидкофазного окисления; 9 — отвод парогазовой фазы; 10 — отвод жидкой фазы; 11 — дымовая труба ДВС; 12 — фильтр; 13 — отвод отфильтрованных неорганических веществ; 14 — охладитель очищенной воды; 15 — подача очищенных стоков на рециркуляцию.

В санитарно-технических системах судов с установками жидкофазного окисления загрязнений применяются санитарно-технические устройства, использующие небольшое количество воды для их промывки (вакуумная система). Сточные воды, подлежащие обработке, поступают в сборную цистерну для сглаживания пиковых нагрузок и затем питательным насосом через предварительный и вторичный подогреватели, использующие тепло от очищенных сточных вод и тепло выпускных газов ДВС, подаются в реактор жидкофазного окисления (рис. 6.40). В этот же реактор подается катализирующий реакцию жидкофазного окисления химический реактив и воздух высокого давления.

В процессе обработки сточные воды перетекают из первого во второй и третий отсеки реактора, в которых при интенсивном перемешивании осуществляются процессы жидкофазного окисления. Очищенные воды фильтруются, охлаждаются и направляются на рециркуляцию. Водяной пар, частично компенсирующий приток воды в систему за счет выделений экипажа, сбрасывается в выхлопную трубу ДВС. Шлам, образующийся в установке, каждые 60 сут должен удаляться из реактора. Для этой цели установка выводится из эксплуатации и реактор жидкофазного окисления вскрывается для удаления из его отсеков неокисляющихся веществ.

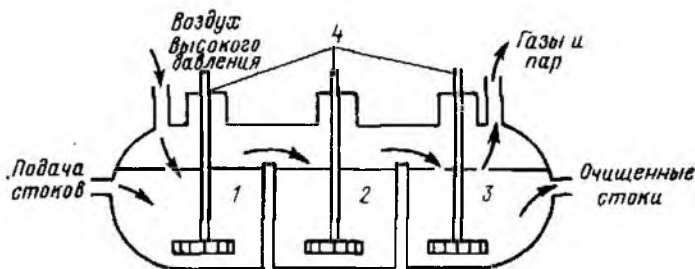


Рис. 6.40. Схема реактора жидкофазного окисления загрязнений установки типа „Пуритек“.

1, 2, 3 — отсеки первичного, вторичного окисления и сбора очищенной воды; 4 — мешалки.

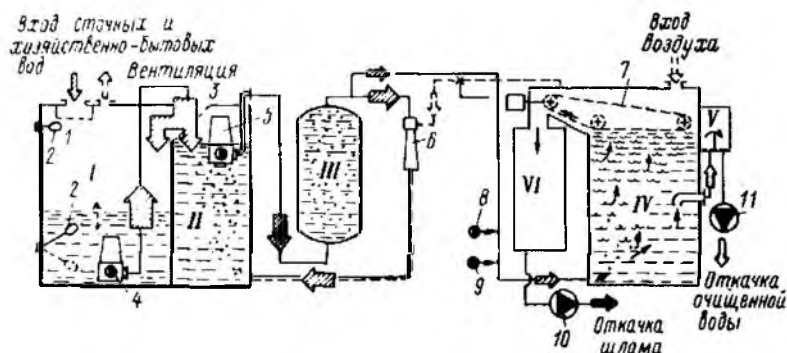


Рис. 6.41. Схема установки для очистки сточных вод типа „Нептуматик“.

I – усреднительная емкость; *II* – расширительный бак; *III* – напорная емкость; *IV* – флотационный танк; *V* – емкость для сбора очищенной воды; *VI* – емкость для сбора шлама.

1 – крупноячеистая сетка; 2 – датчики уровней; 3 – сетка для отделения крупнофракционных загрязнений; 4 – перекачивающий насос; 5 – циркуляционный насос; 6 – эжектор; 7 – скребковый транспортер; 8, 9 – дозирующие насосы коагулянта и обеззараживающего вещества; 10 – насос откачки шлама; 11 – насос откачки очищенной воды.

В установке типа „Нептуматик“ для обработки сточных вод используется флотационный метод очистки (рис. 6.41). Установка открытого типа и обрабатывает сточные и хозяйственно-бытовые воды.

Сточные воды через крупноячеистую решетку поступают в усреднительную емкость, откуда перекачивающим насосом через сетку для отделения нераздробленных крупнофракционных загрязнений подаются в расширительный бак циркуляционным насосом и направляются в напорную емкость, где создается повышенное давление для образования пересыщенного раствора воздуха.

Из напорного бака часть жидкости через эжектор, подающий в обрабатываемые стоки воздух, возвращается в расширительную емкость, а часть сточных вод направляется во флотационную емкость. Перед поступлением стоков во флотационную емкость в них дозирующими насосами впрыскивается реактив для коагуляции коллоидных загрязнений (хлорное железо) и обеззараживающий реактив (гипохлорид кальция или гипохлорид натрия). Во флотационной емкости при снижении давления происходит процесс флотации скоагулированных коллоидных и взвешенных загрязнений пузырьками воздуха, выделяющимися из пересыщенного раствора, при этом одновременно осуществляется процесс обеззараживания сточных вод.

Загрязнения, удаленные из стоков, образуют на поверхности жидкости пену, которая скребковым транспортером направляется в шламовую емкость. Очищенная вода самотеком поступает в сборную емкость для очищенной воды и насосом откачивается за борт судна. Шлам, скопившийся в установке, насосом откачивается в фекальную цистерну.

Установка типа ЭОС отечественного производства использует электрохимический способ очистки сточных вод (рис. 6.42). Установка обрабатывает сточные и хозяйственно-бытовые воды и относится к установкам открытого типа.

Сточные воды от санитарно-технических устройств судна через сетку для отделения крупнофракционных загрязнений поступают в усреднительную емкость. Регенерация сетки отделителя производится под действием центробежных сил при ее вращении. Дополнительно предусмотрена промывка сети отделителя обратным потоком заборной воды. Регенерация сетки отделителя производится после прохождения через нее 300 л сточных вод. Включение сетки производится от датчиков уровня в усреднительной емкости.

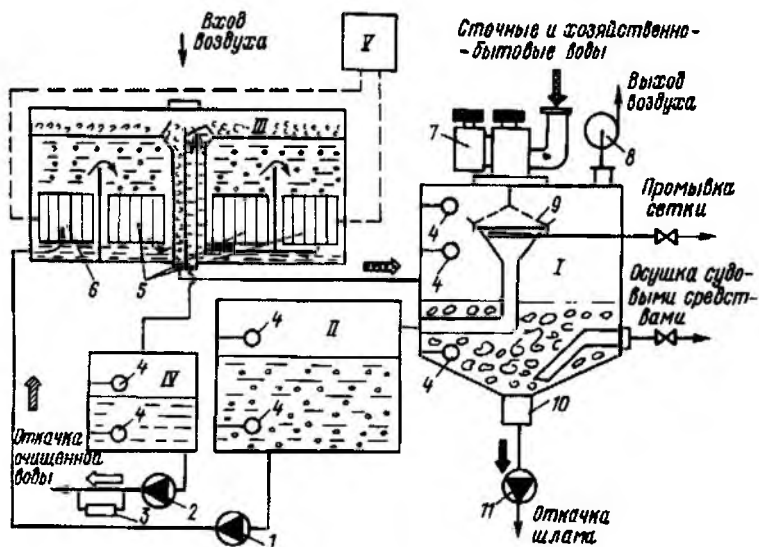


Рис. 6.42. Схема установки для очистки сточных вод типа ЭОС.

I — узел отделения и сбора крупнофракционных загрязнений; *II* — усреднительная емкость; *III* — узел электрохимической очистки и обеззараживания сточных вод; *IV* — емкость для сбора очищенной воды; *V* — блок питания электродов.

1 — перекачивающий насос; 2 — насос откачки очищенной воды; 3 — прибор контроля качества очищенной воды; 4 — датчики уровней; 5 — электроды флотаторов; 6 — электроды коагулятора; 7 — привод сетки отделителя; 8 — вентилятор; 9 — центробежная сетка-отделитель крупнофракционных загрязнений; 10 — измельчитель шлама; 11 — насос откачки шлама.

Из усреднительной емкости стоки, очищенные от крупнофракционных загрязнений, перекачивающим насосом подаются в узел электрохимической очистки, где расположены блок растворимых электродов и три блока инертных электродов. Проходя последовательно через блоки электродов, на которые подается постоянное напряжение, обеспечивающее номинальный ток, сточные воды подвергаются электрохимической очистке коагуляцией коллоидных загрязнений на растворимых электродах и электрофлотацией коллоидных и взвешенных веществ на нерастворимых электродах.

Одновременно с процессом электрохимической флотации происходит процесс обеззараживания сточных вод. Обеззараживание сточных вод обусловлено совместным действием следующих процессов: активным хлором, электрохимически выделяющимся на электродах в результате окисления хлоридов; за счет изменения pH в анодном и катодном пространствах блоков электродов; в результате прямой инактивации бактерий на электродах; под действием электрического поля в межэлектродном пространстве.

Очищенные и обеззараженные стоки поступают в сборную емкость, откуда насосом откачиваются за борт судна. Загрязнения, удаленные из сточных вод, образуют на поверхности жидкости пену, которая подается в шламовую емкость. Из шламовой емкости пена вместе с загрязнениями, задержанными на сетке, через измельчитель насосом откачивается в фекальную цистерну или подается на сжигание в инсинератор.

Безводная система „Аква-Санз“ удаления загрязнений в качестве промывочной использует жидкость, не смешивающуюся с водой и загрязнениями.

Установка обеспечивает обработку загрязнений только для сточных вод и работает по замкнутому циклу (рис. 6.43).

Загрязнения из санитарно-технических устройств специальной жидкостью переносятся в установку и попадают в сепарационный отсек, где происходит гравитационное отделение загрязнений от промывочной жидкости. Промывочная жидкость фильтруется через фильтр для удаления взвешенных веществ и фильтры, обеспечивающие обеззараживание промывочной жидкости, обеззараживается таблетками гипохлорита натрия и направляется на рециркуляцию. Загрязнения насосом перекачиваются в судовую печь для сжигания.

Для малых судов (рейдовых катеров, прогулочных судов и т. п.) используют автономные туалеты, в которых унитаз совмещен с устройством для обработки сточных вод (рис. 6.44). Загрязнения, смываемые из унитаза, попадают в приемный бак и самотеком поступают на высокоскоростную дробилку, где происходит измельчение загрязнений. В заборный патрубок дробилки дозирующим насосом для обеззараживания стоков подается гипохлорит натрия. Сточные воды в течение 10–15 мин циркулируют между дробилкой и приемной емкостью, а затем подаются на металлокерамический фильтр и отфильтрованные сточные воды сбрасываются за борт. Металлокерамический фильтр периодически заменяется другим. Для регенерации фильтрующего элемента его вынимают из корпуса фильтра и помещают в поток горячих выхлопных газов от ДВС. Работа автономного унитаза полностью автоматизирована. Имеется датчик, выдающий сигнал о необходимости замены фильтрующего элемента. Срабатывание датчика происходит при превышении номинального давления перед фильтром.

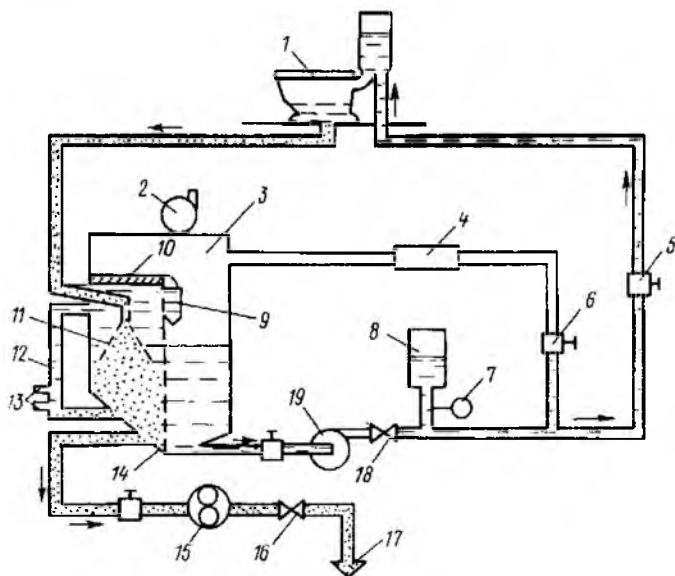


Рис. 6.43. Схема рециркуляционной установки типа „Аква-Санз“.

1 – санитарно-технические устройства; 2 – вентилятор; 3 – сепарационный отсек; 4 – фильтр; 5, 6 – клапаны; 7 – датчик включения насоса; 8 – накопительная емкость; 9 – корзиночный сетчатый фильтр; 10 – коалесцирующий элемент; 11 – устройство подачи неочищенных стоков в установку; 12 – колонка контроля за уровнем жидкости; 13 – датчики уровня; 14 – сборник шлама; 15 – насос-размельчитель шлама; 16, 18 – клапаны; 17 – трубопровод откачки шлама в сборную емкость; 19 – насос подачи очищенной промывочной жидкости.

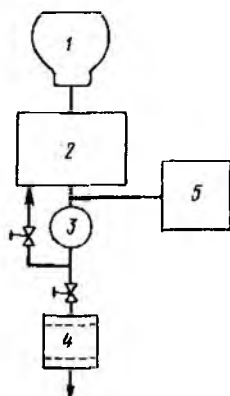


Рис. 6.44. Схема автономного туалета U-5.

1 — унитаз; 2 — сборная емкость; 3 — насос-дробилка; 4 — металлокерамический фильтр; 5 — емкость для гипохлорита кальция.

Основные принципы эксплуатации установок обработки сточных вод физико-химическими методами. Установки для обработки сточных вод — высокоавтоматизированное оборудование, для которого необходимо только периодическое обслуживание, заключающееся в контроле запаса реактивов в расходных емкостях, их приготовления и пополнении ими расходных емкостей. Химические реактивы, особенно обеззараживающие реагенты, обычно токсичные вещества и при обращении с ними необходимы специальные меры предосторожности.

Обслуживающий персонал должен регулярно проверять качество очистки сточных вод, что можно выполнять визуально или с помощью специальных тест-реактивов, входящих в комплект установок.

Для некоторых установок разработан и входит в комплект поставки прибор автоматического контроля качества очистки сточных вод по взвешенным веществам, от содержания которых в значительной степени зависят и другие контролируемые параметры воды. При превышении нормы содержания взвешенных веществ в очищенных стоках на щит управления выдается сигнал о снижении качества очищенной воды и установка автоматически выводится из работы.

При обслуживании установок, использующих физико-химические методы обработки сточных вод, необходимо периодически проверять дозу реактивов,

поступающих в обрабатываемые стоки, так как нарушения процесса очистки в основном связаны с изменением дозировки реактивов. Кроме того, в процессе эксплуатации установок необходим контроль за состоянием решеток для отделения крупнодисперсных загрязнений и их периодическая очистка. При работе установок необходимо следить за состоянием насосов, арматуры и других устройств, обеспечивающих протекание технологического процесса очистки. Особое внимание необходимо обращать на состояние насоса и запорной арматуры на линии откачки шлама, так как они работают на средах, содержащих наибольшее количество загрязнений.

Периодически в соответствии с инструкцией по обслуживанию и в случае выхода установок из эксплуатации на длительный период должна проводиться промывка емкостей установки от шлама, скапливающегося на дне емкостей. Несоблюдение этого условия может нарушить технологический режим очистки и работу механизмов установок.

Биохимическая очистка судовых сточных вод. Биохимическая очистка является одним из наиболее широко используемых методов обработки судовых сточных вод.

В процессах биологической очистки агентом, воздействующим на загрязнения в стоках, являются различные аэробные микроорганизмы. Сообщество этих микроорганизмов образует активный ил, в состав которого входят микроорганизмы различных систематических групп: бактерий, актиномицетов, простейших, водорослей, вирусов, членистоногих и некоторых других.

Основная роль в процессах очистки сточных вод принадлежит бактериям, число которых в расчете на 1 г сухого вещества ила колеблется от 10^8 до 10^{11} клеток. Активный ил имеет весьма развитую поверхность — до 100 м^2 на 1 г сухой массы, а размер клеток колеблется от 0,1 до 3 мкм, частицы ила имеют отрицательный заряд при pH = 4–9. При очистке бытовых сточных вод обычно наиболее многочисленными оказываются бактерии рода *Pseudomonas* — грамотрицательные палочки, затем по численности следуют кокковые формы и бациллы. В зависимости от условий существования ила в нем развиваются несколько родов бактерий (до 8).

Состав микрофлоры и микрофауны активного ила зависит от состава поступающих на установку сточных вод, количества растворенного кислорода, pH, температуры, гидродинамики потока, солености, нагрузки на установку органическими загрязнителями и может значительно изменяться в процессе очистки.

Важнейшее свойство ила – способность к хлопьеобразованию (флокуляции) и седиментации. Бактериальная флокуляция – это физиологическое состояние микроорганизмов, которое происходит после окончания их фазы роста и наступления фазы эндогенной респирации. Флокуляция не определяется одним видом микроорганизмов, а свойственна многим бактериальным культурам. Имеется прямая зависимость между накоплениями внеклеточных полимеров в массе бактерий и микробальным хлопьеобразованием. В период образования хлопьев увеличивается отношение содержания внеклеточных полимеров к массе бактерий. Внеклеточные полимеры представлены четырьмя основными категориями: полисахаридами, белками, РНК и ДНК.

Хлопья ила можно дефлокулировать, если с поверхности клетки удалить внеклеточные полимеры; при внесении полимеров обратно в активный ил бактерии вновь образуют хлопья. Флокуляцию можно усилить добавлением неорганических веществ, таких как казеин, сульфат аммония, кремнезем. Из физических параметров, влияющих на флокуляцию, основным является рН.

От физического состояния ила и его биологического состава зависит эффективность процесса биологической очистки судовых сточных вод. Показателем рабочего течения активного ила является присутствие в нем инфузорий круглоресничных, трубочников, брюхоносовых (Aspidogaster costata), червей (Nematoda), рако и др.

При образовании активного ила появление микроорганизмов происходит следующим образом. Сначала в очищаемых стоках начинают развиваться бактерии. Затем инфузории, черви, коловратки и др. Бактерии становятся меньше, а инфузории, черви, в том числе коловратки, являются чувствительными индикаторными организмами, характеризующими процесс биологической очистки, кроме того, эти организмы поглощают коллоидные и взвешенные вещества из сточных вод.

В судовых установках часто наблюдается процесс вспухания активного ила с последующим выносом его с очищенными сточными водами и прекращением очистки. Свидетельством этого является исчезновение простейших, развитие грибов, нитчатых бактерий и т. д. Биологический контроль помогает установить причину нарушения процесса биологической очистки.

Вспухание ила может быть обусловлено следующими факторами: уменьшением концентрации растворенного кислорода, избыточным количеством углеводов в стоках, недостатком азота и фосфора, резкими изменениями нагрузок на ил, чрезмерной аэрацией и др. Вспухший ил обладает чрезвычайно развитой поверхностью и имеет очень высокую очистительную способность по сравнению с обычным активным илом. Однако нормальная эксплуатация установок со вспухшим илом невозможна из-за отсутствия удовлетворительных технических решений отделения вспухшего ила от очищенной воды, поэтому большие потенциальные возможности вспухшего ила в настоящее время не используются.

Химический состав активного ила очень сложен, и для расчетов скорости метаболических процессов, определения выхода клеточного вещества и т. п. обычно применяют среднестатистическую формулу органического вещества ила $C_5H_1O_2N$. При этом необходимо учитывать количество поступающих на установку сточных вод, количество содержащихся в них загрязнений, минимальную и максимальную нагрузки по потоку и биологическим загрязнениям на установку, а также остаточное БПК очищенных сточных вод.

Судовые сточные воды имеют следующие характеристики: количество образующейся воды 20–80 л/(чел. · сут); содержание взвешенных веществ 350–4000 мг/л; биохимическое потребление кислорода (БПК₅) 300–3000 мг/л.

Для бытовых сточных вод разработана методика расчета процесса биохимической очистки, которая применима к судовым установкам.

Технологический расчет параметров установок биологической очистки сточных вод на судах проводится с целью вычисления объема аэротенка, количества кислорода, расходуемого на аэрацию, определения количества прироста активного ила и т. д.

Продолжительность аэрации смеси сточной воды и циркулирующего ила в аэротенке

$$t_a = \frac{2,5}{a_{aэп}^{0,5}} \lg \frac{L_a}{L_t}$$

где t_a — время аэрации, ч; $a_{\text{аэр}}$ — доза активного ила в аэротенке для бытовых сточных вод, $a_{\text{аэр}} = 1,5$ г/л; L_a — БПК_п поступающей в аэротенк сточной воды, мг/л; L_t — БПК_п очищенной воды для судовых установок, принимается не более 40 мг/л.

Затем определяется доля ила, циркулирующего из отстойной емкости в аэротенк в зависимости от расчетного притока сточной воды $a = a_{\text{аэр}} / (a_{\text{рег}} - a_{\text{аэр}})$, где $a_{\text{рег}}$ — доза активного ила в отстойной емкости, $a_{\text{рег}} = 4$ г/л.

При аэрации и отстаивании очищенных сточных вод очистка протекает в два этапа: на первом этапе активный ил извлекает из сточных вод коллоидные и взвешенные биологические активные загрязнения; на втором этапе идет окисление извлеченных загрязнений, длительность которого определяется по формуле

$$t_o = \frac{L_a - L_t}{a a_{\text{рег}} (1 - S_n) \rho_o},$$

где t_o — продолжительность окисления снятых загрязнений, ч; S_n — зольность активного ила в долях единицы, для бытовых сточных вод $S_n = 0,3$; ρ_o — средняя скорость окисления загрязнений, мг БПК_п / (г · ч) (по беззольному веществу ила), для судовых установок обработки бытовых сточных вод $\rho_o = 35 \div 41$.

Продолжительность регенерации циркулирующего ила (ч) рассчитывается по формуле $t_p = t_o - t_a$.

Максимальный часовой приток сточных вод на установку ($\text{м}^3/\text{ч}$) $q_B = 3qn/24$, где q — суточное количество сточных вод на одного человека, л/чел · сут; n — численность экипажа, для которого проектируется установка.

Для судовых сточных вод характерен большой коэффициент неравномерности поступления сточных вод, его величина 2,5–3.

На основании максимального притока сточных вод на установку определяют объем аэротенка (м^3) $W_a = t_a (1 + a) q_B$ и объем отстойника-регенератора (м^3) $W_p = t_p a q_B$, тогда общий объем аэротенка с отстойником-регенератором $W = W_a + W_p$.

Продолжительность процесса очистки воды определяется по формуле $t = t_a (1 + a) + t_p a$ и обязательно должна быть проверена путем сравнения полученного значения со значением, вычисленным по формуле

$$t = \frac{L_a - L_t}{a_{\text{ср}} (1 - S_n) \rho_o},$$

где $a_{\text{ср}}$ — доза активного ила, г/л; для циркуляционных аэротенков бытовых вод

$$a_{\text{ср}} = \frac{a_{\text{аэр}} W_a + a_{\text{рег}} W_p}{W}.$$

Полученные выше продолжительности очистки сточных вод должны совпадать.

Количество воздуха, необходимое для аэрации сточных вод, вычисляют по формуле

$$G_B = \frac{G_K (L_a - L_t)}{K_1 K_2 n_1 n_2 (C_p - C_K)},$$

где G_B — удельный расход воздуха на 1 м^3 очищаемых сточных вод, м^3 ; G_K — удельный расход кислорода, мг O_2 / мг БПК_п, $G_K = 0,9 \div 1,1$ мг/мг; K_1 — коэффициент, учитывающий тип аэратора (для судовых установок с мелкопузырчатými аэраторами этот коэффициент принимается по табл. 6.15 в зависимости от отношения площади аэрируемой зоны f к площади аэротенка F); K_2 — коэффициент, зависящий от глубины погружения аэратора (табл. 6.16); n_1 — коэффициент, учитывающий температуру сточных вод, $n_1 = 1 + 0,02(t_{\text{ср}} - 20)$, здесь $t_{\text{ср}}$ — средняя температура

Зависимость K_1 , $J_{\max}$ и n_2 от отношения f/F

$f/F, \frac{\text{м}^2}{\text{м}^2}$	K_1	$J_{\max}, \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$	n_2
0,05	1,34	5	0,59
0,1	1,47	10	0,59
0,2	1,68	20	0,64
0,3	1,89	30	0,66
0,4	1,94	40	0,72
0,5	2	50	0,77
0,75	2,13	75	0,88
1	2,3	100	0,99

сточной воды, °C; n_2 – коэффициент, учитывающий отношение скорости переноса кислорода в иловой смеси к скорости переноса его в чистой воде (для бытовых сточных вод в отсутствии ПАВ $n_2 = 0,85$, при наличии ПАВ n_2 принимается по табл. 6.15); C_k – средняя концентрация кислорода в аэротенке, мг/л, $C_k = 2$ мг/л; C_p – растворимость кислорода воздуха в воде, мг/л, $C_p = [C_T (10,3 + h/2)]/10,3$, здесь C_T – растворимость кислорода воздуха в воде в зависимости от температуры, равная:

$t, ^\circ\text{C}$	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
$C_T, \text{мг/л}$	11,27	10,75	10,26	9,89	9,4	9,02	8,67	8,33	8,02	7,72	7,44

Поверхность аэрируемой зоны f выбирается по площади, занимаемой аэраторами; для мелкопузырчатых аэраторов просветы между ними до 0,3 м включаются в поверхность аэрируемой зоны.

По найденным значениям D и t находят интенсивность аэрации J [$\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$] по формуле $J = DN/t$, где H – рабочая глубина аэротенка, м. Если вычисленная интенсивность аэрации более максимальной $J_{\max}$ для принятого значения K_1 , то необходимо увеличить площадь аэрируемой зоны, если менее минимальной $J_{\min}$ для принятого значения K_2 , то необходимо увеличить расход воздуха.

Прирост активного ила в аэротенках при очистке бытовых сточных вод определяют по формуле $\text{Пр} = 0,8B + 0,3L_a$, где Пр – прирост активного ила, мг/л; B – концентрация взвешенных веществ в поступающих на установку сточных водах, мг/л.

Для возврата активного ила на аэрацию из отстойного танка обычно используют эрлифты, для которых расход воздуха равен

$$W_{\text{уд}} = \frac{h_r}{23\eta_2 \lg \left\{ [h_r (K_n - 1) + 10]/10 \right\}},$$

где $W_{\text{уд}}$ – расход воздуха для перекачки активного ила, м^3 ; h_r – геометрическая высота подъема активного ила, м; $\eta_2 = 0,6$ – КПД эрлифта; K_n – коэффициент погружения форсунки эрлифта. $K_n = H_n/h_r$, здесь H_n – глубина погружения форсунки от уровня налива, м.

Площадь зоны отстаивания отстойника активного ила на половине его рабочей глубины определяют по формуле $\omega = q_b/(3,6v)$, где v – допустимая скорость потока в расчетном сечении, мм/с (для концентрации активного ила 4 г/л допустимая скорость равна 0,3).

Таблица 6.16

Зависимость K_2 и $J_{\min}$ от глубины погружения аэратора h_1

$h_1, \text{м}$	K_2	$J_{\min}, \frac{\text{м}^2}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$
0,5	0,4	48
0,6	0,4	42
0,7	0,6	38
0,8	0,8	32
0,9	0,9	28
1	1	24

Кроме того, при проектировании судовых установок для очистки сточных вод должна учитываться возможность их работы при качке и кренах.

После биологической очистки сточных вод следует процесс обеззараживания стоков, при этом учитывается поступление как сточных, так и хозяйственно-бытовых вод. Для обеззараживания стоков обычно используют активный хлор в виде гипохлорита натрия или гипохлорита кальция. Обычно обеззараживающий агент вводится в емкость для

сбора очищенной воды в таком количестве, чтобы в сточных водах концентрация активного хлора составляла 3--5 мг/л при времени контакта не менее 30 мин.

Объем дозы обеззараживающего агента (л), подаваемого в емкость очищенной воды, $V_d = V_{п.е} C_a / C_x$, где $V_{п.е}$ — объем применяемой емкости для очищенной воды, л; C_a — концентрация обеззараживающего агента, поданного в сборную емкость, мг/л; C_x — концентрация активного хлора в сбрасываемых стоках, мг/л.

Объем приемной емкости для очищенной воды в зависимости от расхода необработанных хозяйственно-бытовых стоков определяют по формуле $V_{п.е} = Q T_{\kappa}$, где

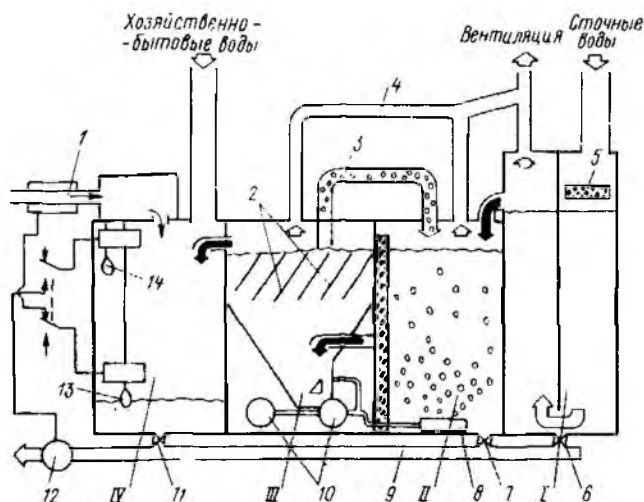


Рис. 6.45. Схема установки типа „Трайдент“.

I — отсек для сбора поступающих стоков; II — аэрационный отсек; III — отсек осаждения активного ила; IV — отсек сбора и обеззараживания очищенной воды.

1 — дозатор обеззараживающего реагента; 2 — пластины отстойника; 3 — эрлифт; 4 — вентиляционный трубопровод; 5 — сетка для отделения крупнодисперсных примесей; 6, 7, 11 — осушительные клапаны; 8 — воздухораспределитель; 9 — трубопровод для осушки установки; 10 — воздушная подушка для аэрации стоков и работы эрлифта; 12 — откачивающий насос; 13, 14 — датчики нижнего и верхнего уровней.

Q – суммарный максимальный расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{ч}$; T_K – время контакта сточных вод с активным хлором, ч, $T_K \geq 0,5$ ч.

Типы установок для биохимической очистки сточных и хозяйственно-бытовых вод. Судовые установки для очистки и обеззараживания судовых сточных вод обычно имеют одну технологическую схему и отличаются друг от друга конструктивными особенностями устройств возврата активного ила, отделения активного ила от очищаемых сточных вод и распылителями воздуха для аэрации.

Установка типа „Трайдент“ (рис. 6.45) является типичной установкой биохимической очистки воды. Ее работа осуществляется следующим образом. Сточные воды от санитарно-технических устройств поступают в приемный отсек, где размещена крупноячеистая сетка, на которой задерживаются и затем потоком стоков измельчаются крупнофракционные загрязнения. Из приемного отсека стоки самотеком поступают в аэрационное отделение, куда воздуходувками через воздухораспределитель подается воздух на аэрацию сточных вод. В этом отсеке и происходит процесс биологической очистки воды.

Очищенная вода с активным илом поступает в отстойное отделение, выполненное в виде конического бункера, наклонные стенки которого способствуют сползанию активного ила на его дно.

Для интенсификации процесса отстаивания ила и уменьшения влияния качки на работу установки внутри бункера расположены наклонные пластины. Отстойный ил эрлифтом возвращается в отделение аэрации. Для работы эрлифта используется воздух от воздуходувки.

Очищенные и отстойные от активного ила сточные воды поступают в емкость для сбора и обеззараживания сточных вод. Обеззараживание сточных вод осуществляется гипохлоритом кальция, который по сигналу от датчика нижнего уровня подается в эту емкость при помощи дозирующего устройства. При срабатывании датчика верхнего уровня включается откачивающий насос и очищенные и обеззараженные стоки сбрасываются за борт.

В емкость для сбора и обеззараживания очищенных сточных вод также подаются и хозяйственно-бытовые сточные воды, которые не проходят стадию биологической очистки, а лишь подвергаются обеззараживанию. Вентиляция установки осуществляется при помощи вентиляционной трубы, выводимой на открытую палубу.

Для очистки и обеззараживания как сточных, так и хозяйственно-бытовых вод применяется установка типа „Био-Компакт“, осуществляющая совместную биохимическую очистку всех сточных вод, образующихся на судне, при норме 175 л на человека в день (рис. 6.46). Интенсификация процесса очистки здесь происходит за счет более интенсивной аэрации обрабатываемых сточных вод.

Работа установки осуществляется следующим образом. Сточные и хозяйственно-бытовые воды через приемную трубу поступают в приемный резервуар, где сразу аэрируются воздухом от воздуходувки. За счет этого обеспечивается торможение процессов брожения органических загрязнений, содержащихся в стоках. Затем сточные воды переливаются во вторую аэрационную емкость, где продолжается биологический процесс очистки. Очищенные стоки вместе с активным илом поступают в отстойную емкость, где происходит разделение очищенной воды и активного ила, который эрлифтом возвращается в приемный резервуар. Плавающие на поверхности воды загрязнения этим же эрлифтом также возвращаются в приемную емкость. Очищенная и отстойная от активного ила вода поступает в сборную емкость, куда подается обеззараживающее вещество. В одной из модификаций установки предусмотрено обеззараживание сточных вод ультрафиолетовой лампой. Очищенные и обеззараженные сточные воды насосом откачиваются за борт.

Во всех установках, использующих биохимические методы очистки, процесс обработки сточных вод осуществляется не менее 15–24 ч.

Основные принципы эксплуатации установок биохимической очистки сточной и хозяйственно-бытовой воды. Судовые установки биохимической очистки сточной и хозяйственно-бытовой воды, как правило, полностью автоматизированы и не требуют больших затрат труда при их обслуживании. Перед запуском в работу установка должна быть обязательно заполнена пресной или заборной водой. После включения воздуходувки, подающих воздух на аэрацию и включения циркуляционных насосов, установка вводится в действие.

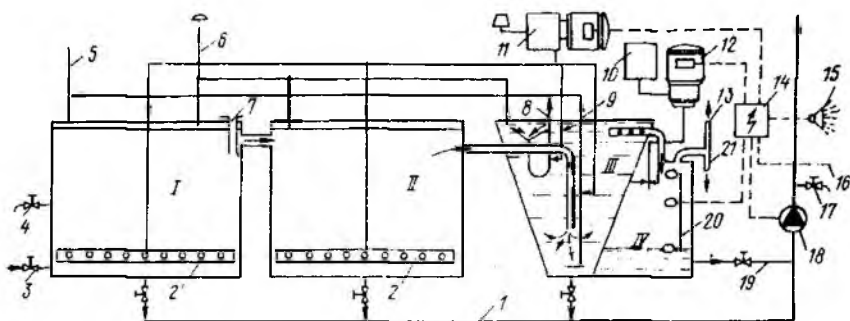


Рис. 6.46. Схема установки типа „Био-Компакт”.

I — приемный отсек с первичной аэрацией; *II* — отсек вторичной аэрации; *III* — отстойник; *IV* — сборник очищенной воды.

1 — осушительный трубопровод; 2 — аэраторы; 3 — клапан подачи сжатого воздуха для перемешивания осадка; 4 — кран для отбора проб активного ила; 5 — поступающие сточные воды; 6, 13 — вентиляционные трубопроводы; 7 — решетка для задержания крупнофракционных загрязнений; 8 — устройство для сбора плавучих загрязнений; 9 — эрлифт для откачки активного ила из отстойника; 10 — емкость для обеззараживания вещества; 11 — воздуходувка; 12 — дозатор обеззараживающего вещества; 14 — щит управления и сигнализации; 15 — аварийная сигнализация; 16 — подвод питания; 17 — кран для отбора проб очищенной воды; 18 — откачивающий насос; 19 — отвод очищенной воды; 20 — датчики уровня; 21 — аварийный слив.

Как правило, в течение первых 7–14 сут в установке развивается активный ил и очистка не производится. Однако возможно ускорение ввода установки в действие за счет внесения в аэрационную емкость активного ила, взятого с береговых очистных сооружений.

После образования активного ила, которое заканчивается через 10–14 сут, качество очищенных сточных вод достигает нормы. При эксплуатации установок необходимо регулярно следить за состоянием активного ила путем отбора из аэрационного отсека смеси сточных вод с активным илом. В отобранной пробе активный ил должен быстро оседать, иметь коричневатый цвет, а от сточных вод не должен исходить гнилостный запах. Кроме того, следует контролировать наличие обеззараживающих веществ в расходной емкости, из которой они подаются в определенном количестве в емкость для очищенной воды. При повышении концентрации активного ила (обычно до 500–700 мл/л) необходимо периодически удалять часть активного ила из установки.

При использовании санитарно-технических устройств судна в комплекте с установкой биохимической очистки запрещается бросать в них биологические неразлагаемые вещества: плотную бумагу, спички, окурки, металлические предметы и т. п. Кроме того, при работе установки запрещается мыть помещения туалетов, душевых и санитарно-технические устройства стиральными порошками, отбеливающими и дезинфицирующими веществами, так как при попадании их в установку биохимической очистки происходит угнетение и гибель активного ила.

Установки биохимической очистки должны быть включены в работу постоянно независимо от местонахождения судна, и поток сточных вод должен непрерывно подаваться на установку. При уменьшении или прекращении подачи сточных вод на установку начинается голодание активного ила и через 20–30 ч он погибает.

При эксплуатации установок биологической очистки нельзя прекращать более чем на 12–20 ч аэрацию очищаемых сточных вод. В случае прекращения аэрации начинается кислородное голодание активного ила и последующее его загнивание. Нарушение режимов работы биохимической очистки вызывает прекращение очистки сточных вод. При гибели активного ила запуск установки возможен только после

его откачки и образования нового активного ила, которое происходит таким же образом и в те же сроки, что и при запуске установки.

В процессе эксплуатации установок на судах неоднократно отмечалось, что при относительно несложной работе механической части установок биохимической очистки часто происходят необратимые изменения состава активного ила, что вызывает прекращение очистки стоков. Однако при строгом соблюдении правил эксплуатации установок биологической очистки стоки очищаются до норм, регламентированных международными и национальными правилами.

Глава 7 ВЫБОР ОЧИСТИТЕЛЕЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ОЧИСТКИ ЖИДКОСТЕЙ

§ 7.1. Нефтепродукты

Сепарирование получило широкое распространение на судах в качестве основного метода очистки нефтепродуктов, что объясняется небольшим гидродинамическим сопротивлением и высокой очистительной способностью центробежных сепараторов.

Центробежные сепараторы надежно обеспечивают удаление примесей неорганического происхождения с размерами частиц 5 мкм и менее и органического происхождения с размерами частиц 7 мкм и менее, а также воды (до следов).

Из инерционных аппаратов для очистки нефтепродуктов применяют гидроциклоны. Тонкость очистки в них может быть достигнута до 5 мкм путем использования многоступенчатых батарей при последовательном расположении гидроциклонов. В настоящее время гидроциклоны служат для очистки маловязких нефтяных топлив и смазочных циркуляционных масел на судах малого водоизмещения и для очистки рабочей жидкости в индивидуальных системах гидроприводов.

В начале 70-х годов в СССР и за рубежом начали использоваться в системах топливоподготовки фильтрующие установки вместо центробежных сепараторов. Очистка топлив в фильтрующих установках от механических примесей находится на уровне обычных фильтров. Однако качественная очистка от воды не обеспечивается.

Могут применяться также и другие средства очистки нефтепродуктов: магнитные фильтры, химические препараты и установки с сужающимися устройствами типа трубок Вентури, фильтры адсорбционного действия и т. д.

Магнитные фильтры используются для очистки нефтепродуктов, в загрязняющих примесях которых имеются ферромагнитные включения, образовавшиеся в результате износа деталей. Магнитные фильтры могут эффективно очищать большие объемы нефтепродуктов от ферромагнитных частиц механических примесей в широком диапазоне размеров (от 0,5 мкм и более) и отличаются небольшим гидравлическим сопротивлением. Такие фильтры используют обычно в комбинации с другими средствами очистки.

Преимущества магнитных фильтров — их небольшие габариты, сравнительно невысокая стоимость, непрерывность действия и простота обслуживания; недостатки — невозможность использования их для очистки жидкостей от частиц органического происхождения.

Выбор средств очистки нефтепродуктов для судовых систем производится с учетом водоизмещения судна, назначения системы и вида используемого нефтепродукта. Основными критериями для выбора средств очистки являются предъявляемые требования к качеству очистки нефтепродукта и очистительная способность средств очистки.

Обобщенные данные по тонкости очистки нефтепродуктов различными средствами приведены в табл. 7.1. Из таблицы следует, что очистку топлив, масел и рабочих жидкостей в судовых системах обеспечивают центробежные сепараторы, центрифуги и гидроциклоны. Эти средства очистки принимаются в качестве основных, их обычно используют вместе со средствами предварительной очистки (отстаиванием или

Характеристики различных средств очистки нефтепродуктов

Средство очистки	Тонкость очистки от частиц механических примесей, мкм	Эффективность удаления воды, %
Отстойник	≥ 20	До 0,4
Фильтр грубой очистки	≥ 40	Не очищает
Фильтр тонкой очистки	≥ 16	" "
Центробежный сепаратор (центрифуга)	≤ 2 (неорганических)	До следов
	≤ 4 (органических)	" "
Гидроциклон	≤ 5	" "
Магнитный фильтр	$\leq 0,5$ (ферромагнитных)	Не очищает

Таблица 7.2

Рекомендуемые средства очистки для судовых систем

Судно	Система	Средства очистки
Большого водоизмещения	Маловязких топлив	ФГО + ЦС + ФТО О + ЦС + ФТО
	Смазочных циркуляционных масел Средне- и высоковязких топлив	ФГО + ЦС + ФТО
Малого водоизмещения	Маловязких топлив	ФГО + ЦС + ФТО ФГО + СРГ + ФТО ФГО + ГЦ + ФТО
	Смазочных циркуляционных масел	ФГО + ЦС + ФТО ФГО + СРГ + ФТО ФГО + ГЦ + ФТО
Гидрофицированное	Рабочих жидкостей	ФГО + ЦС + ФТО ФГО + СРГ + ФТО ФГО + ГЦ + ФТО
С индивидуальными гидродри- водами	Рабочих жидкостей	ФГО + СРГ + ФТО ФГО + ГЦ + ФТО
Любое	Синтетических жидкостей	ФГО + ЦС + ФТО ФГО + ВУ + ФТО

П р и м е ч а н и е. Условные обозначения средств очистки: О — отстойник, ФГО — фильтр грубой очистки, ЦС — центробежный сепаратор, СРГ — сепаратор с гидрореактивным приводом, ГЦ — гидроциклон, ФТО — фильтр тонкой очистки, ВУ — вакуумная маслоочистительная установка.

грубым фильтрованием) и средствами окончательной очистки (тонким фильтрованием).

В табл. 7.2 приводятся рекомендации по выбору средств очистки для судовых топливных, масляных и гидравлических систем.

Схемы очистки для топливных, масляных и гидравлических систем. На рис. 7.1–7.8 показаны рекомендуемые схемы очистки топливных, масляных и гидравлических систем. Эти схемы являются наиболее простыми, отличаясь друг от друга лишь комплектацией оборудования в зависимости от водоизмещения судна, рода обрабатываемого нефтепродукта и вида энергетической установки.

Схемы систем очистки легкого топлива показаны на рис. 7.1 и 7.2.

На рис. 7.3 показана схема системы очистки тяжелого топлива судовых турбинных установок. Она включает большое количество оборудования и обеспечивает, кроме очистки, также обработку топлива путем введения в него присадок и деэмульгаторов.

На рис. 7.4–7.6 даны схемы систем очистки циркуляционного масла. Отличительной особенностью этих систем является то, что они очищают масло как главных, так и вспомогательных двигателей. Системы очистки масла обеспечивают прием его из циркуляционных цистерн, подогрев, подачу масла через фильтр грубой очистки к центробежному сепаратору, очистку его и возврат в циркуляционную цистерну, далее в цистерну смазки двигателя через фильтр тонкой очистки.

Характерные схемы систем очистки рабочих жидкостей показаны на рис. 7.7–7.8. Основное различие в комплектации этих систем заключается в разном количестве установленных сепараторов.

В приведенных схемах (см. рис. 7.1–7.8) применяют последовательный и параллельный способы включения основных средств очистки.

При последовательном включении обрабатываемая жидкость проходит полностью через основной очиститель. Такой способ обычно используют для обработки топлива при заполнении судовых расходных емкостей из основного запаса и при повторной очистке в случае длительного его хранения на судне в расходных цистернах.

При параллельном способе включения через основной очиститель проходит только часть жидкости. Этот способ, как правило, применяют для очистки циркуляционных масел и рабочих жидкостей в процессе нормальной эксплуатации ЗУ и при подготовке системы к действию.

Во всех схемах фильтры грубой и тонкой очистки включаются последовательно. Топливные, масляные и гидравлические системы ЗУ комплектуются основными средствами очистки исходя из условия одноступенчатой обработки жидкости. Топливные, масляные и гидравлические судовые системы, кроме масляных систем дизелей с водяным охлаждением поршней и дизелей судов малого водоизмещения, а также системы ВРШ, имеют обычно не менее двух основных очистителей одного типа и равной производительности, один из которых является резервным.

Очистители легкого топлива систем дизелей, работающих на тяжелом топливе, резервируются средствами очистки тяжелого топлива. Очистители легкого топлива систем дизелей, установленных на судах малого водоизмещения, могут резервироваться основными масляными очистителями главных двигателей. В этом случае принимают меры для исключения смешения топлива и масла.

Топливные системы, в которых основной топливный очиститель резервируется масляным, комплектуют очистителями одного типа и одной марки. При этом производительность основных очистителей для этих систем, как правило, выбирают по наибольшей потребной производительности топливного или масляного очистителя.

Очистка смазочного циркуляционного масла или рабочей жидкости нескольких систем может производиться одним основным очистителем путем периодического включения его в каждую из систем. Время работы такого очистителя на одну систему определяется количеством масла или рабочей жидкости, содержащейся в данной системе, а также типом двигателя, устройства и механизма.

Выбор очистителей для прямоточных систем. Для прямоточных систем обычно применяют последовательный способ включения основных средств очистки, который характерен для многих систем топливоподготовки. Выбор основных очистителей для этих систем производится расчетным путем из заданных первоначальных условий

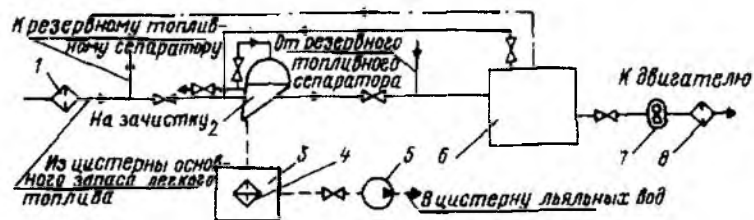


Рис. 7.1. Схема системы очистки легкого топлива дизельных установок судов малого водоизмещения.

1 — фильтр грубой очистки; 2 — центробежный сепаратор; 3 — цистерна отсепарированной воды и шлама; 4 — подогреватель; 5 — насос откачки воды и шлама; 6 — расходная цистерна; 7 — топливный насос; 8 — фильтр тонкой очистки.
 — — — — — трубопровод топлива; ····· — трубопровод переливной; ---- — трубопровод воды и шлама.

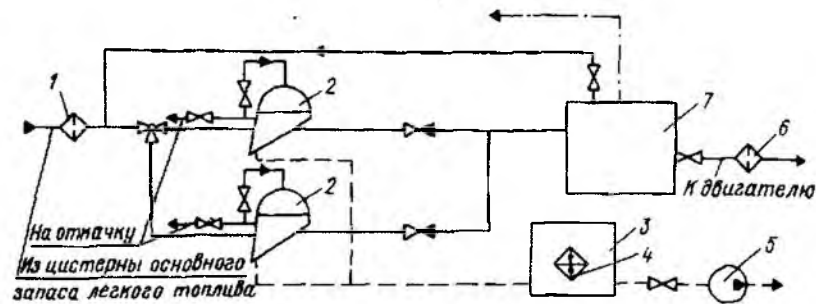


Рис. 7.2. Схема системы очистки легкого топлива дизельных и турбинных установок судов большого водоизмещения.

1 — фильтр грубой очистки; 2 — центробежные сепараторы; 3 — цистерна отсепарированной воды и шлама; 4 — подогреватель; 5 — насос откачки воды и шлама; 6 — фильтр тонкой очистки; 7 — расходная цистерна.
 — — — — — трубопровод топлива; ····· — трубопровод переливной; ---- — трубопровод воды и шлама.

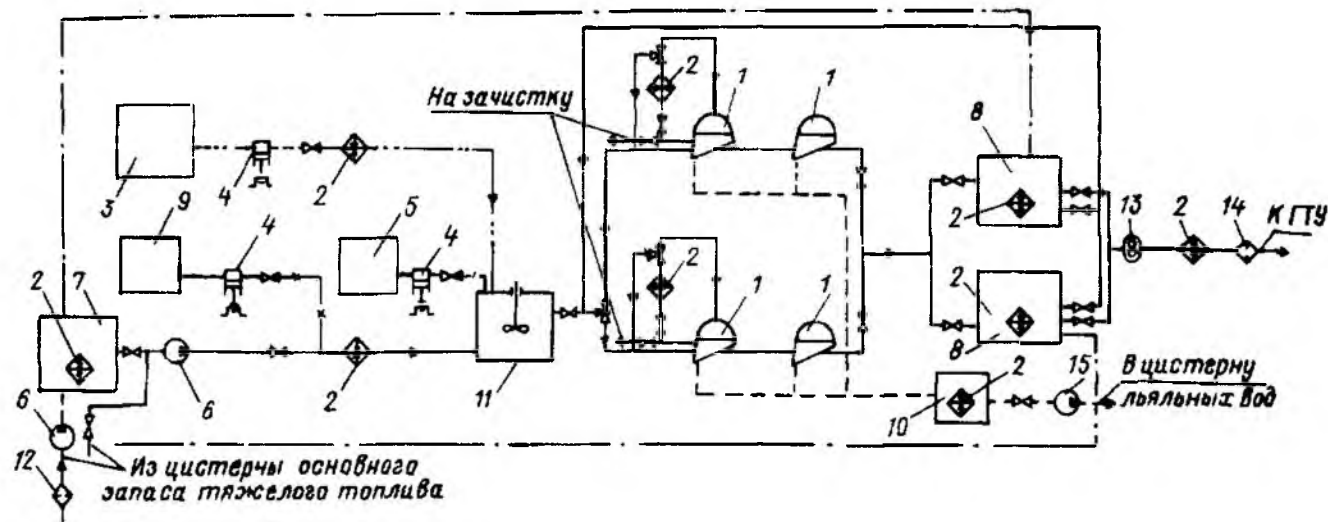


Рис. 7.3. Схема системы очистки тяжелого топлива для судовых турбинных установок.

1 — центробежные сепараторы; 2 — подогреватели; 3 — цистерна промывочной воды; 4 — дозерный насос; 5 — бак для присадок; 6 — насос подачи топлива; 7 — цистерна предварительного подогрева топлива; 8 — расходные цистерны; 9 — бак для деэмульгатора; 10 — цистерна отсепарированной воды и шлама; 11 — смеситель; 12 — фильтр грубой очистки; 13 — топливный насос высокого давления; 14 — фильтр тонкой очистки; 15 — насос откачки воды и шлама.

— — — — — трубопровод топлива; - · - · - · — — — — — трубопровод промывочной воды; - / - / - — — — — — трубопровод присадок; - х - х - х — — — — — трубопровод деэмульгатора; · · · · · — — — — — трубопровод переливной; · · · · · — — — — — трубопровод воды и шлама.

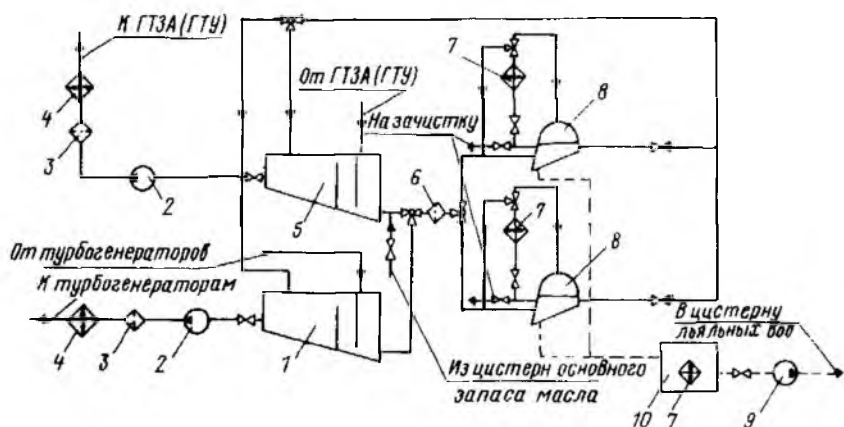


Рис. 7.4. Схема системы очистки циркуляционного масла судовых паро- или газотурбинных установок.

1 — циркуляционная цистерна турбогенераторов; 2 — циркуляционный масляный насос; 3 — фильтр тонкой очистки; 4 — охладители; 5 — циркуляционная цистерна турборедукторного агрегата; 6 — фильтр грубой очистки; 7 — подогреватели; 8 — центробежные сепараторы; 9 — насос откачки воды и шлама; 10 — цистерна отсепарированной воды и шлама.

— — — — — трубопровод масла; - - - - - трубопровод воды и шлама.

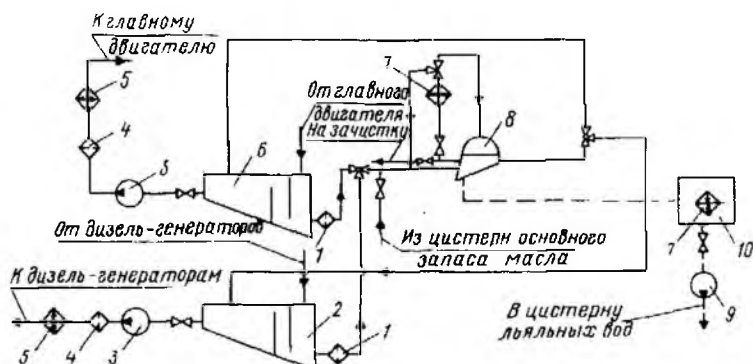


Рис. 7.5. Схема системы очистки циркуляционного масла малооборотных дизелей с поршнями, охлаждаемыми водой, судов большого водоизмещения и дизелей судов малого водоизмещения.

1 — фильтры грубой очистки; 2 — циркуляционная цистерна дизель-генераторов; 3 — циркуляционные масляные насосы; 4 — фильтры тонкой очистки; 5 — охладители; 6 — циркуляционная цистерна главного двигателя; 7 — подогреватели; 8 — центробежный сепаратор; 9 — насос откачки воды и шлама; 10 — цистерна отсепарированной воды и шлама.

— — — — — трубопровод масла; - - - - - трубопровод воды и шлама.

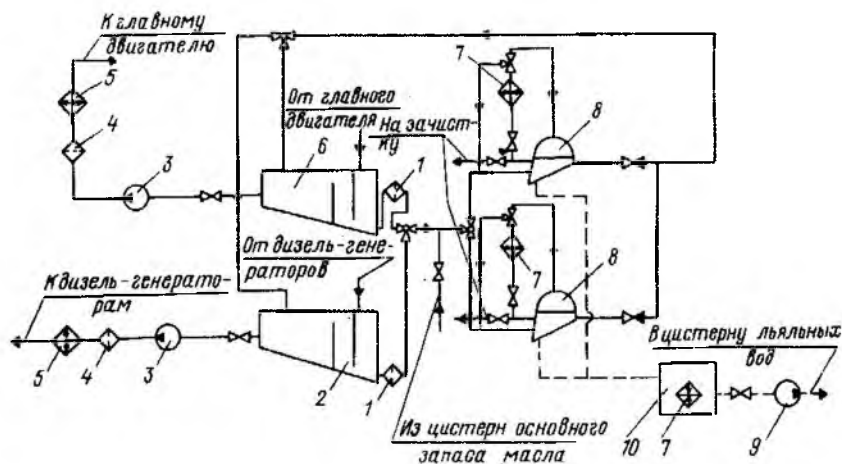


Рис. 7.6. Схема системы очистки циркуляционного масла мало- или среднеоборотных дизелей с поршнями, охлаждаемыми маслом, судов большого водоизмещения.

1 — фильтры грубой очистки; 2 — циркуляционная цистерна дизель-генераторов; 3 — циркуляционные масляные насосы; 4 — охладители; 5 — фильтры тонкой очистки; 6 — циркуляционная цистерна главного двигателя; 7 — подогреватели; 8 — центробежные сепараторы; 9 — насос откачки воды и шлама; 10 — цистерна отсепарированной воды и шлама.

— — трубопровод масла; - - - — трубопровод воды и шлама.

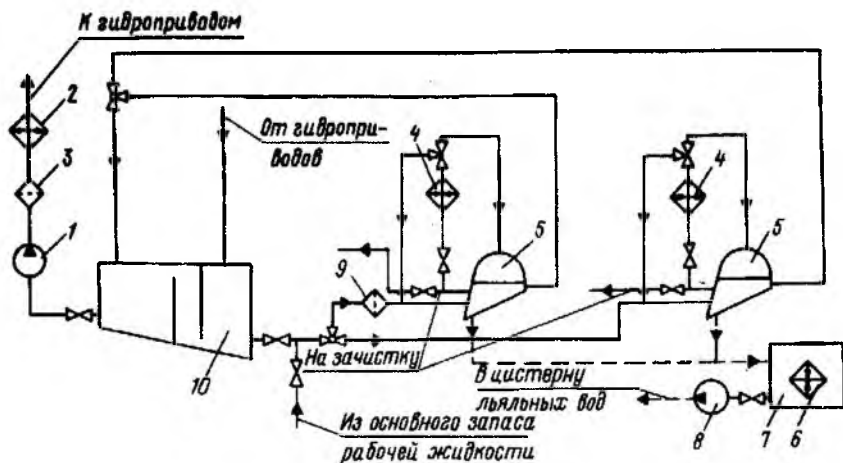


Рис. 7.7. Схема системы очистки рабочей жидкости комплексно гидрофицированного судна.

1 — гидронасос; 2 — охладитель; 3 — фильтр тонкой очистки; 4 — подогреватели рабочей жидкости; 5 — центробежные сепараторы; 6 — подогреватель; 7 — цистерна отсепарированной воды и шлама; 8 — насос откачки воды и шлама; 9 — фильтр грубой очистки; 10 — циркуляционная цистерна рабочей жидкости.

— — трубопровод рабочей жидкости; - - - — трубопровод воды и шлама.

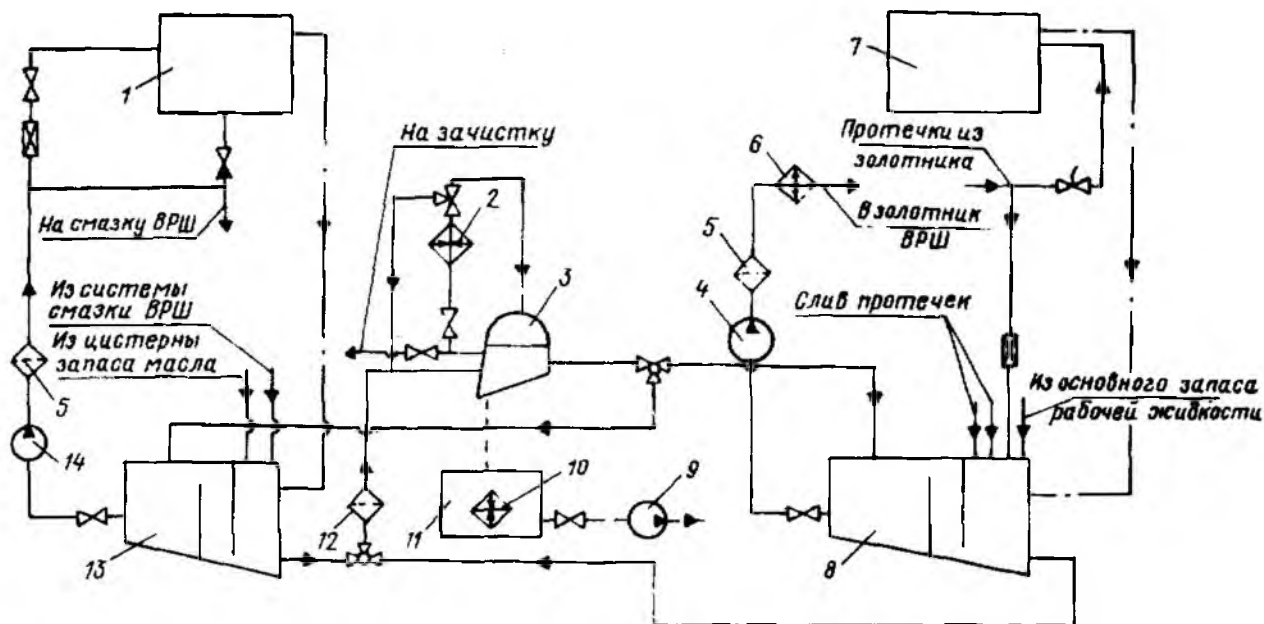


Рис. 7.8. Схема системы очистки рабочей жидкости ВРШ.

1 — напорная цистерна смазочного масла; 2 — подогреватель масла и рабочей жидкости; 3 — центробежный сепаратор; 4 — насос подачи рабочей жидкости; 5 — фильтры тонкой очистки; 6 — охладитель; 7 — напорная цистерна рабочей жидкости; 8 — сливная цистерна рабочей жидкости; 9 — насос откачки воды и шлама; 10 — подогреватель; 11 — цистерна отсепарированной воды и шлама; 12 — фильтр грубой очистки; 13 — сливная система смазочного масла; 14 — циркуляционный масляный насос.

— — трубопровод переливной; --- — трубопровод воды и шлама.

(тип и назначение судна, ходовой период за год эксплуатации, срок службы судна, скорость судна, тип и мощность энергетической установки, потребный суточный расход топлива ЭУ, марка топлива), т. е. обеспечения суточной потребности в очищенном топливе для всех двигателей ЭУ, включая вспомогательные, работающие на том же топливе.

Номинальная производительность основного топливного очистителя ($\text{м}^3/\text{ч}$) определяется по формуле

$$Q_H = 0,001 \frac{24g_e}{\tau k \rho \beta} N_e, \quad (7.1)$$

где g_e — удельный расход топлива, для дизелей $g_e = 0,230 \text{ кг}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$, для турбинных установок $g_e = 0,270 \text{ кг}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$; τ — время работы основного очистителя в течение суток, при наличии резервного очистителя; $\tau = 8 \div 20 \text{ ч}$, при отсутствии резервного очистителя — не более 8 ч; k , ρ — вязкостный коэффициент и плотность топлива; для дизельных топлив $k = 1$, $\rho = 840 \text{ кг}/\text{м}^3$; для моторного топлива ДГ и мазута Ф-5 $k = 0,56$, $\rho = 903 \text{ кг}/\text{м}^3$; для моторного топлива ДМ и топлива +10 $k = 0,354$, $\rho = 952 \text{ кг}/\text{м}^3$; для мазута флотского Ф-12 $k = 0,44$, $\rho = 918 \text{ кг}/\text{м}^3$; для мазута топочного М40 $k = 0,256$, $\rho = 959 \text{ кг}/\text{м}^3$; N_e — эффективная мощность ЭУ, кВт; β — технологический КПД сепаратора.

Выбор очистителей для замкнутых циркуляционных систем. Для замкнутых циркуляционных систем, как правило, применяют параллельный способ включения основных средств очистки, который характерен для масляных и гидравлических систем ЭУ. Оптимальная производительность очистителя (сепаратора) масла для системы ЭУ определяется также расчетным путем на основе опыта эксплуатации масляных систем и данных о динамике старения и загрязнения циркуляционных масел ЭУ.

Существование некоторого оптимального по производительности режима работы очистителя, обеспечивающего в рассматриваемых условиях минимальный уровень загрязнений в очищенном масле, объясняется обычно следующим. При малой производительности очистителя, несмотря на высокую эффективность очистки, концентрация загрязнений остается достаточно большой из-за относительно небольшого количества масла, очищаемого в единицу времени. Излишнее повышение производительности очистителя, увеличивая кратность очистки, одновременно ведет к снижению ее эффективности и в результате необходимое снижение концентрации загрязнений не достигается.

Таким образом, опыт эксплуатации сепараторов на судах свидетельствует, что оптимальная производительность сепаратора (называемая фактической) составляет в долях от номинальной производительности в среднем $Q_{\text{ф}} = (0,45 \div 0,55) Q_H$, причем меньшие ее значения относятся к очистке смазочных циркуляционных масел дизелей.

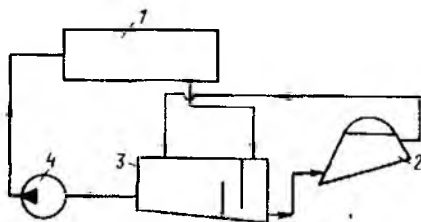
Процессы очистки циркуляционных масел и рабочих жидкостей следует рассматривать комплексно, учитывая элементы системы двигатель (устройство) — циркуляционная система — очиститель во взаимодействии. При этом важнейшее значение приобретают свойства масла (рабочей жидкости) как дисперсной системы, образующейся под воздействием процессов его старения и подвергающейся регенерации в очистителе.

Влияние на эффективность очистки таких показателей масла, как вязкость или плотность, может быть достаточно просто учтено, если известен температурный режим работы очистителя.

Однако наиболее важным в процессе очистки являются свойства продуктов загрязнения очищаемых масел и рабочих жидкостей. Исходя из этого выбор производительности основного очистителя (центробежного сепаратора) масла, включенного в систему байпасно (рис. 7.9), производится, если обеспечивается удаление из масла всех механических примесей с размерами частиц $\delta \geq 3 \text{ мкм}$, отрицательно влияющих на работу энергетической установки.

Рис. 7.9. Схема включения сепаратора в циркуляционную масляную систему судовой энергетической установки.

1 — главный двигатель; 2 — центробежный сепаратор; 3 — циркуляционная цистерна; 4 — главный масляный насос.



Номинальная производительность масляного сепаратора

$$Q_n = \frac{C_0 V + \xi N_e T - C V}{C \beta \tau k} \quad (7.2)$$

где C_0 — заданная начальная концентрация механических примесей в циркуляционном масле с частицами размером $\delta \geq 3$, подлежащих очистке сепаратором, г/м³; C — заданная концентрация механических примесей в циркуляционном масле при работе ЭУ с частицами размером $\delta \geq 3$ мкм, подлежащих очистке сепаратором, г/м³; V — объем циркуляционного масла в цистерне, м³; ξ — масса примесей с частицами размером $\delta \geq 3$ мкм, образованных в циркуляционном масле единицей мощности ЭУ в единицу времени, г/(ч · кВт); N_e — мощность энергетической установки, кВт; $\beta = 0,99$ — технологический КПД сепаратора, характеризующий качество очистки масла от частиц размером $\delta \geq 3$ мкм; k — величина, обратная динамической вязкости; для масел турбинных установок $k = 0,55$, для масел всех типов дизельных установок $k = 0,45$; τ — время работы сепаратора в сутки, ч; T — время работы энергетической установки в сутки, ч.

В выражении (7.2) заданное значение концентрации загрязнения с частицами размером $3 \leq \delta \leq 7$ мкм отражает средневзвешенное значение $C_{ср}$ между максимальной величиной загрязнения с частицами размером $3 \leq \delta \leq 7$ мкм и минимальной — с частицами размером $3 \leq \delta \leq 5$ мкм. Для случая (как это бывает на практике), когда начальное значение концентрации загрязнения C_0 равно его средневзвешенному значению $C_{ср}$, формула (7.2) примет вид

$$Q_n = \frac{\xi N_e T}{C_{ср} \beta \tau k}$$

Выбор очистителей для двухтопливных систем. На судах получила распространение технологическая схема очистки, в которой последовательно очищается как легкое, так и тяжелое топливо от воды и механических примесей сначала в отстойной цистерне, затем в центробежных сепараторах (рис. 7.10). Топливо из цистерны запаса 1 поступает в отстойную цистерну 2, где происходит частичное освобождение его от примесей, затем идет в центробежный сепаратор легкого топлива 3 и поступает в расходную цистерну легкого топлива 4. Тяжелое топливо из цистерны запаса 9 идет в отстойную цистерну 8, затем через подогреватель 7 направляется на очистку в центробежный сепаратор тяжелого топлива 6, после чего поступает в расходную цистерну 5.

На некоторых судах не предусмотрена установка в системах очистки отстойных цистерн. В этом случае легкое топливо из запасной цистерны 1 поступает сразу на сепаратор 3, а тяжелое топливо направляется из цистерны 9 через подогреватель 7 на сепаратор 6 и затем в расходную цистерну тяжелого топлива 5. Сепараторы настраиваются на режим пурификации.

Недостаток приведенных схем очистки тяжелого топлива в том, что при сепарировании происходит потеря горючей части топлива, идущей в шлам (смолистые образования, водотопливная эмульсия), кроме того, сепарирование тяжелого топлива

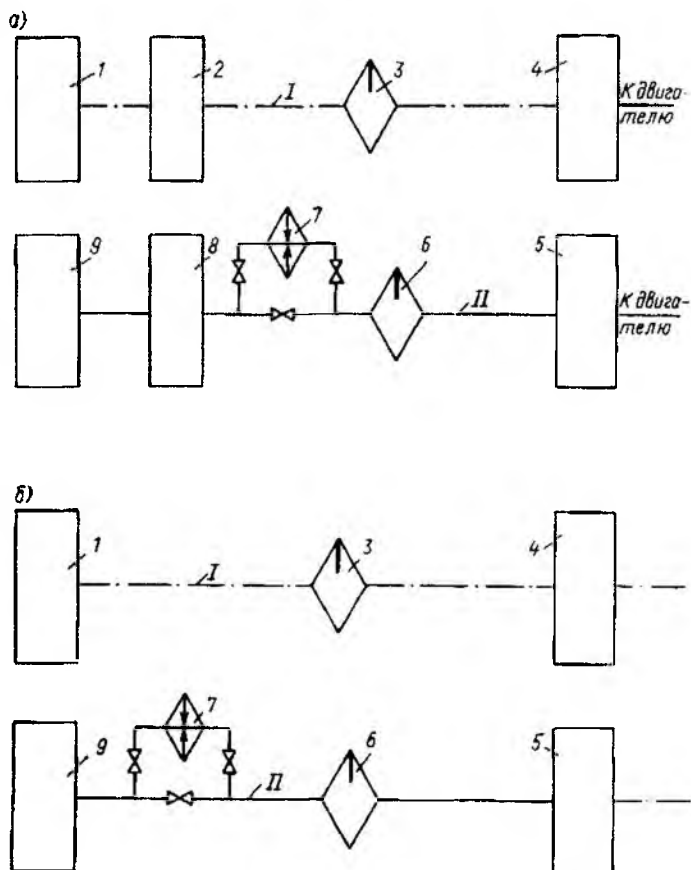


Рис. 7.10. Технологические двухтопливные схемы очистки: а — с отстойными цистернами; б — без отстойных цистерн.

I — трубопровод легкого топлива; II — трубопровод тяжелого топлива.

требует тщательной настройки сепараторов на режим (это связано, например, с выбором регулировочной шайбы).

В комплексной схеме очистки (рис. 7.11, а) тяжелое топливо очищается фильтрующей установкой 6 и направляется в расходную цистерну 5. Легкое топливо из цистерны запаса 1 проходит очистку в отстойной цистерне 2 и центробежном сепараторе 3, затем направляется в расходную цистерну 4. При обводнении тяжелого топлива до 2% оно очищается фильтрующей установкой. В случае повышенного обводнения тяжелое топливо после подогревателя 7 направляется на очистку в центробежный сепаратор легкого топлива 3, затем поступает на фильтрующую установку 6. Предварительно топливо проходит очистку от воды и механических примесей в отстойной цистерне 8. Такая технологическая схема обеспечивает снижение потерь тяжелого топлива при очистке на 1–1,5%.

Однако потери тяжелого топлива при фильтровании все же имеются (до 1%). Для устранения этих потерь топливо перед фильтром гомогенизируют (рис. 7.11, б), в результате оно становится более однородным (гомогенным). Гомогенизатор 10

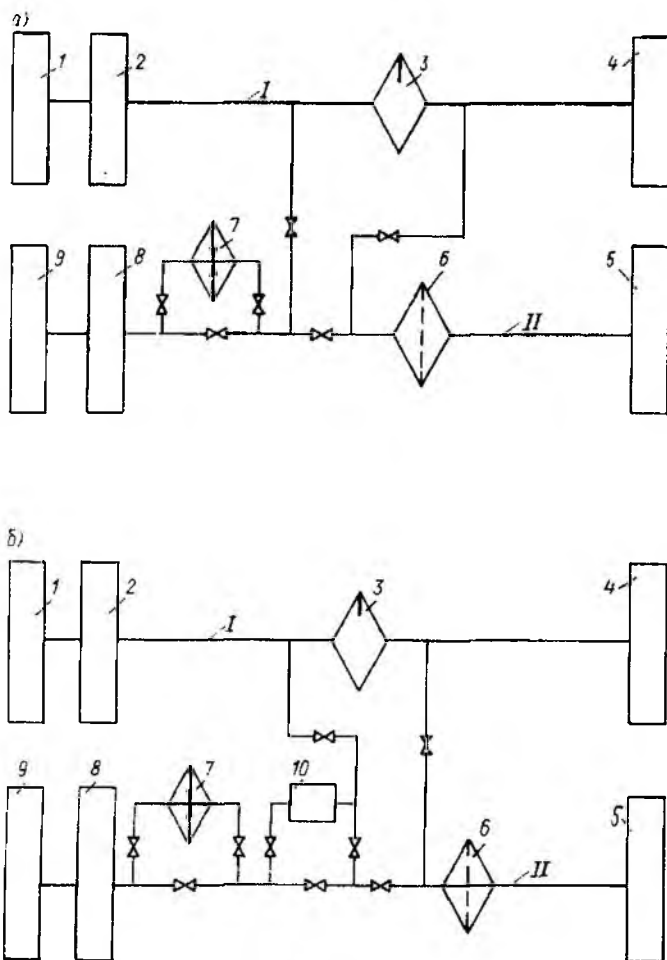


Рис. 7.11. Технологические двухтопливные схемы с комплексной очисткой: *а* – без гомогенизатора; *б* – с гомогенизатором.

I – трубопровод легкого топлива; *II* – трубопровод тяжелого топлива.

включается последовательно перед фильтром. При этом топливо из цистерны запаса 9 проходит очистку в отстойной цистерне 8, обрабатывается в гомогенизаторе 10, а затем направляется в фильтрационную установку 6. При такой технологической схеме очистки потери тяжелого топлива при фильтровании отсутствуют.

§ 7.2. Пресная бытовая вода

При выборе методов обеззараживания пресной бытовой воды рекомендуется руководствоваться данными табл. 7.3.

Выбор методов осветления, дезодорации и минерализации воды определяется источником водоснабжения судна (запас пресной воды, забортная пресная вода,

Преимущества и недостатки методов обеззараживания воды

Суда	Метод обеззараживания	Преимущества	Недостатки
Морские и речные с запасом пресной воды	Хлорирование	Высокая надежность и универсальность бактерицидного эффекта. Длительное (от нескольких дней до нескольких недель) действие при наличии остаточного хлора в воде. Простота конструкций. Простота эксплуатации. Компактность оборудования. Возможность автоматизации.	Токсичность хлорпрепаратов. Ухудшение органолептических свойств воды (появление хлорного и хлорорганических запахов) и необходимость дехлорирования. Необходимость закупки и хранения на борту судна запасов хлорной извести. Необходимость иметь на судне специальные цистерны для обеспечения 30-минутного контакта воды с хлором.
Морские с использованием опресненной морской воды (дистилята) и запаса пресной воды	Ультрафиолетовое облучение	Обеззараживание воды происходит практически мгновенно. Не вносятся в воду посторонние примеси и не изменяются органолептические свойства воды. Малый расход электроэнергии. Простота конструкций. Компактность оборудования. Возможность автоматизации.	Повышенные требования к чистоте воды, поступающей на обеззараживание (вода должна быть прозрачной). Отсутствие эффекта длительного действия. Обеззараженная вода не подлежит длительному хранению. Интенсивность излучения в течение срока горения лампы ультрафиолетового излучения падает, что снижает надежность обеззараживания в конце срока горения.

Суда	Метод обеззараживания
Речные с использованием забортной пресной воды, морские с запасом пресной воды	Озонирование
Морские, на которых предусматривается длительное хранение пресной воды во вкладных цистернах	Обработка ионами серебра

Преимущества	Недостатки
Достигается не только обеззараживание, но и улучшение органолептических свойств воды (обесцвечивание и дезодорация). Высокая скорость процесса обеззараживания (время контакта озона с водой не более 5 мин). Возможность автоматизации.	Отсутствие эффекта длительного действия. Эффект обеззараживания зависит от качества сушки воздуха, поступающего в озонатор, и от надежности смешения озono-воздушной смеси с водой. Значительное энергопотребление. Сложность конструкции. Значительные габариты и масса оборудования.
Метод обладает эффектом длительного действия при концентрации серебра 0,05 мг/л. Простота конструкций. Малая энергоемкость. Компактность оборудования. Возможность автоматизации	Чувствительность метода к солевому составу воды: при повышенном содержании хлоридов возможно выпадение серебра в осадок. После обеззараживания воды серебром концентрацией выше 0,05 мг/л необходимо досеребрение для устранения излишка серебра. Это требует дополнительного оборудования, что усложняет схему водоочистки. Время контакта воды с серебром не менее 2 ч, для этого в судовой системе требуются специальные контактные емкости. Дефицитность расходного материала (серебра)

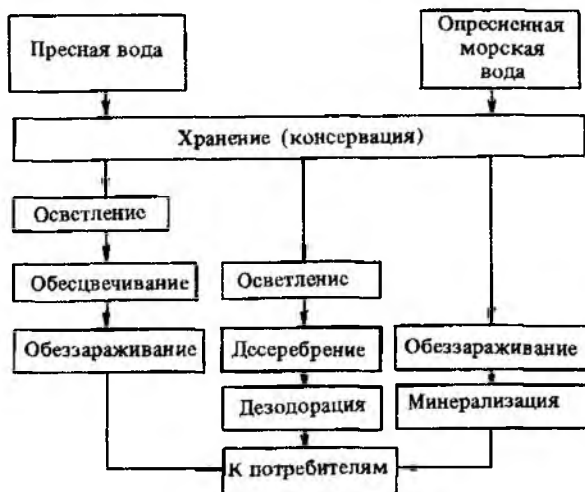


Рис. 7.12. Принципиальная схема приготовления пресной бытовой воды в зависимости от источника водоснабжения.

дистиллят от опреснительных установок) и принципиальной схемой приготовления пресной бытовой воды.

Различные схемы очистки бытовой пресной воды представлены на рис. 7.12–7.17.

Выбор оборудования для очистки пресной бытовой воды должен осуществляться с учетом соответствующих рекомендаций Министерства здравоохранения СССР. Вода из береговых источников, предназначенная для хозяйственно-питьевых целей, может приниматься на суда как непосредственно из портовых водопроводных сооружений,

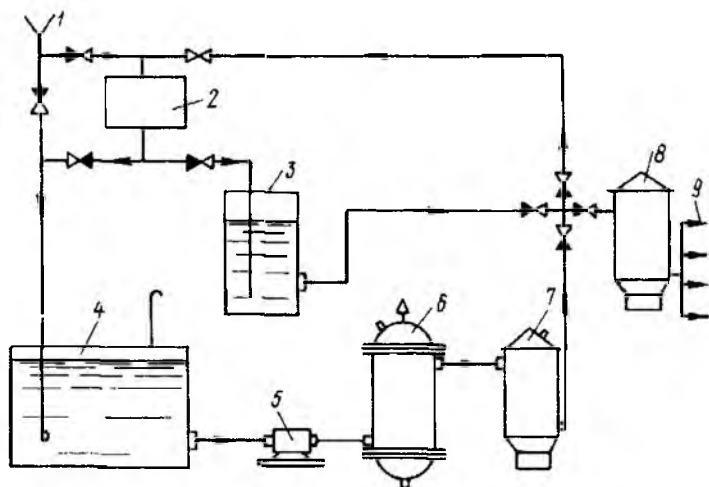


Рис. 7.13. Схема обработки воды методом хлорирования.

1 — приемный патрубок; 2 — хлоратор; 3 — контактная емкость; 4 — цистерна питьевой воды; 5 — насос; 6 — взвешивающий фильтр; 7 — гидрофор; 8 — фильтр-дехлоратор; 9 — отвод в сеть водопровода.

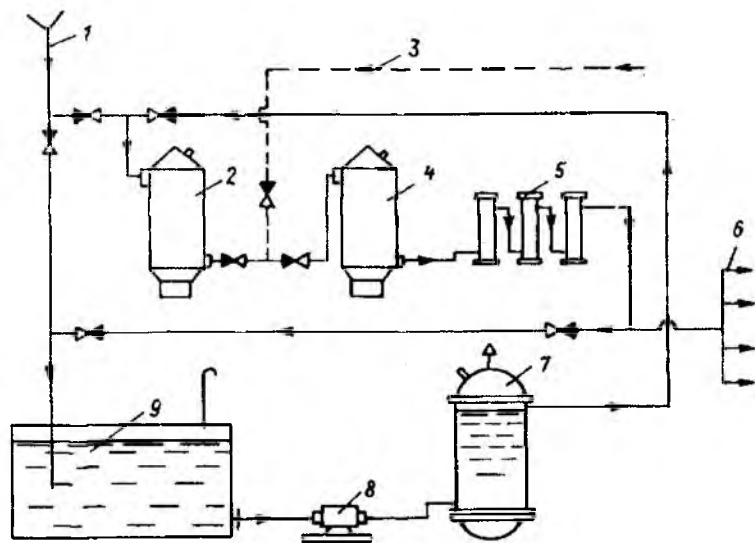


Рис. 7.14. Схема обработки воды методом ультрафиолетового облучения.

1 – приемный патрубок; 2 – взвесеулавливающий фильтр; 3 – подвод от минерализатора дистиллята воды; 4 – фильтр-дезодоратор; 5 – бактерицидные лампы; 6 – отвод в сеть водопровода; 7 – гидрофор; 8 – насос; 9 – цистерна питьевой воды.

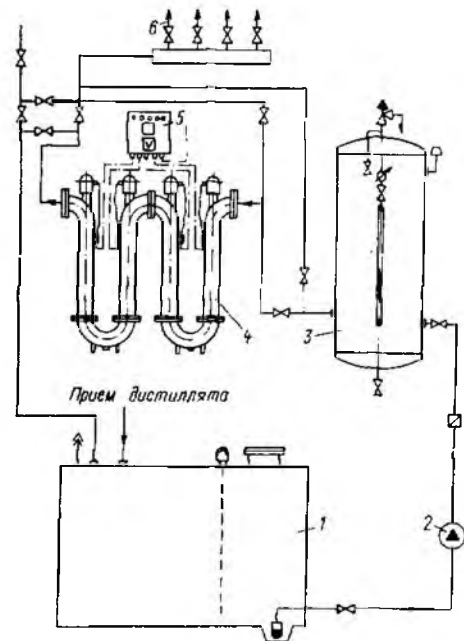


Рис. 7.15. Схема включения в судовую систему установки ультрафиолетового излучения фирмы „Акваталь” (ФРГ).

1 – судовая цистерна; 2 – насос; 3 – осветлительно минерализующий фильтр; 4 – установка ультрафиолетового излучения; 5 – щит управления; 6 – отвод питьевой воды к потребителям.

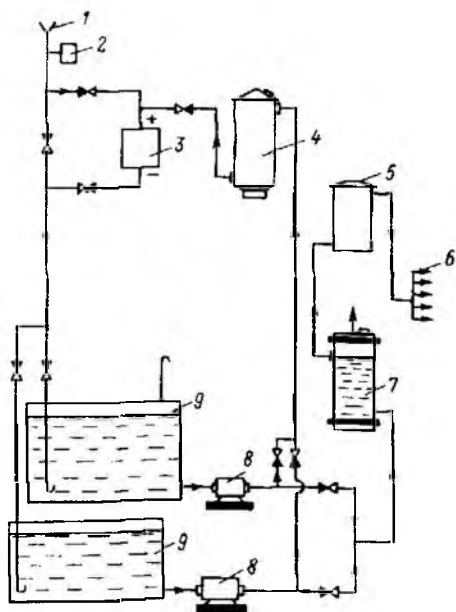


Рис. 7.16. Схема обработки воды ионами серебра.

1 — приемный патрубок; 2 — водомер (расходомер); 3 — индикатор; 4 — фильтр взвешивающий; 5 — фильтр десеребрения; 6 — отвод в сеть водопровода; 7 — гидрофор; 8 — насосы; 9 — цистерны питьевой воды.

ных загрязнений в процессе хранения воды на судне, рекомендуется проводить ее обработку серебром концентрацией 0,2–0,5 мг/л при контакте серебра с водой перед подачей к потребителям не менее 30 мин. В этих условиях обеспечивается первичный бактерицидный и последующий длительный эффект действия серебра.

Поскольку указанные концентрации серебра превышают существующий норматив, обработанную воду перед подачей к потребителям необходимо подвергнуть десеребрению до достижения концентрации серебра 0,05 мг/л или ниже (определение серебра производится по ГОСТ 18293–72).

Для введения серебра в воду могут применяться только аппараты, обеспечивающие достаточно точное его дозирование и разрешенные для этой цели организациями и учреждениями санитарно-эпидемиологической службы (ионаторы ЛК-28 и др.).

Воду, обработанную серебром, после десеребрения на специальных фильтрах можно подавать потребителям без дополнительного обеззараживания.

Фильтрация воды через материалы, импрегнированные или покрытые серебром, не обеспечивает эффективной консервации или обеззараживания воды. Поэтому такое применение серебра должно рассматриваться только как метод снижения или предотвращения размножения микроорганизмов в самом фильтре.

При вынужденном приеме на судно воды недостаточно гарантированного качества, а также если на транспортирующем судне срок хранения воды, не подвергнутой консервации, превышает 5 сут, воду независимо от ее исходного качества, необходимо подвергнуть очистке и обеззараживанию соответственно при приеме на борт и перед подачей потребителям (или передаче на другое судно). Кроме того, при отсутствии на судне средств для консервации воды желательно производить периодическое

так и с судов-водолеев либо с других судов, предназначенных для транспортировки воды и специально для этой цели оборудованных.

Для улучшения и сохранения качества воды, принятой на судно, или приготовленной на судне питьевой воды может применяться обеззараживание или консервация воды электролитическим серебром.

В судовых условиях консервацию воды осуществляют, обрабатывая ее ионами серебра, вводимыми в воду электролитическим способом. Применение других средств и способов консервации допустимо только с разрешения Министерства здравоохранения СССР.

Вода, подвергшаяся обеззараживанию или одновременно обеззараживанию и консервации серебром, по физико-химическим и бактериологическим показателям должна соответствовать ГОСТ 2874–82 (а при приеме в иностранных портах — международным или национальным стандартам).

Серебро в концентрации, регламентированной ГОСТ 2874–82 (не более 0,05 мг/л), обладает бактерицидным действием. Учитывая возможность приема воды недостаточно гарантированного качества или появления вторич-

(не реже, чем через каждые 10 сут) обеззараживание всего хранимого запаса воды, чтобы избежать накопления в ней бактериальных загрязнений.

Безреагентные методы обработки воды (ультрафиолетовое облучение, озонирование) более предпочтительны, чем методы, основанные на применении реагентов.

При невозможности использования на конкретном судне безреагентных методов водообработки должны применяться, как правило, системы аппаратного введения реактивов в воду, исключающие или сводящие к минимуму погрешности дозирования реактивов.

Судовая система водообработки должна включать узлы осветления и дезодорации (раздельные или совмещенные в одном блоке) и узел обеззараживания. Расширение этой системы за счет дополнительных устройств (консервации, обезвреживания, обезвреживания и т. п.) должно рассматриваться как прием повышения эффективности схемы водообработки и надежности качества воды.

Общими условиями, определяющими эффективность судовой схемы водообработки, являются:

- правильный выбор используемых методов водообработки применительно к конкретным условиям водоснабжения судна;

- соответствие качества воды, подаваемой к водочистному устройству (аппарату), допустимым параметрам, обеспечивающим эффективную работу данного устройства (аппарата);

- соответствие условий обработки воды (интенсивность и скорость прохождения потока воды, продолжительность контакта и т. п.) требованиям, определяющим особенности данного метода и устройства (аппарата);

- правильная последовательность размещения водоочистных устройств (аппаратов) на пути транспортировки воды от источника к емкости для хранения и затем к потребителям;

- строгое соблюдение технологических и гигиенических требований к эксплуатации водоочистных устройств (аппаратов);

- своевременное проведение профилактических осмотров и операций, предусмотренных технологическими инструкциями по эксплуатации устройств (аппаратов), ремонтных работ и замены узлов и деталей.

Использование вновь разрабатываемых или приобретаемых за рубежом установок и аппаратов может быть разрешено только после их апробации и согласования с Министерством здравоохранения СССР.

Эффективность работы судовых установок с ультрафиолетовыми лампами зависит в основном от следующего:

- интенсивности потока воды, подаваемой к установке;
- своевременной очистки ламп от оседающих загрязнений;
- своевременной замены ламп при выходе их из строя или по окончании паспортного срока службы.

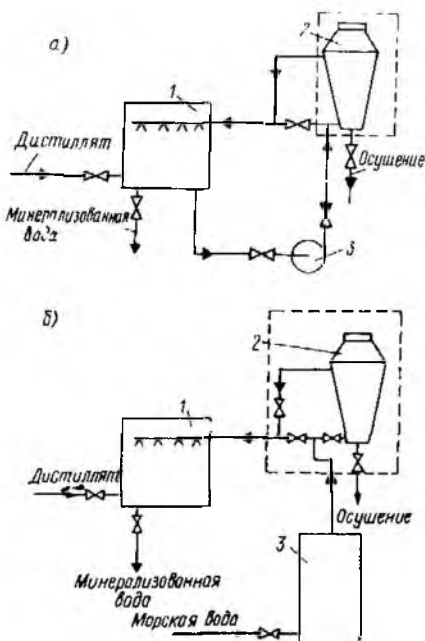


Рис. 7.17. Схема включения в судовую систему минерализатора дистиллята вымывного типа (МВ): а — при работе от автономного насоса; б — при работе от опреснительной установки.

1 — цистерна; 2 — минерализатор; 3 — циркуляционный электронасос.

Хлораторные установки на судах должны обеспечивать поступление в обрабатываемую воду активного хлора концентрацией 5-7 мг/л, что должно учитываться при расчете концентрации и дозы используемого хлорного препарата. Продолжительность контакта обрабатываемой воды с хлором должна составлять не менее 30 мин.

Обязательным условием при работе установок должно быть дехлорирование обрабатываемой воды перед ее подачей потребителям, что осуществляется путем ее пропускания через фильтры-дезодораторы. Эффективность дехлорирования воды в фильтре зависит, помимо качества сорбента, также от своевременности и регулярности его промывки и регенерации.

На судах, не оборудованных аппаратами для обеззараживания воды, эту операцию должен выполнять судовой медицинский работник упрощенным способом с использованием одного из следующих препаратов: хлорной извести, двутретиосновой соли гипохлорита кальция (ДГТГК), хлорамина. Обеззараживание хранящейся воды в этом случае производится не реже, чем через каждые 10 сут.

Морская вода для опреснения с целью последующего хозяйственно-питьевого использования должна приниматься на судно в незагрязненных районах, а при отсутствии сведений о загрязнении воды в районах работы судна — не ближе 25 морских миль от берега.

Вода, получаемая на дистилляционных опреснительных установках при температуре испарения более 80°, может непосредственно использоваться для мытья и хозяйственных целей. При всех прочих способах опреснения должно быть предусмотрено обеззараживание опресненной воды перед ее использованием.

Вода, получаемая на дистилляционных опреснительных установках, может использоваться для питья только после коррекции ее солевого состава (минерализации) и обеззараживания.

Применение для минерализации зарубежных устройств, основанных на фильтровании воды через различные минеральные препараты или введении в воду солевых таблеток либо растворов, не обеспечивающих получение доброкачественной питьевой воды. Использование этих устройств может быть допущено только после их переоборудования с целью обеспечения получения состава воды, одобренного Министерством здравоохранения СССР.

Для минерализации дистиллята могут применяться только соли, расфасованные и упакованные промышленным способом. Какие-либо произвольные изменения состава набора солей, а также расфасовка и упаковка их местными береговыми организациями или экипажами судов недопустимы.

Опресненная вода, подвергающаяся минерализации, должна иметь исходное общее солесодержание не выше 20 мг/л.

Комплекты солей рассчитаны на получение воды с общим солесодержанием 500 мг/л. Оптимальное солесодержание опресненной воды после ее минерализации 250-500 мг/л, в практике водоснабжения судов можно ориентироваться на нижнюю границу этого диапазона, т. е. повышать солесодержание опресненной воды только до уровня 250 мг/л. В зависимости от метода минерализации и типа дозаторной установки допустимы отклонения содержания солей в пределах не более 10-15%.

Для минерализации воды должны применяться установки и аппараты, позволяющие готовить минерализованную воду требуемого состава. Должны применяться минерализаторы, прошедшие гигиеническую апробацию и выпускаемые серийно или изготовленные заводским способом.

Допустимы также переделки систем минерализации на некоторых типах судов зарубежной постройки с использованием имеющегося оборудования, например, минерализаторов вымывного типа. Такая переделка может производиться только по согласованию с организациями и учреждениями санитарно-эпидемиологической службы и только в заводских условиях. Производить какие-либо изменения в системе минерализации силами экипажа в рейсе недопустимо.

Основной запас комплектов солей для минерализации необходимо хранить в сухом помещении при температуре не выше 25°С (температура плавления хлористого кальция). Не следует создавать на судне излишне больших запасов солей, так как при длительном хранении может ухудшаться их качество.

Минерализатор должен устанавливаться в изолированном помещении, где должны быть оборудованы стеллажи для хранения рабочего запаса комплектов

минерализующих солей, раковина с подводом холодной и горячей воды, рабочее место оператора (стол, стул, инструменты для вскрытия пакетов) и средства личной гигиены (дезинфицирующий раствор, мыло, щетки). Допускается установка минерализаторов вымывного типа в машинном отделении в местах, исключающих попадание на минерализатор горючесмазочных материалов, забортной воды. Рядом с минерализатором должен находиться стол с инструментом для вскрытия пакетов.

При использовании для питьевого водоснабжения питьевой минерализованной воды рекомендуется иметь ее запас, не превышающий пятисуточную потребность.

При хранении питьевой минерализованной воды свыше 5 сут ее необходимо подвергнуть дополнительному обеззараживанию.

Для хранения минерализованной воды должны использоваться только емкости, расположение и конструкция которых наилучшим образом удовлетворяют санитарным требованиям (как правило, вкладки).

Минерализованную опресненную воду следует обеззараживать сразу после приготовления, т. е. перед закачкой в цистерны запаса, и при подаче из этих цистерн в распределительную сеть (потребителям).

Наиболее предпочтительным методом обеззараживания минерализованной воды является обработка ее ультрафиолетовым облучением. Приемлем также и метод озонирования.

Хлорирование для обработки минерализованной воды не рекомендуется.

На судах, которые снабжают в море питьевой водой другие суда, следует применять консервирование минерализованной воды серебром.

§ 7.3. Нефтедержавные воды

Любое морское судно валовой вместимостью 400 рег. т и более должно быть оснащено сепарационным оборудованием для очистки сбрасываемых за борт нефтедержавных вод. На судах менее 400 рег. т может применяться сепарационное оборудование, но допускается также оснащение этих судов сборными цистермами или цистермами для сохранения на борту всех нефтедержавных вод с целью последующей сдачи их в приемные устройства. Таким образом, подавляющее большинство морских судов должно иметь на своем борту устройства для очистки нефтедержавных вод.

Основными критериями для выбора данного оборудования являются производительность и очистная способность. Производительность сепарационных установок следует выбирать исходя из накапливаемого на судне количества трюмных и балластных вод, которое зависит от различных факторов, но основным, как правило, является водоизмещение судна. Для очистки нефтедержавных вод машинного отделения на судне достаточно иметь сепарационную установку производительностью не более $2,5-4 \text{ м}^3/\text{ч}$; для большинства судов достаточно установок, производительность которых $0,6-1,6 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Очистка нефтедержавных вод на судах производится в сепарационных и фильтрующих установках. Сепарационные установки обеспечивают очистку нефтедержавных вод до остаточной концентрации нефтепродуктов не более 100 млн.^{-1} независимо от содержания нефти в исходной воде, подаваемой в установку. Фильтрующие установки должны обеспечивать очистку нефтедержавных вод до остаточной концентрации не более 15 млн.^{-1} .

Для выполнения требований международной Конвенции по предотвращению загрязнения с судов 1973 г. достаточно оснастить суда сепарационными установками, однако новые суда, как правило, оснащают фильтрующими установками. Этим достигается лучшая очистка сбрасываемых в море вод и соответственно меньшее загрязнение морской воды нефтью. Кроме того, наличие на судне фильтрующих установок имеет и другие преимущества. Расширяется зона возможного сброса вод, очищенных до остаточного нефтедержавания менее 15 млн.^{-1} , и появляется возможность комплектации фильтрующей установки более простым и дешевым прибором, контролирующим ее работу.

Суда валовой вместимостью 10 000 рег. т и более, а также суда валовой вместимостью более 400 рег. т, перевозящие топливо в больших количествах, должны в

дополнение к сепарационным установкам оснащаться системой автоматического замера, регистрации и управления сбросом нефти, которая имеет самопишущее устройство для непрерывной регистрации сброса нефти с указанием времени суток и даты сброса. Эта система включается при любом сбросе нефтесодержащей воды и автоматически прекращает его при превышении допустимого нефтесодержания и неисправности прибора. Если на судне установлена фильтрующая установка, то это позволяет заменить сложную систему автоматического замера, регистрации и управления значительно более простым сигнальным устройством для извещения о превышении содержания нефти в сбрасываемой воде более 15 млн. $^{-1}$.

Сепарационные и фильтрующие установки, а также приборы контроля остаточного нефтесодержания в очищенной воде, используемые на судах, должны иметь свидетельство Регистра СССР о типовом испытании и допуск Регистра СССР.

§ 7.4. Сточная и хозяйственно-бытовая вода

Особенности применения судовых установок для обработки сточных вод. Применение того или иного типа установок для обработки сточных вод обусловлено типом судна, районом его эксплуатации, типом используемой на нем сточно-фановой системы, численностью экипажа.

Для малых судов обычно используют автономные санитарно-технические устройства. При малой численности экипажа поступление загрязнений в течение суток происходит с большими перерывами и автономные устройства успевают произвести обработку поступивших загрязнений до требуемых норм качества очистки.

Для судов с численностью экипажа до 100 чел., совершающих трансокеанские рейсы, и для рыбопромысловых судов установки для обработки сточных вод в соответствии с требованиями международной Конвенции 1973 г. должны работать в пределах 12-мильной зоны при стоянке на рейде и в порту. В остальных районах установка может быть отключена от сточно-фановой системы судна и необработанные стоки сливаются за борт.

Для судов с численностью экипажа до 100 чел. наиболее целесообразно применять установки, использующие физико-химические методы обработки стоков, так как эти установки быстро запускаются в работу и обеспечивают сразу же после запуска необходимое качество очищенной воды, отвечающее требуемым нормам, т. е. включение установки производится при входе судна в 12-мильную зону. Это позволяет снизить общее время работы установки при эксплуатации судна и увеличить ресурс самой установки и ее комплектующих изделий. При таких условиях эксплуатации также значительно снижается энергопотребление установки, что ведет к экономии топлива.

Среднее время стоянки судна в порту и время прохода 12-мильной зоны составляет 20–40% от времени эксплуатации судна, т. е. время работы установки сокращается на 60–80%. Установки, использующие физико-химические методы обработки сточных вод, удобны на судах с меняющимся количеством экипажа и пассажиров, например паромов, пассажирских катеров и т. д. Это обусловлено тем, что установки такого типа обычно не чувствительны к резким изменениям потока сточных вод и нагрузки на установку загрязнениями.

Для судов, оборудованных санитарно-техническими устройствами с небольшим количеством промывочной воды (например, вакуумные системы), для очистки сточных вод также используются установки физико-химической очистки стоков, так как эти установки позволяют очищать сточные воды с высокой концентрацией загрязнений.

Для судов, эксплуатирующихся в районах, куда запрещен сброс неочищенных сточных и хозяйственно-бытовых вод, используют установки физико-химической очистки стоков, так как только установки такого типа позволяют обрабатывать все виды сточных вод.

Установки без сброса обработанных стоков – установки рециркуляционного типа, целесообразно использовать на судах, постоянно эксплуатирующихся в районах запрещенного сброса необработанных и обработанных сточных вод. К таким районам относятся места нерестилищ рыб, зоны водозаборов для питьевой воды и т. п.

Оборудование для предотвращения загрязнения акваторий сточными водами, рекомендуемое для судов различных типов

Тип судна	Тип сточной системы	Район эксплуатации	Численность, экипажа чел.	Оборудование для предотвращения загрязнения
Буксиры, прогулочные катера, яхты	Проточная на забортной воде	12-мильная зона	До 15	Автономные санитарно-технические устройства
Суда рыбоохраны, научно-исследовательские	Вакуумная	Рыбоохранные зоны массового водозабора для нужд пищевой промышленности и питьевой воды	До 50	Рециркуляционные установки
Портовые буксиры, суда снабжения рейдовые катера	Проточная на забортной воде, вакуумная	Акватория портов, оборудованных устройствами для приема необработанных стоков	До 50	Цистерны для сбора сточных вод
Грузовые и наливные морские и речные, суда типа река—море, морские паромы	Проточная на забортной или на пресной воде, вакуумная	Неограниченный район плавания	До 100	Установки обработки сточных вод физико-химическими методами
Пассажирские, рыбообрабатывающие базы, плавучие сооружения (буровые платформы, землечерпалки и т. д.)	Проточная на забортной или опресненной воде	Районы, разрешенные для сброса необработанных хозяйственно-бытовых вод	Свыше 100	Установки обработки сточных вод биохимическими методами

Выбор рециркуляционной установки, где в качестве рабочей жидкости используется вода или вещества со свойствами, отличными от воды, зависит от экономической целесообразности. Для установок, использующих в качестве рабочей жидкости воду, необходимо периодически пополнять запасы реактивов, а для установок, использующих в качестве рабочей жидкости вещества, отличные от воды, периодически требуется полная замена рабочей жидкости, стоимость которой обычно выше стоимости реактивов.

На судах с рециркуляционными установками обработка хозяйственно-бытовых сточных вод не производится. Это связано с тем, что в процессе эксплуатации общее количество воды, циркулирующей в системе, возрастает за счет добавления к ней питьевой и мытьевой воды, используемой экипажем, что в конечном итоге будет требовать сброса части стоков. Избежать этого можно, создав замкнутую систему судового водоснабжения судна, используя в ней методы очистки воды, позволяющие очищать ее до норм питьевой. Получение воды таким образом вызывает значительное усложнение технологической схемы очистки и аппаратов для ее доочистки от загрязнений до питьевых норм и деминерализации. Использование таких установок требует значительных затрат энергии и поэтому неэкономично.

Цистерны для сбора сточных вод целесообразно применять на судах, эксплуатирующихся в прибрежной зоне вблизи береговых очистных сооружений, оборудованных устройствами для приема стоков с судов с последующей передачей их береговым станциям для очистки. К таким судам относятся рейдовые пассажирские катера, портовые буксиры и т. д.

Технические данные судовых установок

Установка, страна	Модель	Количество очищаемых сточных вод, м³/сут	Габариты, мм		
			длина	ширина	высота
„Трайдект” (Великобритания)	T10	0,7	2153	1080	1549
	T20	1,4	2407	1537	1549
	T30	2,1	2838	1537	1651
	T40	2,8	2838	1537	2007
	T50	3,5	2686	1841	2159
	T60	4,2	3067	1841	2159
	T75	5,25	3524	1841	2159
	T100	7	4134	2145	2159
„Супер Трайдект” (Великобритания)	T2S/L	0,8 (1,6)	1250	1150	2000
	T4S/L	2,1 (3,01)	1400	1600	2225
	T6S/L	3,5 (4,55)	1600	1700	2700
	T8S/L	5,3 (6)	1800	1700	3000
„Ретрофит Трайдект” (Великобритания)	RT10	7,4	2000	1700	3400
	RT20	1,4	2124	1685	1335
	RT40	2,8	2324	1835	1495
	RT60	4,2	2774	2035	1685
	RT80	5,6	3074	2135	1785
„Термобиамак” (Великобритания)	0-50	3,5	2591	1676	1829
	51-100	7	2896	1676	2134
	101-150	10,5	3505	1981	2134
	151-200	14	4115	1981	2134
	201-300	21	4724	2591	2134
	301-400	28	5944	2591	2134
	401-600	42	7163	3200	2134
	601-800	56	8077	3810	2134
	801-1000	70	9754	3810	2134
„Супер Трайдект” (Япония)	ST-2	1,4	2184	1581	1350

Биохимической очистки сточных вод

Объем, м³	Масса, кг	Установлен- ная мощ- ность, кВт	Удельные показатели		
			объем установ- ки на 1 м³ обра- батываемых стоков, м³/м³	потребляе- мая мощ- ность, кВт/м³	металлоем- кость, кг/м³
3,6	3 130	•	5,1	•	•
5,7	4 100	•	4,1	•	•
7,2	5 350	•	3,4	•	•
8,86	6 600	•	3,1	•	•
10,7	7 700	•	3,1	•	•
12,2	8 900	•	2,9	•	•
14	10 700	•	2,7	•	•
19,2	15 600	•	2,7	•	•
2,9	3350	•	3,6 (1,8)	•	890
5	1425	•	2,3 (1,6)	•	648
7,3	5440	•	2,1 (1,6)	•	470
9,18	1950	•	1,73 (1,53)	•	498
11,6	7275	•	1,57	•	•
4,8	2140	•	3,4	•	1043
6,4	11 575	•	2,3	•	700
9,5	2985	•	2,3	•	595
11,7	18 000	•	2,1	•	500
7,9	3300	4,1	2,3	1,17	•
10,4	1460	4,8	1,5	0,69	•
14,8	5300	5,6	1,4	0,53	•
17,4	1960	5,6	1,2	0,4	•
26	7650	8,1	1,2	0,39	•
32,9	2500	10,1	1,2	0,36	•
48,9	9400	15,1	1,2	0,36	•
65,7	2800	17	1,2	0,3	•
79,3	•	21	1,1	0,3	•
4,7	3600	2,7	3,35	1,93	1143
	1600				

Установка, страна	Модель	Количество очищаемых сточных вод, м ³ /сут	Габариты, мм		
			длина	ширина	высота
„Супер Трайдегт” Япония”	ST-4	2,8	2406	1611	1800
	ST-6	4,2	2884	1760	1900
	ST-8	5,6	3184	1960	2000
	ST-10	7	3584	2160	2000
	ST-15	10,5	3884	2660	2300
	ST-20	14	4804	2660	2300
„Дефекамаг” (Япония)	NST-30	2,1	3000	1500	2100
	NST-40	2,8	3500	1500	2100
	NST-50	3,5	3600	1700	2100
	NST-60	4,2	4050	1700	2100
	NST-70	4,9	4300	1700	2200
	NST-80	5,6	4300	1900	2200
	NST-90	6,3	4650	1900	2200
	NST-100	7	4700	2100	2200
	NST-125	8,5	5200	2100	2300
	NST-150	10,2	5400	2300	2400

Объем, м ³	Масса, кг	Установлен- ная мощ- ность, кВт	Удельные показатели		
			объем установ- ки на 1 м ³ обра- батываемых стоков, м ³ /м ³	потребляе- мая мощ- ность, кВт/м ³	металлоем- кость, кг/м ³
7	6000	2,85	2,5	0,89	732
	2050				
9,6	7850	3,8	2,3	0,9	571
	2400				
12,5	9700	3,8	2,2	0,68	491
	2750				
15,5	12 000	4,5	2,2	0,64	436
	3050				
23,8	17 800	6	2,3	0,57	419
	4400				
29,4	22 450	6	2,1	0,43	357
	5000				
9,5	6000	3,5	4,5	1,7	1238
	2600				
11	6900	3,5	3,9	1,4	982
	2750				
12,8	7900	3,5	3,7	1	829
	2900				
14,5	8900	4,2	3,4	1	738
	3100				
16,1	9700	5,7	3,3	1,16	653
	3200				
18	10 800	5,7	3,2	1,02	598
	3350				
19,2	11 600	5,7	3	0,91	548
	3450				
21,7	12 700	5,7	3,1	0,81	514
	3600				
25,1	14 900	5,7	3	0,67	447
	3800				
29,8	17 200	5,7	2,9	0,56	392
	4000				

Установка, страна	Модель	Количество очищаемых сточных вод, м ³ /сут	Габариты, мм		
			длина	ширина	высота
„Тайко Шип-Клип” (Япония)	AP-1	0,6	2440	950	1558
	AP-2	1,2	2640	950	1863
	AP-3	1,8	2740	1450	1863
	AP-4	2,4	2870	1530	1880
	AP-5	3	3020	1730	1905
	AP-6	4	3820	1850	1905
	AP-7	6	3840	2000	2165
	AP-8	7,5	4350	2000	2165
	AP-9	9	4600	2150	2265
	AP-10	10,5	5200	2350	2195
„Фридрихстад Соэдж Планта” (Норвегия)	CP10	0,7	2200	1300	1600
	CP20	1,4	2170	1820	1700
	CP30	2,1	2170	1820	2000
	CP40	2,8	2420	2020	2000
	CP50	3,5	2420	2020	2350
	CP65	4,55	3140	2520	2000
	CP80	5,6	3140	2520	2350

Объем, м ³	Масса, кг	Установ- ленная мощность, кВт	Удельные показатели		
			объем установ- ки на 1 м ³ обра- батываемых стоков, м ³ /м ³	потребля- емая мощ- ность, кВт/м ³	металлоем- кость, кг/м ³
3,6 4,7 7,4 8,3 9,9 13,5 16,5 18,8 22,4 26,8	2800	2,6	6	4,3	2500
	1500				
	3900	2,6	3,9	2,1	1583
	1900				
	5300	2,6	4,1	1,44	1222
	2200				
	6600	2,6	3,5	1,08	1250
	3000				
	7500	4,45	3,3	1,48	1200
	3600				
	10 000	4,45	3	0,99	911
	4100				
	12 100	4,45	2,8	0,74	833
	5000				
	14 800	5,2	2,5	0,6	747
	5600				
	19300	5,2	2,5	0,58	744
	6700				
	21 400	5,9	2,3	0,56	704
	7400				
4,6 6,7 7,9 9,8 11,5 15,8 18,6	2900	1,5	6,6	2,14	2714
	1900				
	4200	1,5	4,8	1,07	2071
	2900				
	5400	2,5	3,8	1,19	1142
	2400				
	6800	3	3,5	1,07	1000
	2800				
	8000	3,5	3,3	1	1000
	3500				
	10 000	3,5	3,5	0,77	967
	4400				
	12 700	5	3,3	0,89	839
	4700				

Установка, страна	Модель	Количество очищаемых сточных вод, м ³ /сут	Габариты, мм		
			длина	ширина	высота
„Фридрихстад Сэедж Планта” (Норвегия)	CP100	7	3900	2520	2350
	CP125	8,75	3900	2520	2600
	CP150	10,5	3900	3050	2600
	CP175	12,25	3900	3050	3000
„Фаст” (США)	50	0,57	1750	990	1830
	120	1,4	2110	1140	1960
	180	2	2260	1300	2130
	250	2,8	2870	1600	2130
	400	4,5	3020	1830	2180
	500	5,71	3020	1850	2900
	600	6,8	3480	2130	2340
	800	9,1	3810	2340	2620
	1000	11	4110	2660	2690
„Унекс-Био” (Финляндия)	20	1,6	2000	1800	1950
	40	3,2	2450	2100	2300
	60	4,8	2450	2400	2500
	80	6,4	3000	2400	2500
ЛК (ПНР)	ЛК-30	2	1800	1880	2020
	ЛК-40	2,6	2100	1880	2020

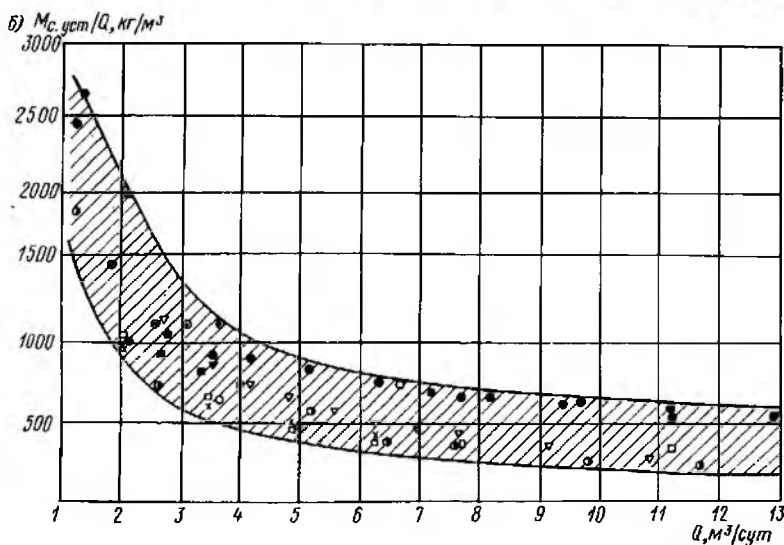
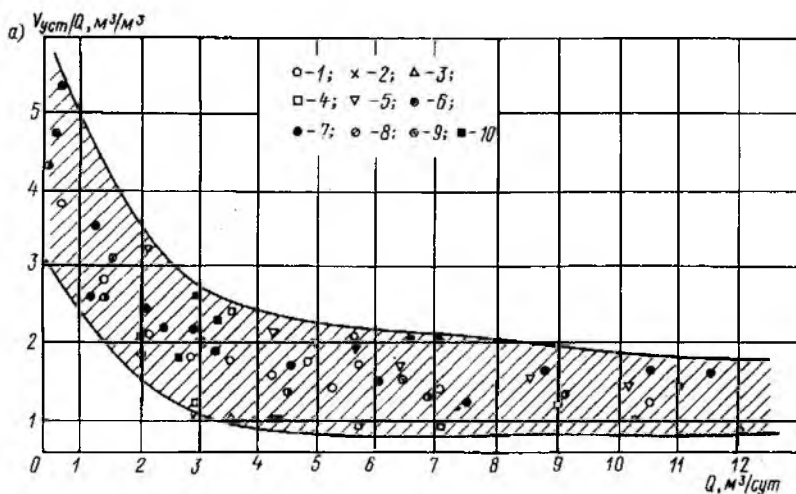
Объем, м ³	Масса, кг	Установленная мощность, кВт	Удельные показатели		
			объем установки на 1 м ³ обрабатываемых стоков, м ³ /м ³	потребляемая мощность, кВт/м ³	металлоемкость, кг/м ³
23,1	15 300 5300	5	3,3	0,71	757
29,6	18 700 6200	5	2,9	0,57	709
30,9	22 000 7000	5	2,9	0,48	667
35,7	25 700 8200	6	2,9	0,49	669
3,2	1900 1100	*	5,6	—	1930
4,7	3000 1500	*	3	—	1071
6,3	3900 1600	*	3,15	—	800
9,8	5800 2000	*	3,5	—	714
12,1	8200 2500	*	2,7	—	556
16,2	9100 2700	*	2,8	—	473
17,4	11 000 2900	*	2,6	—	426
23,4	14 000 3000	*	2,6	—	330
29,4	16 000 3300	*	2,7	—	300
7,02	5400	*	4,4	—	—
11,8	6900	*	3,7	—	—
14,7	10 300	*	3,1	—	—
18	14 000	*	2,8	—	—
6,8	5450 2050	*	3,4	—	—
8	6500 2350	5	3,1	1,92	—

Установка, страна	Модель	Количество очищаемых сточных вод, м ³ /сут	Габариты, мм		
			длина	ширина	высота
LK (ПНР)	LK-50	3,3	3000	1720	2330
	LK-100	6,5	3700	2630	2250
„Био-Компакт” (ФРГ)	KSA-S10	1,75	1720	1540	1455
	KSA-S15	2,625	1680	1515	1730
	KSA-S20	3,5	1990	1645	1760
	KSA-S25	4,375	2270	1845	1760
	KSA-S35	5	2270	2045	2080
	KSA-S50	8,75	2270	2685	2080
	KSA-S75	13,125	3280	2790	2110
	KSA-S100	17,5	3880	2700	2290
	KSA-S125	21,875	3980	2990	2290
	KSA-S150	26,25	4070	3390	2290

Примечания. 1. Суточная пропускная способность принималась по дан-
 расчитывалась (при указании численности обслуживаемого экипажа) по нормам
 тановки. 2. Количество хозяйственно-бытовых вод, не проходящих биологической
 установки не включалось. 3. Потребляемая энергия установок не учитывает мощ-
 мощность рассчитывалась по данным комплектующего оборудования. 5. Для мас

Объем, м ³	Масса, кг	Установлен- ная мощ- ность, кВт	Удельные показатели		
			объем установ- ки на 1 м ³ об- рабатываемых стоков, м ³ /м ³	потребляе- мая мощ- ность, кВт/м ³	металлоем- кость, кг/м ³
12	7720	5	3,6	1,51	•
	2720				
	14 300				
	5200				
21,9		•	3,4	•	•
4,64	2350	5,1	2,65	2,9	628
	1100				
4,4	2950	5,9	1,68	2,25	457
	1200				
5,76	3770	6,5	1,65	1,86	406
	1420				
7,37	4550	6,9	1,68	1,69	382
	1670				
9,66	6150	8,8	1,93	1,76	420
	2100				
12,68	8000	11,9	1,45	1,36	311
	2725				
19,3	12 540	18,5	1,47	1,41	263
	3450				
24	15 880	24,3	1,37	1,39	234
	4100				
27,25	18 975	28,4	1,24	1,30	211
	4625				
31,6	21 820	33,9	1,20	1,30	194
	5100				

ным, приведенным в технической документации на установку, при их отсутствии стоков, образующихся на человека в сутки, принятым для страны-изготовителя установки, а подвергающихся только обеззараживанию, в пропускную способность резервных насосов и воздуходувок. 4. Для ряда установок потребляемая сы установок числитель — масса в рабочем состоянии, знаменатель — масса порожнем.



На судах, имеющих постоянную численность экипажа свыше 100 чел., целесообразно использовать установки биохимической очистки сточных вод, так как при большой численности экипажа поток поступающих на установку сточных вод более равномерен как по режиму поступления стоков, так и по концентрации загрязнений в стоках, чем для судов со средней численностью экипажа. На больших судах обычно проще размещать установки биохимической очистки стоков, имеющие большие габариты. Установки биохимической очистки сточных вод, предназначенные для обработки больших потоков сточных вод ($> 5 \text{ м}^3$), имеют низкие удельные затраты энергии на обработку стоков.

Действующие суда с момента вступления в силу Конвенции 1973 г. в течение 10 лет должны быть оборудованы установками по обработке сточных вод. Для этой цели разработаны установки, имеющие блочную конструкцию, что делает возможным размещение таких установок в свободных местах на судне.

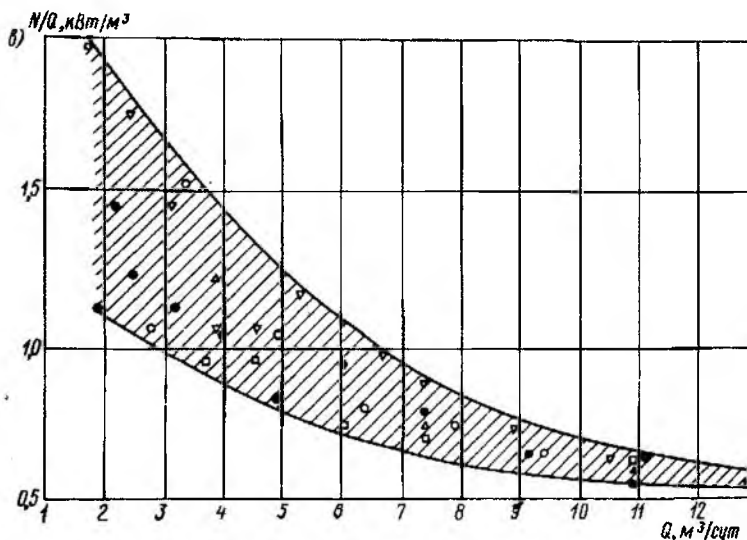


Рис. 7.18. Зависимость объемных (а), массовых (б) и энергетических (в) показателей различных типов установок биохимической очистки судовых сточных вод от их пропускной способности.

1 — „Трайидент“; 2 — „Ретрофит Трайидент“; 3 — „Термобиомакс“; 4 — „Супер Трайидент“; 5 — „Дефекамат“; 6 — „Тайко Шип-Клин“; 7 — SP; 8 — „Фаст“; 9 — „Унекс-Био“; 10 — LK.

Оборудование для предотвращения загрязнения сточными водами, рекомендуемое на судах различных типов, приведено в табл. 7.4.

Технические показатели установок для очистки и обеззараживания сточных вод. Технологические схемы обработки судовых сточных вод для различных типов установок построены по единому принципу и, в зависимости от используемого метода обработки сточных вод имеют незначительные расхождения.

Сточные воды из санитарно-технических устройств судна поступают на предварительную обработку, затем от очищаемой воды отделяются мелкодисперсные и скоагулированные загрязнения, которые обеззараживаются и сбрасываются за борт или возвращаются на рециркуляцию. Процесс обеззараживания сточных вод может быть совмещен с процессом отделения от сточных вод мелкодисперсных примесей.

При работе установок для обработки сточных вод образуется шлам, который сбрасывается за борт в районах, разрешенных для этих целей, либо уничтожается в инсинераторах.

В установках биохимической очистки количество образующегося шлама составляет 0,2–0,8% от объема сбрасываемых сточных вод, а в установках физико-химической очистки сточных вод количество шлама составляет 2–5%.

Предварительная обработка судовых сточных вод включает в себя извлечение крупнофракционных загрязнений, которое обычно проводится на решетках и ситах. Крупнофракционные загрязнения размельчаются обычно специальными насосами. Предварительная обработка сточных вод включает также коагуляцию коллоидных загрязнений, находящихся в стоках, и осуществляется активным илом (для биологических установок) либо при помощи химических реактивов, либо при помощи комплекса воздействий: гидрооксокомплексами металлов, образующихся при их электрохимическом растворении; электрическим полем, возникающим между электродами, образующимися при электролизе; гидроокисями металлов, содержащимися в морской воде (для физико-химических установок).

Мелкодисперсные и скоагулированные загрязнения удаляются отстаиванием под действием гравитационных сил, флотацией, фильтрованием, электрохимической

Технические характеристики установок очистки

Установка, фирма- изготовитель, страна	Тип установ- ки	Модель	Коли- чество очища- емых сточных вод, м³/сут	Габариты, мм			
				длина	ширина	высота	Объем, м³
„Нептума- тик” (Шве- ция)	Проточ- ная	90/90-30	12	2880	1250	1800	6,48
		90/90-50	20	3150	1250	1800	7,08
		90/90-70	28	3350	1700	1850	10,5
„Нептума- тик МОК” (Швеция)	Проточ- ная	МОС-4	4	2500	1250	1950	6,09
		МОС-12	12	2800	1250	1900	6,65
		МОС-20	20	3150	1250	2000	7,88
		МОС-28	28	3250	1700	2400	7,74
AWWU („Ат- лас”, Дания)	Проточ- ная	AWWU	15	1820	1345	2115	5,2
„Дженерал Электрик” (США)	Проточ- ная	—	15,1	2440	4270	1830	19,1
„Колт Инда- стриес” (США)	Проточ- ная	—	26,4	2130	1370	1680	4,9
„Омнишуре” (США)	Проточ- ная	4M312-10	1,52	1170	570	2070	1,38
		6M412-4	3,04	1980	690	2070	2,8
		8M616-14	5,4	1180	750	2090	2,65
		12M812- 27	14,4	2400	1200	3600	10,37

Таблица 7.6

судовых сточных вод физико-химическими методами

Масса, кг	Установ- ленная мощ- ность, кВт	Удельные показатели			Реагенты	
		объем установ- ки на 1 м ³ об- рабаты- ваемых стоков, м ³ /м ³	потреб- ляемая мощность, кВт/м ³	металло- емкость, кг/м ³	коагулянт	обеззаражива- ющее средство
2000	6	0,54	0,5	166	65%-ный раст- вор FeCl ₃ (200-400 мл на 1 м ³ сточных вод)	65%-ный раст- вор NaClO (150-250 мл на 1 м ³ сточ- ных вод)
6500	8	0,35	0,4	110		
2200						
2600	10	0,38	0,35	92		
4800	6,5	1,5	1,6	425	65%-ный раст- вор FeCl ₃ (200-400 мл на 1 м ³ сточных вод)	65%-ный раст- вор Ca(ClO) ₂ (0,6-1,2 л на 1 м ³ сточных вод)
1700						
5500	6,5	0,55	0,54	158		
1900						
6300	6,5	0,39	0,39	100		
2000						
8500	6,5	0,28	0,23	85		
2400						
1500	3	0,34	0,35	100		Ca(OH) ₂ (500 г на 1 м ³ сточ- ных вод)
12 600	8,6	1,26	0,57	364	Раствор Al ₂ (SO ₄) ₃ (375 мл на 1 м ³ сточных вод)	10%-ный раст- вор NaClO (625 мл на 1 м ³ сточных вод)
3583						
1996		0,19		76	Не требуется	Не требуется
600	2,77	0,91	1,8	263	Не требуется	Не требуется
400						
800	3,27	0,92	0,92	157	" "	" "
480						
1040	6,27	0,49	1,16	111	" "	" "
600						
1360	8,77	0,72	0,61	50	" "	" "
720						

Установка, фирма- изготовитель, страна	Тип установ- ки	Модель	Коли- чество очища- емых сточных вод, м³/сут	Габариты, мм			
				длина	ширина	высота	Объем, м³
„Ланди Элек- троникс и Си- стемс“ (США)	Проточ- ная	—	18,9	2600	1500	2140	8,35
ТММ (Вели- кобритания)	Проточ- ная	ТММ-3	11,4	2050	1310	1700	4,6
„Аквадам“ (Япония)	Рецирку- ляцион- ная	PD-300	1,5	1800	1000	2000	3,6
		PD-800	1,5	3100	1300	2400	9,67
„Аква-Санз“ (Япония)	Рецирку- ляцион- ная	A	2,3	3205	1200	1560	6
		AB1	5,7	3450	1200	1560	6,5
		AB2	5,7	3635	1180	1500	6,4
		B	19	5425	1200	1730	11,3
		C	38	6180	1250	2030	15,7
„Пуритек“ (США)	Рецирку- ляцион- ная	30	1,50	1680	1230	1530	3,2
		45	2,25	1830	1230	1680	3,78
„Грумман Аэроспэйс“ (США)	Проточ- ная	20	2,8	760	1050	1050	0,84
„Вилсон-Ел- сан“ (США)	Рецирку- ляцион- ная или проточ- ная	0051	*	1700	940	1820	1,2
		0286	*	3000	1450	1850	8,05
„Сани-си- стемс“ (США)	Проточ- ная	SS-600	2,84	1170	640	2060	1,54
			*	1190	640	1520	1,16 (2,7)

Масса, кг	Установ- ленная мощ- ность, кВт	Удельные показатели			Реагенты	
		объем установ- ки на 1 м³ обра- батывае- мых стоков, м³/м³	потреб- ляемая мощность, кВт/м³	металло- емкость, кг/м³	коагулянт	обеззаражива- ющее средство
2267	10	0,44	0,53	120	*	*
3630 1130	*	0,4	—	99	*	*
2300 1500 4000 2500	—	2,4	—	100	*	*
	—	6,4	—	1667	*	*
1480 550 2170 740 2485 810 2785 830 7870 2380	6 6,35 6,35 8,65 13,01	2,6 1,14 1,12 0,6 0,41	2,6 1,1 1,1 0,45 0,31	235 130 144 44 63	*	*
547,2 386,8 697,7 463,3 454	10,4 13,4 4	2,1 1,68 0,3	6,9 6 1,4	257 205 *	Катализатор для интенсификации процесса жидко- фазного окис- ления	Катализатор для интенсифи- кации про- цесса жидко- фазного окис- ления
*	*	*	*	*	NaOH (3 кг/сут) NaOH (18 кг/сут)	Ca(ClO) ₂ (2 кг/сут) Ca(ClO) ₂ (12 кг/сут)
1361 658	3,3 *	0,95 *	1,16 *	231 *	Percol-744 (9,5 л/сут)	5%-ный раствор Ca(ClO) ₂ (11,4 л/сут)

Установка, фирма- изготовитель, страна	Тип установ- ки	Модель	Коли- чество очища- емых сточных вод, м ³ /сут	Габариты, мм			
				длина	ширина	высота	Объем, м ³
„Сани-системс“ (США)	Проточ- ная	SS-616	5,11	1170	640	2060	1,54
			•	1190	640	1520	1,16
		SS-630	•	710	640	2060	0,94 (3,64)
			11,35	1630	610	1630	1,62
			•	840	610	1630	0,83
			•	1630	610	1630	1,62 (4,07)
Установка для электро- химической очистки сточ- ных вод (СССР)	Проточ- ная	ЭОС-15	18	2060	1660	1750	6
		ЭОС-5	8	1580	1320	1660	3,5

П р и м е ч а н и я . 1. Суточная пропускная способность принималась по данным, тывалась (при указании численности обслуживаемого экипажа) по нормам стоков, ки. 2. Для ряда установок потребляемая мощность рассчитывалась по данным ком состоянии, знаменатель — масса порожнем.

деструкцией загрязнений и т. д. Обеззараживание сточных вод осуществляется под действием сильных окислителей, вводимых в обрабатываемые стоки. Наибольшее распространение в качестве обеззараживающего агента для судовых установок получили гипохлорит натрия и кальция. В последнее время для обеззараживания сточных вод начинают применять озон и ультрафиолетовое излучение.

В установках биохимической очистки судовых сточных вод используют технологическую схему очистки стоков. В процессе очистки из сточных вод, поступающих на установку, отделяются крупнофракционные примеси на решетке, затем сточные воды подвергаются аэрации (для многих установок в две ступени), при этом осуществляется также циркуляция обрабатываемых стоков между приемным и аэрационным отсеками.

После аэрации от азированных сточных вод отделяется активный ил в специальном отстойнике. Отделенный от сточных вод активный ил эрлифтом возвращается в аэрационный отсек. Для работы эрлифта используется часть воздуха от аэрационных воздуходувок.

Очищенные воды поступают в сборную емкость, в которую подается обеззараживающий агент. Очищенные и обеззараженные стоки сбрасываются за борт. В сборную емкость подаются также хозяйственно-бытовые воды, которые подвергаются только обеззараживанию и не проходят биологической очистки.

Установки биохимической очистки сточных вод имеют большое количество типоразмеров, что связано со спецификой биологического процесса очистки, для кото-

Масса, кг	Установ- ленная мощ- ность, кВт	Удельные показатели			Реагенты	
		объем установ- ки на 1 м ³ об- рабаты- ваемых стоков, м ³ /м ³	потреб- ляемая мощность, кВт/м ³	металло- емкость, кг/м ³	коагулянт	обеззаражива- ющее средство
2116	3,3	0,71	0,64	171	•	•
877						
3595	3,3	0,34	0,29	130	•	•
1477						
3700	3,4	0,3	0,2	128	Не требуется	Не требуется
2300						
1580	2	0,43	0,43	150	" "	" "
1200						

приведенным в технической документации на установку, при их отсутствии рассчиты-
образующихся на человека в сутки, принятых для страны — изготовителя установ-
плектующего оборудования. 3. Для массы установок числитель — масса в рабочем

рой лимитирующей является не только максимальная, но и минимальная пропускная
способность установок, обусловленная нарушением процесса биологической очистки
при недостаточном потоке сточных вод.

В табл. 7.5 представлены характеристики различных установок биохимической
очистки сточных вод.

На рис. 7.18 приведены зависимости удельных показателей объема, массы и
потребляемой электроэнергии различных типов установок биохимической очистки от
их пропускной способности. Из рисунков следует, что удельные показатели по пере-
численным параметрам с увеличением пропускной способности установки уменьша-
ются в три-четыре раза. Начиная с пропускной способности установки более 5 м³/сут
уменьшение удельных показателей незначительно, это подтверждает целесооб-
разность использования установок биохимической очистки сточных вод при
количестве экипажа 100 чел. и более (из расчета расхода сточных вод 50 л/чел.
в сутки).

При увеличении пропускной способности установки потребление ею электро-
энергии снижается с 2 до 0,4 кВт на 1 м³ обрабатываемых стоков. Такое значительное
изменение потребления электроэнергии связано с тем, что типоразмерные ряды уста-
новок биохимической очистки унифицированы по комплектующему оборудованию
(насосам и др.), поэтому у установок с большой пропускной способностью этот по-
казатель ниже в 4–5 раз, чем у установок малой пропускной способности.

Для более точного анализа энергетических характеристик установок необходимо определить количество энергии, потребляемое установкой за длительный период эксплуатации, например в течение года.

Для установок биохимической очистки сточных вод электроэнергию, потребляемую за 1 год (кВт·ч), рассчитывают по формуле

$$N_{\Sigma} = T [24 (q_1 + q_4) + B q_3 t_2 + q_2 t],$$

где q_1 — мощность воздуходувки, кВт; T — количество суток, за которое определяется общее потребление энергии, сут; q_2 — мощность насоса откачки чистой воды, кВт; t — время работы откачивающего насоса в течение суток, ч; $t = q_n / Q_{уст}$, здесь q_n — производительность насоса, м³/ч; $Q_{уст}$ — пропускная способность установки, м³/с; q_3 — мощность насоса-дозатора для обеззараживающего агента, кВт; t_2 — время работы дозатора в течение суток, ч; q_4 — средняя электроэнергия, потребляемая системой автоматики в сутки, ч; B — коэффициент, учитывающий время нахождения судна в районах, запрещенных для сброса необработанных сточных вод (обеззараживание сточных вод осуществляется только в районах, запрещенных для сброса необработанных стоков).

Технологическая схема обработки судовых сточных вод в установках, использующих физико-химические методы очистки, включает следующие операции: предварительную обработку и сбор сточных вод для усреднения их физико-химического состава и сглаживания „пиковых“ нагрузок на установку; удаление загрязнений, содержащихся в сточных водах; обеззараживание сточных вод; сбор и обработку шлама. Для различных типов установок последовательность процессов предварительной обработки стоков и их усреднения может меняться.

Установки для обработки сточных вод физико-химическими методами очищают и обеззараживают, как правило, все виды стоков, образующихся на судне, но в таких установках также могут быть обработаны отдельно любые виды сточных вод.

При работе установок для обработки сточных вод физико-механическими методами имеется возможность регулировать качество очищенной воды (до определенных пределов, обусловленных возможностями используемого метода) путем изменения доз реактивов, подающихся в очищаемые стоки. На надежность качества очистки в установках такого типа загрязненность стоков и режим их поступления влияют незначительно.

Технические характеристики установок очистки судовых сточных вод физико-химическими методами приведены в табл. 7.6. Как следует из таблицы, установки для очистки сточных вод физико-химическими методами имеют небольшие типоразмерные ряды. Это связано с тем, что установки, использующие физико-химические методы обработки сточных вод, не имеют ограничений по минимальной пропускной способности. Поэтому при использовании на судне установки с пропускной способностью, превышающей требуемую для данного судна, качество очищаемой воды не меняется, уменьшается лишь время работы установки в сутки.

Максимальное количество очищенных сточных вод (за небольшим исключением) не превышает 20–30 м³/сут, что соответствует численности экипажа около 100 чел. (при обработке сточных, хозяйственно-бытовых и камбузных вод при норме 250–300 л/чел. в сутки). Это обусловлено тем, что на судах с большой численностью экипажа имеется несколько таких установок.

Из технологических схем установок очистки сточных вод физико-химическими методами видно, что в этих установках имеются два-три перекачивающих насоса, насосы дозирования химических реагентов и другие вспомогательные механизмы. Для установок очистки сточных вод физико-химическими методами нет четко выраженной зависимости их удельных показателей от пропускной способности по сравнению с установками для биохимической очистки сточных вод.

Для установок обработки сточных вод физико-химическими методами суммарную потребляемую электроэнергию определяют по формуле $N_{\Sigma} = T B \sum g_i t_i$, где g_i — мощность, потребляемая приводом i , кВт; t_i — длительность работы привода i за 1 сут, ч.

Из значений удельных показателей установок обработки сточных вод биохимическими (см. табл. 7.5) и физико-химическими (см. табл. 7.6) методами были

Таблица 7.7

Средние удельные показатели для установок биохимического и физико-химического методов обработки судовых сточных вод

Средний удельный показатель	Метод	
	биохимический	физико-химический
Габариты, м ³ /м ³	2,96	1
Металлоемкость	813	194
Мощность, кВт/м ³	1,1	1,5
Потребляемая мощность за год, кВт	9600	2900

рассчитаны средние удельные показатели для этих методов (табл. 7.7). Из данных таблицы следует, что удельные показатели установок обработки сточных вод биохимическими методами хуже, чем у установок обработки сточных вод физико-химическими методами (исключение — установленная мощность). Однако средняя годовая потребляемая мощность установок обработки сточных вод биохимическими методами в три раза выше, чем у установок обработки сточных вод физико-химическими методами. Это обусловлено тем, что установки обработки сточных вод физико-химическими методами работают только в районах, запрещенных для сброса неочищенных сточных вод, в то время как установки биохимической обработки стоков работают независимо от местонахождения судна, что связано с их длительным (порядка 14 сут) выходом на режим, при котором достигается требуемое Конвенцией 1973 г. качество обработки стоков.

В установках биохимической обработки сточных вод регулировка качества обработанных сточных вод очень сложна, а в установках, использующих физико-химический метод очистки, наладка и регулировка качества обработанных сточных вод намного проще и занимает меньше времени.

Качество очистки сточных вод в установках, использующих физико-химические методы очистки выше, что связано с меньшим влиянием на процесс очистки колебаний качества поступающих на установку сточных вод и концентрации загрязнений, наличием в стоках различных веществ небиогенного характера и возможностью работы установки при минимальных нагрузках.

Глава 8 ИСПЫТАНИЯ ОЧИСТИТЕЛЕЙ

§ 8.1. Нефтепродукты

Очистители рассчитываются и конструируются на определенные параметры работы, к которым относятся: качество очистки, технологический КПД, производительность, потребляемая мощность и т. д. Изготовленные очистители подвергают механическим и технологическим стендовым испытаниям для определения соответствия их параметров работы расчетным значениям.

Механические и технологические испытания очистителей проводятся при приемо-сдаточных, периодических и типовых испытаниях для выявления связи между всеми основными параметрами на различных режимах работы очистителя. Основные параметры очистителей при оценке их качества: гидравлические и механические характеристики, полнота и тонкость отсева частиц.

Эффективность очистителей жидкостей при испытаниях во многом зависит от правильности выбора и подготовки загрязнителя. В качестве искусственного загрязнителя нефтепродуктов при технологических испытаниях очистителей на эффективность их работы по отделению из обрабатываемых жидкостей механических примесей применяют как естественный загрязнитель, получаемый при отстое или дополнительном центрифугировании нефтепродуктов, используемых в двигателях, так и искусственно созданные загрязнители, близкие к естественным. Естественный загрязнитель для технологических испытаний очистителей используют весьма ограниченно из-за плохой стабильности состава загрязнителя и трудности его получения в достаточном количестве.

Из искусственных загрязнителей интерес представляет двухкомпонентный загрязнитель, который соответствует естественному. Он состоит из скрытокристаллического графита марки ГЛС-3 по ГОСТ 5420-74 и гидрата окиси железа по ГОСТ 4155-66.

Скрытокристаллический графит по своему химическому составу и наличию гранул более полно имитирует органическую часть естественного загрязнителя. Гидрат окиси железа — один из основных естественных компонентов неорганических загрязнений нефтепродуктов, он легко поддается размельчению и просеиванию. Использование скрытокристаллического графита и гидрата окиси железа в качестве компонентов искусственного загрязнителя позволяет упростить процесс его приготовления.

Качественный состав компонентов для этого загрязнителя следующий: скрытокристаллический графит 87-92%, гидрат окиси железа 8-13%; дисперсный состав: скрытокристаллический графит 1-115 мкм, гидрат окиси железа 1-105 мкм.

Методика изготовления этого загрязнителя основана на том, что порошок гидрата окиси железа высушивают в сушильном шкафу в течение 24-30 ч при температуре 110-115° С, затем вторично размельчают, при этом порошок гидрата окиси железа и скрытокристаллический графит отдельно просеивают через сито с размерами ячеек 115-120 мм с последующим смешением их в заданных пропорциях.

В сравнении с существующими искусственными загрязнителями этот загрязнитель обладает следующими преимуществами:

— является сыпучей порошкообразной массой, компоненты которой легко поддаются размельчению и просеиванию;

— точнее имитирует состав естественного загрязнителя;

— имеет стабильный состав и состоит из стандартных компонентов с вполне определенным способом приготовления.

Масса загрязнителя для технологических испытаний очистителя определяется из необходимой концентрации примесей в нефтепродукте и количества нефтепродукта, определяемого заданной продолжительностью испытаний.

Для приготовления загрязненного нефтепродукта с заданным содержанием примесей в бак загрязнителя заливают расчетное количество нефтепродукта. После этого из бака отбирают 7–10 л нефтепродукта в отдельную емкость, в которую при постоянном перемешивании вводится небольшими порциями расчетная масса загрязнителя. Приготовленную таким образом смесь нефтепродукта с загрязнителем после его перемешивания в течение 5 мин заливают в бак загрязнителя. Для обеспечения равномерного распределения загрязнителя в объеме нефтепродукта, находящегося в баке загрязнителя, последний снабжают перемешивающим устройством, которое включается и работает в течение всего режима испытаний очистителя при кратности циркуляции 15–33. Указанная кратность циркуляции обеспечивает отсутствие гравитационного осаждения частиц загрязнителя в период проведения испытаний нефтепродуктов различной вязкости.

Подача приготовленной смеси в исходный нефтепродукт перед очистителем осуществляется путем дозирования. Выбор производительности дозирочного насоса определяют расчетом из условия обеспечения заданного процента загрязнения исходного нефтепродукта или по номограмме (рис. 8.1) в зависимости от первоначальных условий загрязнения нефтепродукта, качества очистки и производительности очистителя. Например, дано содержание механических примесей в испытуемом нефтепродукте C — C_1 (точка A), производительность очистителя Q (точка B) и концентрация загрязнителя C' (точка Γ). Для определения подачи дозерного насоса через точки A и B проводится прямая. При пересечении этой прямой со вспомогательной шкалой n находят точку B . Далее проводят прямую через точки Γ и B до пересечения со шкалой g , на которой в точке D определяют подачу дозерного насоса.

Стендовые технологические испытания очистителей проводят на установке, схема которой показана на рис. 8.2.

Количество сепараторов, подвергающихся испытаниям, определяется программой испытаний.

Механические испытания. Стенд для проведения механических испытаний должен соответствовать принципиальной схеме, приведенной на рис. 8.2. Для проверки работоспособности очистителей при качке и длительном наклонении стенды оборудуются качающимися платформами с углами отклонения от вертикали 45° и периодами качания 16 с (рис. 8.3).

Стендовые механические испытания сепараторов топлива, масла и рабочей жидкости включают:

- проверку пусковых характеристик сепаратора при входе в режим работы;
- проверку действия тормоза;
- проверку вакуумметрической высоты всасывания;
- проверку системы разгрузки;
- проверку работоспособности сепаратора в вертикальном положении;
- проверку правильности функционирования системы автоматического управления;
- проверку работоспособности сепаратора при качке и длительном наклонении;
- определение потребляемой мощности (расхода нефтепродукта на гидропривод) при пуске и работе сепаратора на нефтепродукте при температуре его сепарации;
- определение пропускной способности сепаратора на нефтепродукте при температуре его сепарации;
- измерение вибрации;
- снятие шумовой характеристики;
- определение массы сепаратора в сухом состоянии;
- проверку удобства обслуживания при работе сепаратора и контроль состояния узлов сепаратора, а также оценку затрат труда на управление и обслуживание;

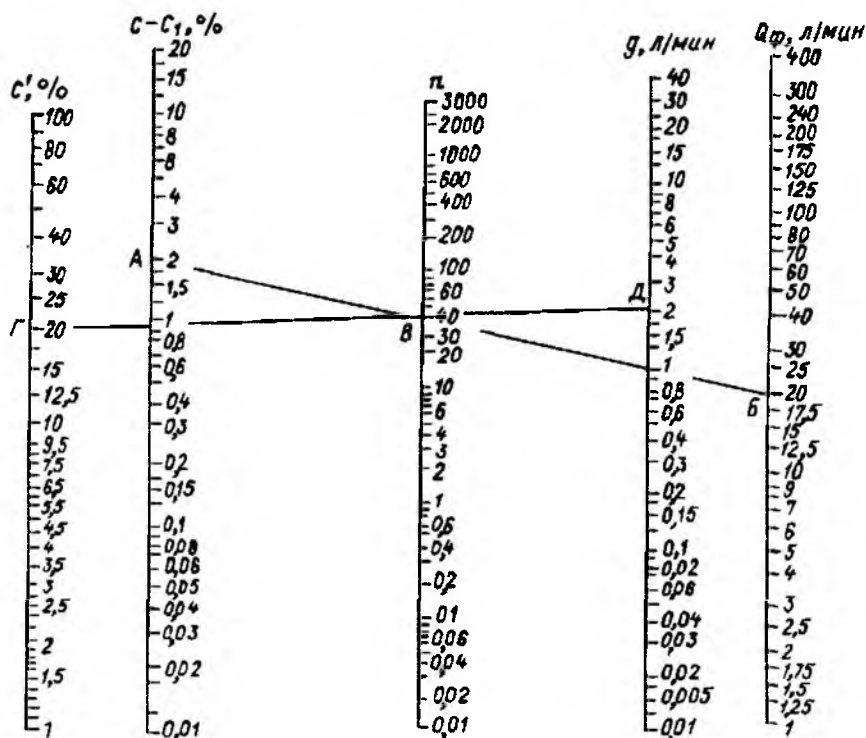


Рис. 8.1. Номограмма для определения параметров станковых технологических испытаний судовых очистителей.

C' — концентрация загрязнителя; C — содержание воды или механических примесей в испытуемом нефтепродукте; C_1 — содержание воды или механических примесей в исходном нефтепродукте; n — вспомогательная шкала; g — подача дозирующего насоса; Q_{ϕ} — фактическая производительность очистителя.

- определение затрат на полную и узловую разборку и сборку сепаратора с заменой деталей и узлов из ремонтного комплекта ЗИП;
- проверку на вибрацию и шум.

Объем каждого вида испытаний сепаратора устанавливается по соответствующей программе.

При проведении всех видов испытаний (кроме приемо-сдаточных) проверка работы системы разгрузки и работоспособности сепаратора в вертикальном положении, а также проверка правильности функционирования системы автоматического управления выполняются при максимальной температуре сепарирования. Приемо-сдаточные испытания, а также проверка пусковых характеристик сепаратора, проверка действия тормоза и работоспособности сепаратора при вертикальном вале проводят на одном из нефтепродуктов, указанных в ГОСТ 17601-72.

Для измерения параметров сепаратора применяют секундомеры, манометры, вакуумметры, мановакуумметры, тахометры, амперметры, вольтметры.

Проверка пусковых характеристик сепаратора производится путем его неоднократного включения и выключения. При этом определяют время разгона барабана сепаратора с электроприводом с момента пуска до развития номинальной угловой скорости. Сепаратор выключают после 5 мин его работы при номинальной частоте вращения.

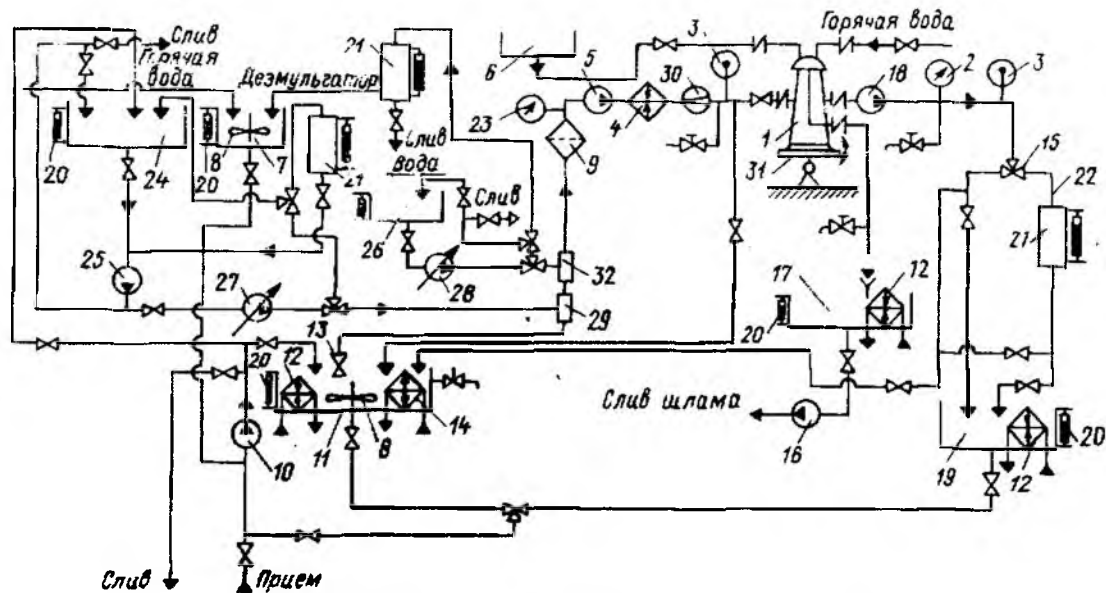


Рис. 8.2. Универсальная схема стенда для испытания очистителей.

1 — очиститель; 2 — манометр; 3 — термометры; 4 — подогреватель; 5 — всасывающая секция насоса очистителя; 6 — бак для буферной воды; 7 — бак для деэмульгатора; 8 — мешалки; 9 — штатный фильтр очистителя; 10 — насос циркуляционный; 11 — бак для неочищенного продукта; 12 — подогреватели; 13 — клапан отборный; 14 — охладитель; 15 — кран трехходовой; 16 — насос; 17 — бак для отделенной воды и шлама; 18 — откачивающая секция очистителя; 19 — бак для очищенного нефтепродукта; 20 — указатели уровня; 21 — мерные устройства; 22 — трубопроводы и соединительная арматура; 23 — мановакуумметр; 24 — бак для загрязнителя; 25 — насос перемешивающий; 26 — бак для воды; 27 — дозерный насос для загрязнителя; 28 — дозерный насос для воды; 29 — устройство для ввода загрязнителя; 30 — расходомер; 31 — качающаяся платформа; 32 — устройство для ввода воды.

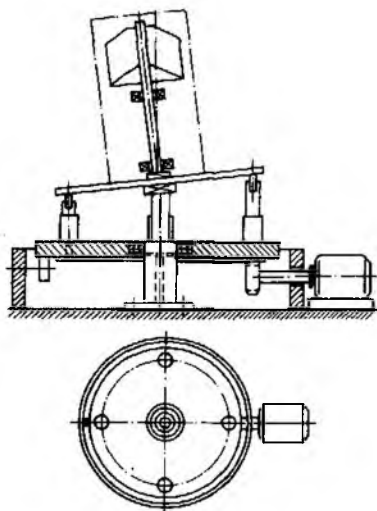


Рис. 8.3. Качающаяся платформа для испытания судовых очистителей.

лениях, а также при длительном наклоне на 15 и 30°. Снятие шумовой характеристики производят по методике, разработанной в соответствии с ГОСТ 8055-73. Массу сепаратора определяют путем взвешивания его на весах. При типовых испытаниях масса должна определяться в том случае, если ожидается изменение ее более чем на 1%. Разборку и сборку сепаратора выполняют только штатным инструментом и приспособлениями, прилагаемыми к сепараторам и стандартизованным инструментам.

При вынужденных перерывах испытаний вопрос об их продолжении решается в зависимости от причин остановки.

Все отсчеты по показаниям приборов проводят при установившемся режиме работы сепаратора, измеряя показатели технических характеристик не реже чем через каждые 30 мин.

После проверки работоспособности сепаратора при качке проводят кратковременную проверку стабильности его номинальных параметров: пропускной способности, частоты вращения, давления нагнетания насосов, вакуума на всасывании, потребляемой мощности. После испытаний по проверке стабильности сепаратор разбирают, узлы и детали осматривают, проводят измерение и дефектоскопию отдельных деталей барабана.

Технологические испытания. Стенд для проведения технологических испытаний должен соответствовать принципиальной схеме, приведенной на рис. 8.2.

Испытания проводят на различных сортах нефтепродуктов с применением деэмульгаторов и без них (табл. 8.1).

Перед испытаниями необходимо проверить сепаратор и оборудование стенда на соответствие требованиям технической документации. Все рабочие емкости стенда очищаются и промываются. Промывку стенда проводят при работающем сепараторе путем однократной прокачки через систему нефтепродукта, на котором проводят испытания. После промывки стенда нефтепродукт удаляется из системы и баков, а барабан и полости сепаратора разбирают и очищают.

Перед заливкой нефтепродукта в бак стенда отбирают пробу для анализа его физико-химических показателей. Значения вязкости наносят на номограмму вязкость-температура, по которой устанавливают температуру подогрева нефтепродуктов при испытаниях. При проведении испытаний на нефтепродуктах, указанных в табл. 8.1, последние должны быть несепарированными.

Проверку работы системы разгрузки барабана сепаратора выполняют не менее трех раз. Каждая последующая разгрузка барабана сепаратора должна производиться после достижения номинальной частоты вращения барабана. При предварительных и межведомственных испытаниях сепаратора во время проверки системы разгрузки барабана должен быть определен расход воды на один цикл разгрузки.

Действие тормоза проверяют при достижении барабаном частоты вращения 75% от номинальной после выключения электродвигателя. Проверку работоспособности сепаратора в вертикальном положении, при качке и длительном наклонении производят при номинальной пропускной способности. Правильность функционирования системы автоматического управления в режимах пуска, сепарации, разгрузки, останова, в аварийных ситуациях и блокировках проверяют по отдельной методике. Проверку работоспособности сепаратора при качке выполняют на качающейся платформе при амплитуде 45° и периоде 16 с в двух взаимно перпендикулярных направ-

Сорта нефтепродуктов, применяемые при технологических испытаниях сепараторов

Нефтепродукт	Сепаратор	Дезмульгатор	Масса дезмульгатора, %
Топливо дизельное Д	Н	—	—
Масло турбинное 46 или масло турбинное 46 с присадками	Н, С, Сн	—	—
Масло М-10В ₂ или М-10Г ₂ ЦС	Н	—	—
Масло веретенное АУ, АУ с присадками или АУП	Н	ОП-10	0,02
Топливо моторное ДТ	С	ОЖК	0,1
Мазут флотский Ф-12	С, Сн	ОЖК	0,1
Мазут топочный 40	Сн	ОЖК	0,1

Примечание. Н — несаморазгружающийся сепаратор с ручным удалением осадка; С — саморазгружающийся сепаратор с периодическим удалением осадка; Сн — саморазгружающийся сепаратор с непрерывным удалением осадка.

При испытаниях сепараторов определяют их номинальную и фактическую производительности. Под фактической производительностью сепаратора понимают количество очищенного нефтепродукта за 1 ч работы при условиях, отличных от номинальных.

Периодические испытания включают проверку номинальной производительности сепаратора, которую проводят при условиях, соответствующих ГОСТ 13477-68, в режиме пурификации за один цикл.

Фактическую производительность сепаратора определяют при вязкости нефтепродукта 2, 4, 6° ВУ, при этом загрязнение и обводнение должны соответствовать ГОСТ 13477-68. Назначаются следующие режимы производительности: 25, 50, 75, 100% номинальной при испытаниях на маслах, дизельном и моторном топливе и 15, 25, 50, 75% номинальной при испытаниях на мазутах.

Время перехода с одной производительности на другую при одной и той же вязкости нефтепродукта не менее 5 мин. При испытаниях доливка, а также возврат очищенного нефтепродукта в бак не допускаются. При очистке нефтепродуктов от механических примесей и воды в приемный патрубок сепаратора перед фильтром вводится загрязнитель или вода в количестве, обеспечивающем исходный процент загрязнения или обводнения. Выбор производительности дозерного насоса для ввода загрязнителя или воды в нефтепродукт перед сепаратором при известном загрязнении или обводнении исходного нефтепродукта производится по номограмме рис. 8.1.

При работе дозирующего насоса перемешивание нефтепродукта и загрязнителя насосом производится непрерывно.

Перед отбором проб необходимо слить нефтепродукт, заполняющий устройство для отбора проб. Каждую пробу отбирают в чистую сухую посуду вместимостью не менее 0,5 л. Посуду заполняют на 3/4 объема и закрывают пробками, не растворимыми в нефтепродуктах. Каждая проба должна иметь этикетку с надписью и регистрироваться в журнале испытаний. Время для отбора пробы должно быть не менее 30 с.

Испытания проводятся в определенной последовательности. Сначала нефтепродукт подогревают до температуры сепарирования. После подогрева нефтепродукта до заданной температуры включают сепаратор, подают в него нефтепродукт и устанавливают необходимый режим работы. При достижении постоянной частоты вращения барабана, заданной температуры и производительности в нефтепродукт перед сепаратором подают загрязнитель или воду в заданных количествах посредством дозерных насосов. Время для установления режима сепарации должно быть не менее

7 мин. При установившемся режиме работы отбирают две пробы нефтепродукта из трубопроводов до и после сепаратора и пробу отсепарированной воды. После отбора проб на одном режиме устанавливают следующий режим и опять отбирают пробы. Закончив проведение всех опытов при одной вязкости нефтепродуктов, переходят к испытаниям нефтепродуктов следующей вязкости.

В процессе испытаний на каждом установившемся режиме измеряют производительность сепаратора, температуру нефтепродукта на входе в сепаратор и частоту вращения барабана.

Все пробы, отобранные при испытаниях, подвергают анализу. Для каждой марки нефтепродукта на основании полученных данных составляют графики зависимостей содержания воды и механических примесей в очищенном нефтепродукте от вязкости для каждого режима и тонкости очистки от производительности и вязкости. Допускается отклонение показателей в следующих пределах: производительности $\pm 2,5\%$, температуры нефтепродукта $+2,5^\circ\text{C}$ и частоты вращения барабана $\pm 2,5\%$.

При испытаниях фильтров определяют их гидравлические характеристики, внешнюю герметичность и перепад давления в фильтре. Эти испытания проводят на стенде, схема которого приведена на рис. 8.2.

§ 8.2. Нефтедержавщие воды

Стеновые испытания. Сепарационное и фильтрующее оборудование, устанавливаемое на судах, должно отвечать требованиям международной Конвенции по предотвращению загрязнения с судов 1973 г. и иметь свидетельство о типовом испытании.

Для получения свидетельства проводят стеновые испытания оборудования.

Перед испытанием оборудования проверяют наличие:

- рабочих чертежей;
- утвержденной программы испытаний;
- технических условий;
- схемы оборудования стенда;
- документа ОТК о готовности стенда для испытания изделия;
- документов ОТК, подтверждающих готовность оборудования к испытаниям;
- полного комплекта испытательного оборудования;
- паспортов на комплектующее оборудование;
- документов о проверке контрольно-измерительных приборов стенда, а также приборов автоматического контроля;
- сертификатов на применяемые нефтепродукты либо химических анализов нефтепродуктов, оформленных компетентными органами;
- документов о признании Регистром СССР лаборатории, участвующей в испытании.

Последовательность испытаний представлена на графиках, приведенных на рис. 8.4. Испытания проводят с применением двух сортов нефти: жидкого котельного топлива плотностью около $0,94$ при 15°C и вязкостью не менее 220 сСт при $37,8^\circ\text{C}$ и дизельного топлива плотностью около $0,83$ при 15°C . Для испытаний применяют чистую воду плотностью не более $1,025$ при температуре 15°C .

Если сепарационная или фильтрующая установка укомплектована своим штатным насосом, то испытания проводят с этим насосом (рис. 8.5). Насос должен подавать в установку количество нефти и воды, соответствующее пропускной способности установки.

При отсутствии в установке штатного насоса испытания проводят с использованием центробежного насоса с частотой вращения не менее 1000 об/мин и подачей, не менее чем в $1,5$ раза превышающей номинальную производительность установки (рис. 8.6). Избыточная подача загрязненной воды может быть снижена либо переключением на всасывание, либо дросселированием.

Трубопроводы должны быть рассчитаны на максимальную скорость жидкости 3 м/с, а длина трубопровода от места впуска нефти до оборудования должна быть равной не менее 20 его диаметрам.

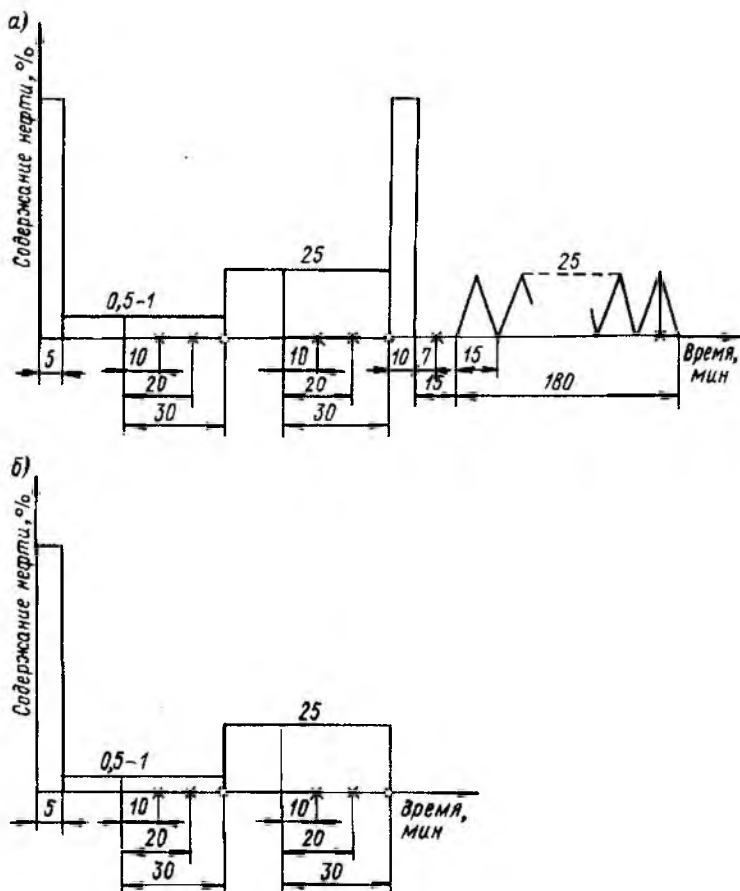


Рис. 8.4. Графики проведения испытаний сепарационного и фильтрующего оборудования на жидком котельном топливе (а) и дизельном топливе (б).

Изменение соотношения смеси нефть-вода производят с помощью клапанов на нефтяных и водяных всасывающих трубопроводах рядом с насосом, при этом контролируют расход нефти и воды или содержание нефти в смеси.

Нефтеводная смесь подается в оборудование, работающее по принципу гравитационного отстоя, при температуре не выше 25°C ; при необходимости должно быть предусмотрено устройство для обогрева или охлаждения смеси. В негравитационные сепараторы смесь следует подавать при температуре $10-30^{\circ}\text{C}$.

При необходимости подогрева воды до заданной температуры и подвода тепла для поддержания этой температуры испытания проводят при заданной температуре.

Места и точки отбора проб смеси должны находиться на вертикальных участках трубопроводов. Устройство для отбора проб показано на рис. 8.7.

На впускном трубопроводе должен быть карман для термометра, а на выпускном трубопроводе — смотровое стекло.

Содержание нефти в очищенной воде, независимо от содержания нефти в смеси, подаваемой в испытываемое оборудование, должно быть не более 100 млн.^{-1} для сепарационного оборудования и не более 15 млн.^{-1} для фильтрующего оборудования.

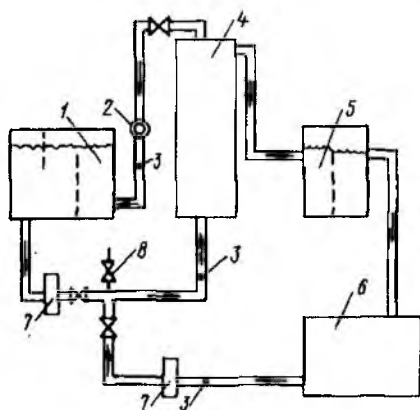


Рис. 8.5. Схема испытательного стенда сепаратора со штатным насосом.

1 - водная цистерна; 2 - смотровое окно; 3 - места отбора проб; 4 - сепаратор; 5 - цистерна сепарированной нефти; 6 - нефтяная цистерна; 7 - насос; 8 - расходомер; 9 - воздушный кран.

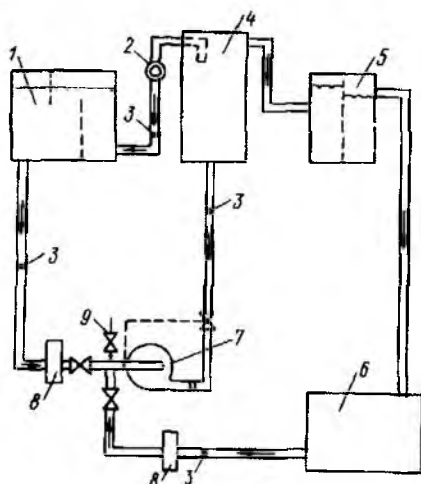


Рис. 8.6. Схема испытательного стенда сепаратора с центробежным насосом.

1 - водная цистерна; 2 - смотровое окно; 3 - места отбора проб; 4 - сепаратор; 5 - цистерна сепарированной нефти; 6 - нефтяная цистерна; 7 - насос; 8 - расходомер; 9 - воздушный кран.

Испытания проводят в определенной последовательности. Сначала оборудование заполняют водой и включают в работу, затем в оборудование в течение не менее 5 мин подают чистую нефть для заполнения нефтесборника и загрязнения подводящего трубопровода. После этого в оборудование подают смесь с содержанием нефти $5000-10000 \text{ млн.}^{-1}$, вплоть до достижения установившегося режима. Установившимся режимом считается такой, который устанавливается после прокачки через оборудование объема нефтеводной смеси, не менее чем в два раза превышающего объем оборудования.

По достижении установившегося режима оборудование должно работать в течение 30 мин. При этом через 10 и 20 мин, считая от начала испытания, для анализа отбирают пробы исходной и очищенной воды. Затем на всасывающей стороне насоса от-

крывают воздушный кран и при необходимости одновременно медленно закрывают нефтяной и водной клапаны. Как только прекратится слив очищенной воды (этот момент можно установить через смотровое стекло), производят отбор пробы.

Аналогичные испытания оборудования проводят также на смеси, состоящей из 25% нефти и 75% воды.

Для проверки работы системы слива нефти в оборудование в течение 5 мин подают чистую (100%) нефть в количестве, достаточном для срабатывания автоматического нефтесливного клапана. Наблюдение за возможным ее выбросом ведут через смотровое стекло. После срабатывания

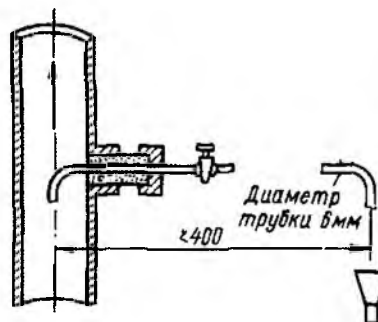


Рис. 8.7. Устройство для отбора проб. клапана для проверки эффективности

работы системы слива нефти подача нефти продолжается еще 5 мин. Затем в течение 15 мин в оборудование подают воду. В это время необходимо отобрать две пробы очищенной воды, причем первая проба должна быть взята сразу же в момент начала подачи воды.

Проверку оборудования в режиме непрерывной и автоматической работы производят в течение не менее 3 ч. Проверку проводят циклами по 15 мин, меняя состав жидкости, поступающей в оборудование: от воды до нефтеводяной смеси с содержанием нефти до 25% и наоборот. При этом проверяют работу всех автоматических устройств. В конце проверки в оборудование подают смесь, содержащую 25% нефти, и на выходе отбирают пробу для анализа.

Отбор проб производят из устройства, конструкция которого приведена на рис. 8.7. Перед отбором любой пробы смесь должна свободно стекать в течение не менее 1 мин. Пробы (не менее 1 л каждая) отбирают в чистые бутылки с узким горлышком, которые должны быть закупорены герметическими пробками и снабжены этикетками. Если проба не будет подвергнута экстрагированию в день отбора, ее необходимо в этот же день законсервировать путем добавления 5 мл соляной кислоты. Анализ проводят в лаборатории не позднее чем через семь дней после отбора проб.

Если при испытаниях использовались точные приборы для определения содержания нефти, то достаточно для каждого режима испытания отобрать по одной пробе исходной и очищенной воды при условии, что показания приборов не отличаются от результатов анализа на $\pm 10\%$. Содержание нефти в пробе должно определяться по методу, предложенному ИМО.

При испытаниях доочистных устройств, предназначенных в качестве приставок к оборудованию для нефтеводяной сепарации, предъявляются в основном те же требования, что и при испытаниях сепарационного и фильтрующего оборудования.

Для имитации неблагоприятных условий, которые могут возникнуть при сбросе смеси из сепаратора, в качестве питающего насоса используют центробежный насос с подачей, соответствующей максимальной производительности испытываемого оборудования, работающий с частотой вращения не менее 1000 об/мин.

Испытания проводят на двух сортах топлива: с относительной плотностью около 0,94 при 15°С и вязкостью не менее 220 сСт при 37,8°С и с относительной плотностью около 0,83 при 15°С.

До начала испытаний через оборудование прокачивают смесь с содержанием нефти не менее 3000 млн.⁻¹ в течение времени, равного двухкратному времени прохождения этой смеси.

Затем через оборудование в течение 3 ч прокачивают смесь, содержащую не менее 3000 млн.⁻¹ нефти, и отбирают три пробы через промежутки времени, не превышающие 1 ч. Испытание должно продолжаться столько времени, сколько необходимо для подтверждения удовлетворительной работы приборов, которыми укомплектовано оборудование (поплавокные уровнемеры, указатели уровня нефти, если они предусмотрены).

Если доочистное устройство предназначено в качестве приставки к оборудованию для нефтеводяной сепарации, испытанному и аттестованному в соответствии с требованиями ИМО и имеющему нефтесодержание очищенной воды менее 100 млн.⁻¹, то подаваемая для его испытания смесь может иметь нефтесодержание не менее 200 млн.⁻¹.

Выданное свидетельство о типовом испытании должно четко указывать, что это оборудование следует применять только в качестве приставки к оборудованию для нефтеводяной сепарации, испытанному и одобренному в соответствии с требованиями ИМО.

Кроме испытаний на очистную способность все оборудование для очистки нефтесодержащих вод проверяют в действии при наклоне 22,5° от нормального рабочего положения. Щиты управления сигнализации проверяют на способность к длительной работе в условиях вибрации.

Испытания на судне. Проверку оборудования в действии на судне проводят при швартовных или ходовых испытаниях.

Испытания проводят на нефтесодержащих водах, взятых непосредственно из льял машинного отделения или из штатной сборной емкости.

Перед испытаниями оборудование заполняют чистой забортной водой и замеряют пропускную способность штатного прокачивающего насоса. Затем через оборудование, заполненное водой, в течение 5 мин пропускают нефтепродукты для загрязнения его и подводящих труб нефтью. После этого в оборудование подают нефтеводяную смесь, содержащую 5000–10 000 млн. ⁻¹ нефти в воде, вплоть до достижения установившегося режима.

Испытания продолжают в течение 30 мин. При этом через 10, 20 и 30 мин после начала установившегося режима отбирают пробы исходной и очищенной воды. При отборе пробы через 30 мин осуществляется подсос воздуха путем открытия крана на всасывающей стороне насоса и медленного прикрытия нефтяного и водяного клапанов.

Во время испытаний отбирают девять проб очищенной воды и одну пробу исходной воды.

Содержание нефти в очищенной воде не должно превышать указанного в свидетельстве о типовом испытании.

При испытаниях оборудования на судне также проверяют: плотность соединений, работу в автоматическом режиме и при ручном управлении, работу насосных агрегатов и обслуживающих систем, а также средств автоматизации, сигнализации и контроля.

§ 8.3 Сточные воды

В процессе изготовления установки для очистки сточных вод подвергают гидравлическим, механическим, функциональным и электрическим испытаниям. Кроме того, проводят испытания опытных установок на стенде или борту судна для проверки их очистной способности.

Гидравлические испытания предусматривают проверку установок полуторакратным давлением от рабочего давления в установке. При механических испытаниях проверяют комплектующее оборудование, качество сварных швов, механическую прочность монтажа комплектующего оборудования и механическую прочность корпуса установки. Из-за значительных габаритов и массы установок механические испытания всей установки в сборе не проводят. Функциональные испытания включают проверку работоспособности насосов, механизмов замера пропускной способности установки и др., проводят их обычно на чистой воде. При электрических испытаниях проверяют функционирование электрической схемы и изоляцию.

Испытания на очистную способность проводят на стенде для проверки работы установки при максимальном, минимальном и нулевом потоках сточных вод на установку, при различной солености и температуре подаваемых стоков, кроме того, проверяется работоспособность установки при наклонах на 15° в двух взаимно перпендикулярных положениях. Испытания на очистную способность проводят в течение 10 дней после выхода установки на режим, при этом должны быть отобраны 40 проб неочищенных и очищенных сточных вод. Концентрация взвешенных веществ должна быть не менее 500 мг/л, а качество очищенных сточных вод по среднегеометрическим величинам контролируемых показателей не должно превышать норм, регламентированных международными правилами.

При испытаниях на судне также должно быть отобрано не менее 40 проб очищенной воды, но пробы стоков на входе в установку не отбираются.

Для опытных образцов установок проводят ресурсные испытания, во время которых контролируют надежность работы как отдельных узлов, так и всей установки в целом.

В связи со сложностью проведения испытаний установок на судне их выполняют на специальных береговых стендах.

Береговые стенды, на которых проводят испытания судовых установок для обработки судовых сточных вод, должны максимально имитировать судовые условия. Конструкция стенда должна обеспечивать возможность наклона испытываемой установки в двух взаимно перпендикулярных положениях. При работе установок на стенде полностью имитировать судовой режим поступления сточных вод с учетом пиковых (максимальных) и нулевых нагрузок, а также состав судовых сточных вод не представляется возможным.

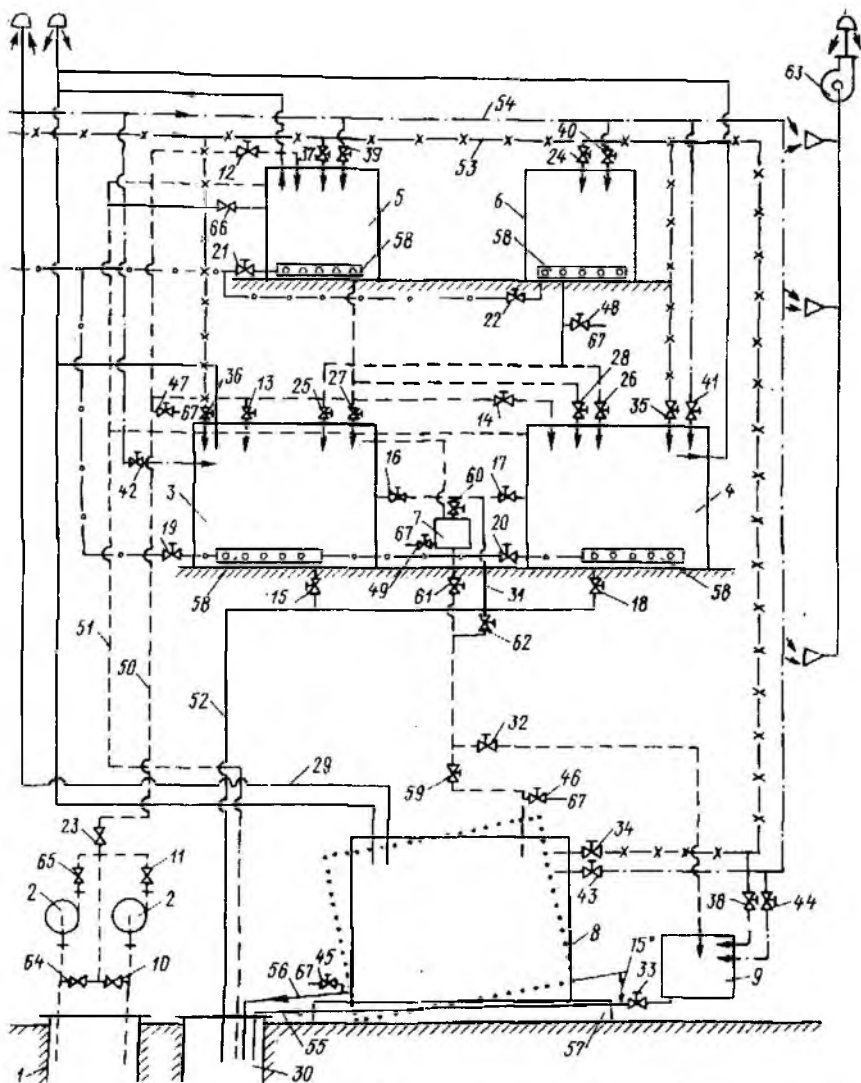


Рис. 8.8. Схема стенда для береговых испытаний судовых установок очистки и обеззараживания сточных вод.

1 — заборный колодец сточных вод; 2 — насосы подачи сточных вод на стенд; 3, 4 — расходные емкости; 5 — шламовая емкость; 6 — емкость для раствора морской соли; 7 — дозирующее устройство для подачи сточных вод на установку; 8 — испытываемая установка; 9 — калибровочная емкость; 10—28, 32—49, 59—62, 64—66 — клапаны; 29 — вентиляция установки; 30 — колодец для сброса сточных вод; 31 — обводная магистраль дозирующего устройства; 50 — магистраль подачи неочищенных стоков на стенд; 51 — переливная магистраль; 52 — трубопроводы осушки емкостей стенда; 53 — трубопровод пресной воды; 54 — паровая магистраль; 55 — слив из калибровочной емкости; 56 — отвод очищенной воды от установки; 57 — качающаяся платформа; 58 — перемешивающие воздухомаслоотделители; 63 — вытяжной вентилятор помещений стенда; 67 — продувочные трубки.

Магистраль: ---- — сточных вод; -x-x- — пресной воды; ···· — пара; -o-o- — сжатого воздуха.

Для испытаний обычно используют бытовые стоки от жилых зданий, для которых некоторые из перечисленных выше условий не соблюдаются из-за более высоких норм водопотребления воды на человека в сутки, смешения бытовых стоков с поверхностными сточными водами, малой солености и практически постоянной температуры. Кроме того, из-за большой протяженности коммуникаций подвода сточных вод к стенду загрязнения в сточных водах претерпевают значительные физико-химические превращения, такие как измельчение и частичное окисление загрязнений. В связи с этим при проведении испытаний на береговых стендах необходимо учитывать все требования, характерные для судовых стоков.

Береговые испытания судовых установок для обработки сточных вод выполняют на стенде, позволяющем проводить испытания в условиях максимально приближенных к реальным. Технологическая схема стенда приведена на рис. 8.8. Стенд включает в себя два насоса для подачи сточных вод из колодца бытовой канализации в расходные емкости и емкость для концентрированных сточных вод (шлама). В этой емкости сточные воды выдерживаются в течение 2–3 ч, и отстоявшаяся вода по трубопроводу, размещенному на середине уровня шламовой емкости, сливается в канализацию. Эту операцию повторяют несколько раз до тех пор, пока шламовая емкость не заполнится концентрированными стоками. Крупнофракционные загрязнения поступают в шламовую емкость из пневмоцистерны. Бумага и другие крупные загрязнения загружаются через люк в верхней части шламовой емкости. Для разбавления содержимого шламовой емкости и ее промывки к ней подведена водопроводная магистраль. Перемешивание шлама осуществляется воздухом.

Раствор морской соли готовят непосредственно в солевой емкости, в которую засыпается расчетное количество морской соли и по водопроводной магистрали подается определенное количество воды: содержимое солевой емкости перемешивается

сжатым воздухом до получения рассола требуемой концентрации.

Из колодца бытовой канализации стоки насосами закачиваются в расходные емкости, откуда подаются на испытываемую установку. Затем из этих емкостей берут пробы, в которых экспресс-методом определяют содержание взвешенных веществ и соленость. При необходимости из шламовой и солевой емкостей в расходные емкости добавляется необходимое количество концентрированных стоков и рассола морской воды. Содержимое цистерны перемешивается сжатым воздухом и подается на испытываемую установку.

На стенде расположены две расходные цистерны для того, чтобы во время работы установки на одной цистерне, другую подготавливали к работе. Объем расходных цистерн позволяет проводить испытания установок с пропускной способностью до $75 \text{ м}^3/\text{сут}$. Во всех емкостях стенда предусмотрен подогрев сточных вод до 60°C и устройства для замера уровня жидкости.

Для пульсирующей подачи сточных вод на испытываемую установку используют специальное дозирующее устройство (рис. 8.9). На входе и выходе из него установлены автоматические клапаны, частота срабатывания

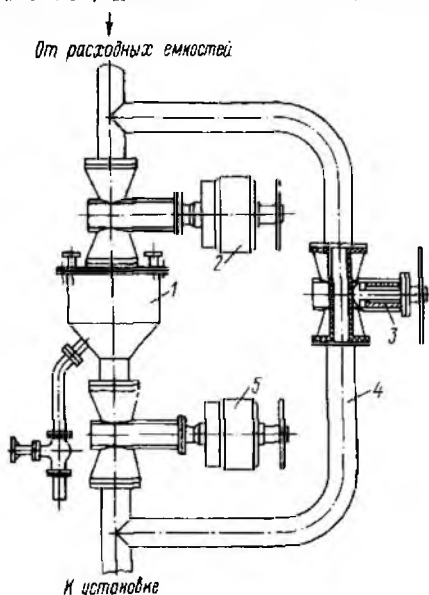


Рис. 8.9. Дозирующее устройство.

- 1 — емкость дозатора; 2 — автоматический клапан заполнения емкости дозатора; 3 — регулировочный клапан для пиковых нагрузок; 4 — магистраль для создания пиковых нагрузок на испытываемую установку; 5 — автоматический клапан опорожнения дозатора.

которых задается от реле времени и может меняться в широких пределах. При открытом верхнем клапане нижний клапан закрыт и дозировочная емкость заполняется стоками. Затем верхний клапан закрывается, открывается нижний клапан и определенная порция сточных вод подается на установку. Изменяя частоту открытия клапанов, можно в широких пределах изменять объемную нагрузку сточных вод на установку.

Для создания пиковых нагрузок и имитации протечек судовых систем служит обводная магистраль подачи сточных вод на установку. Стенд имеет также мерную емкость для определения часовой пропускной способности установки.

Работа стенда полностью автоматизирована и позволяет производить круглосуточные испытания.

Технологические испытания. Для проверки работоспособности как отдельных узлов установки, так и всей установки в целом проводят технологические испытания.

Технологические испытания проводят по программе, максимально учитывающей реальные условия, которые могут возникнуть на судне. Эти испытания включают также определение всех технических параметров установки (пропускной способности установки, потребляемой электрической мощности, времени ввода установки в действие, времени непрерывной работы, расхода реактивов и т. п.); кроме этого, определяется время, необходимое на обслуживание установки, монтаж и демонтаж отдельных узлов, поиска неисправностей, и время, необходимое на их устранение.

При проведении испытаний определяют загрязненность воды на входе и качество очистки сточных вод на выходе из установки, при этом контролируют следующие показатели: содержание коли-бактерий, биохимическое потребление кислорода, содержание взвешенных веществ, минимальную, среднегеометрическую и максимальную концентрации остаточного активного хлора в очищенных сточных водах.

Испытание проводят в соответствии с графиком испытаний, который предусматривает работу установки при различной подаче сточных вод на нее, работу на стоках различной солености и температуры, а также проверку работы установки при наклонах.

Установку испытывают в течение 10 сут на номинальном потоке равном 600 л/ч, с тремя пиковыми нагрузками, составляющими 300% номинальной. Продолжительность каждой пиковой нагрузки 1 ч. Каждые сутки в течение 4 ч подача сточных вод на установку не производилась. Суммарная подача сточных вод за каждые сутки составляла не менее 15 м³.

Время подачи на установку пиковой нагрузки было различным каждые сутки. Соленость сточных вод также изменялась каждые сутки от 35 г/л до 0 и от 0 до 35 г/л. В течение первых 4 сут установка работала с наклоном 15° в двух плоскостях. Длительность работы установки в наклонном положении была не менее 4 ч. Время наклонов установки выбиралось так, чтобы при работе установки в наклонном положении осуществлялся отбор проб очищенных стоков. Работа установки с подогревом очищаемых сточных вод проводилась с 3 до 6 сут, температура сточных вод при этом была 28, 35 и 58°С соответственно.

Отбор проб проводился четыре раза в сутки. Время отбора неочищенных и очищенных сточных вод выбиралось с учетом времени пребывания сточных вод в установке. Анализы проб проводились сразу же после их отбора.

Глава 9

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЫБОРА ОЧИСТИТЕЛЯ

§ 9.1. Техничко-экономическая оценка выбора оборудования и схем очистки пресной бытовой воды

Задача поиска оптимальной по экономическому показателю схемы водоподготовки сводится к следующему: требуется подобрать такую принципиальную схему, которая обеспечивала бы получение доброкачественной воды в достаточном количестве при минимальных приведенных (к единице объема воды) затратах. Иными словами, требуется выбрать схему, обеспечивающую минимальную удельную себестоимость водоподготовки.

В качестве критерия выбора используется показатель „минимум приведенных затрат”.

В общем виде приведенные годовые затраты (руб.) по каждому рассматриваемому варианту схемы водоподготовки можно определить по формуле

$$Z_{\text{пр}} = \frac{KE_{\text{и}} + C_{\text{эк}} + C_{\text{гр}}}{Q_{\text{г}}},$$

где K — капитальные затраты (строительная стоимость оборудования, входящего в схему), руб.; $E_{\text{и}}$ — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; $C_{\text{эк}}$ — годовые эксплуатационные расходы, руб.; $C_{\text{гр}}$ — стоимостное выражение потерь грузопровозимости судна, т. е. затраты на недогруз, руб./т; $Q_{\text{г}}$ — годовой объем приготавливаемой воды.

Строительная стоимость оборудования определяется по формуле

$$K = \sum_{i=1}^n C_{0i} (1 + K_{\text{тр}} + \mu_0),$$

где C_0 — первоначальная стоимость (оптовая цена) каждого вида оборудования, входящего в схему, руб.; $K_{\text{тр}}$ — коэффициент, учитывающий транспортные расходы; n — количество элементов схемы; μ_0 — коэффициент, учитывающий затраты предприятия-строителя судна на монтаж оборудования, извартовые, ходовые и спаточные испытания (μ_0 принимают в пределах 0,34–0,20 в зависимости от водоизмещения судна; большие значения μ_0 относятся к меньшему водоизмещению).

Годовые эксплуатационные затраты $C_{\text{эк}}$ определяют с учетом расходов на электроэнергию, пар, содержание обслуживающего персонала, амортизационные отчисления, материалы, ремонт оборудования, входящего в схему,

$$C_{\text{эк}} = \sum_{i=1}^n C_{\text{э}i} + C_{\text{перс}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{м}} + C_{\text{рем}} + C_{\text{п}}.$$

где C_1 – расходы на электроэнергию, $C_2 = N T_1 C_3$; N – мощность, потребляемая оборудованием, кВт; T_1 – время работы оборудования в году, ч; C_3 – стоимость 1 кВт·ч, руб.; n – количество элементов в схеме.

Учитывая условия производства электроэнергии и расходование для этого дорогостоящего топлива, стоимость ее на судах более высокая по сравнению с берегом и составляет 6–11 коп. за 1 кВт·ч (меньшие значения – для рыбопромысловых, большие – для морских транспортных судов).

Затраты на содержание обслуживающего персонала $C_{перс} = C'_{перс} T_c$, где $C'_{перс}$ – расходы на содержание одного члена экипажа, руб./сут; они складываются из заработной платы, начислений на заработную плату, затрат на рацион бесплатного питания, затрат на выплату иностранной валюты; $C_{перс}$ зависит от района плавания, типа судна и его водоизмещения: для экономических расчетов можно принять среднюю величину $C_{перс} = 19$ руб./сут; T_c – время эксплуатации системы, соответствует среднегодовому эксплуатационному периоду судна, $T_c = 277 \pm 346$ сут в зависимости от типа и назначения судна (большие значения T_c – для сухогрузов, контейнеров и танкеров, меньшие – для грузопассажирских судов и транспортных рефрижераторов); z – число членов экипажа, обслуживающих оборудование непрерывно в течение эксплуатационного периода.

Расходы на амортизационные отчисления $C_{ам}$ складываются из отчислений на полное восстановление (реновацию) оборудования по истечении срока службы и отчислений на капитальный ремонт и модернизацию в течение срока службы судна. Действующие нормы амортизационных отчислений по морским судам дифференцируются по четырем признакам: назначению судна, типу главных двигателей, типу передачи мощности от главного двигателя к движителю и району плавания и выражаются как часть строительной стоимости K оборудования, т. е. $C_{ам} = a_{ам} K$, где $a_{ам}$ – коэффициент амортизационных отчислений, $a_{ам} = 0,057 \div 0,079$ (большие значения $a_{ам}$ – для танкеров, меньшие – для грузопассажирских и пассажирских судов; для

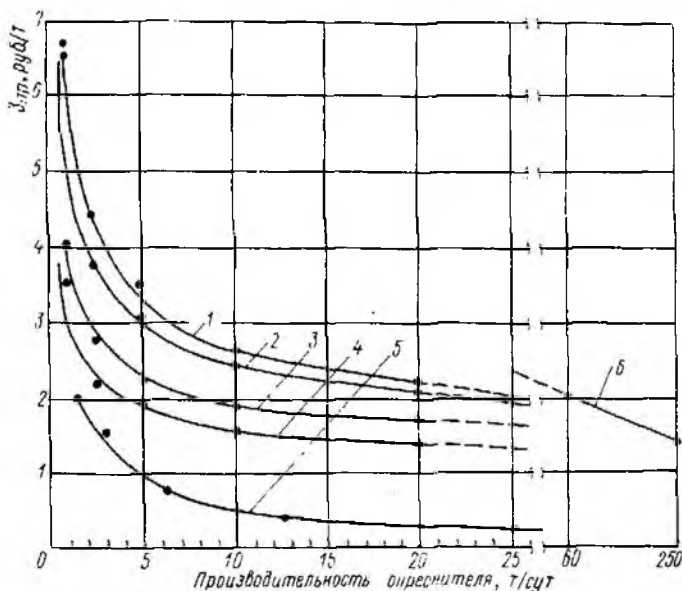


Рис. 9.1. Приведенные затраты на опреснение воды.

- 1, 2 – электродиализный аппарат прямоточный и циркуляционный;
3, 4 – обратноосмотический аппарат плоскорамный и рулонный;
5 – утилизационные опреснители (тип Д); 6 – адиабатные опреснители (тип М).

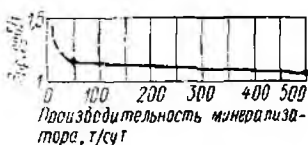
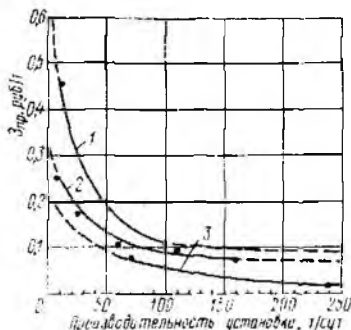


Рис. 9.2. Приведенные затраты на минерализацию дистиллята.

Рис. 9.3. Приведенные затраты на обеззараживание воды.

1 — озонирование; 2 — хлорирование; 3 — ультрафиолетовое облучение.



судов с электродвижением значение $a_{ам}$ умножается на 1,08, для судов, плавающих в северных морях, — на 1,15).

Расходы на материалы C_M включают затраты на приобретение эксплуатационных расходных материалов (минерализующих солей, хлорной извести, прокладочного материала, набивки для арматуры и т. д.), определяются как часть строительной стоимости: $C_M = a_M K$, где $a_M = 0,005$ при эксплуатации судов в южных бассейнах и $a_M = 0,006$ при эксплуатации в северных бассейнах.

Стоимость минерализующих солей по принятому в СССР способу минерализации составляет 1,1 руб./т воды.

Расходы на текущий ремонт $C_{рем}$ включают затраты на профилактические и ремонтные работы, финансируемые за счет эксплуатационных расходов, независимо от того, выполняются ли эти работы судостроительными заводами или непосредственно судовым экипажем; величина $C_{рем}$ зависит от многих факторов (типа и назначения судна, условий эксплуатации и др.) и определяется как часть строительной стоимости K : $C_{рем} = a_{рем} K$, где $a_{рем} = 0,01 \div 0,006$ (большие значения для дальневосточного и северного бассейнов, меньшие для южных).

Расходы на получение пара в судовых условиях $C_p = C_{гт}^n C_{гт}$, где $g_t^n = 0,075 \div 0,3$ кг/кг — удельный расход топлива для выработки пара; $C_{гт}$ — оптовая цена на топливо, руб./т; $C_{гт}$ — годовой расход пара, кг.

В зависимости от выбранной схемы водоподготовки изменяются масса оборудования водоподготовки и запасы возимой пресной воды, что соответственно уменьшает полезную грузоподъемность судна и приносит убытки судовладельцу: $C_{гр} = M_{гр} C'_{гр}$, где $M_{гр}$ — суммарная масса перевозимого за год груза в виде оборудования водоподготовки, трубопроводов и запасов воды, т; $C'_{гр}$ — себестоимость перевозки 1 т груза (зависит от дальности перевозки и типа судна).

Могут варьироваться не только схемы и состав оборудования, но также и параметры его работы. Это в свою очередь влияет на величины K , $C_{эк}$, $C_{гр}$ и в целом на значение $З_{пр}$.

Приведем пример расчета по критерию „минимум приведенных затрат“ при выборе схемы очистки бытовой пресной воды.

Расчет состоит из двух частей. В первой части определяем приведенные затраты на реализацию отдельных технологических операций, входящих в схему водоподготовки, в том числе на опреснение, минерализацию, консервацию, осветление, обеззараживание и дезодорацию. Графики (рис. 9.1–9.6), построенные на основании этих расчетов, позволяют ориентировочно

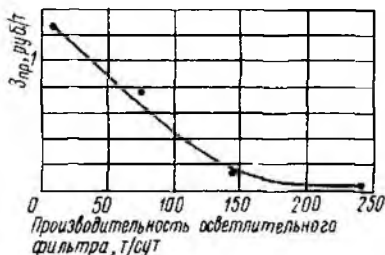


Рис. 9.4. Приведенные затраты на осветление воды.

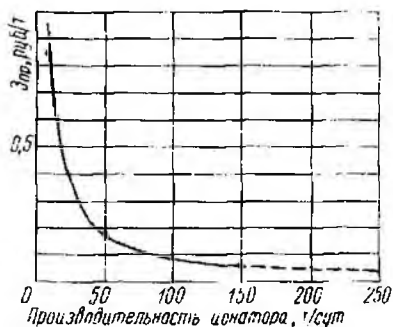


Рис. 9.5. Приведенные затраты на консервацию воды.

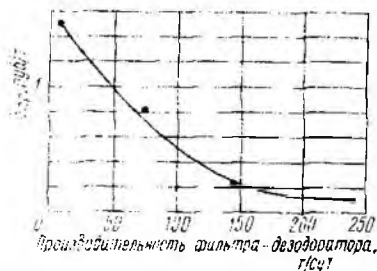


Рис. 9.6. Приведенные затраты на деаэрацию воды.

оценить затраты на обработку 1 м³ воды в зависимости от вида оборудования и его производительности.

Вторая часть — сравнительный расчет суммарных приведенных затрат для трех конкурирующих вариантов схем водоподготовки:

1) в качестве источника водоснабжения используется забортная морская вода: схема водоподготовки включает опреснение, минерализацию, обеззараживание и деаэрацию;

2) в качестве источника водоснабжения используется запас пресной воды на всю автономность плавания: схема водоподготовки предусматривает только консервацию воды;

3) в качестве источника водоснабжения используется забортная пресная вода (речная): схема водоподготовки включает осветление, обеззараживание и деаэрацию.

Для расчета взяты следующие исходные данные. Автономность плавания судна 10 сут; опреснение осуществляется в опреснителях типа Л; обеззараживание ведут методом ультрафиолетового облучения; в схемах с минерализацией дистиллята используют две цистерны объемом, равным суточному водопотреблению (каждая); масса оборудования, входящего в схему водоподготовки при оценке затрат на недогруз судна, определяется по табл. 9.1; удельная стоимость перевозимого судном груза составляет 10 руб./т.

Варианты расчета суммарных приведенных затрат для суточного потребления воды 1, 5, 25 и 125 т/сут представлены в табл. 9.2.

Из данных табл. 9.2 следует:

— приготовление пресной воды из забортной непосредственно на судне более предпочтительно по сравнению с перевозкой запаса воды в расчете на всю автономность плавания, так как обеспечивает во всем диапазоне производительности установки минимум приведенных затрат;

— значительную долю в суммарных приведенных затратах по схеме в целом составляют затраты на недогруз судна вследствие необходимости размещения на борту оборудования водоподготовки, цистерн и трубопроводов.

§ 9.2. Обоснование выбора метода очистки нефтесодержащих вод

На экономическую эффективность сепараторов трюмных и балластных вод влияют такие факторы, как степень очистки нефтесодержащих вод, первоначальная стоимость, эксплуатационные расходы. Применение установок с очистной способностью менее 15 млн. л/сут дает более широкие возможности по сливу очищенной воды в различных участках мирового океана и территориальных водах, следовательно, снижает требования по объему судовых емкостей для сбора нефтесодержащих вод. Кроме того, позволяет использовать значительно более дешевую систему автоматического контроля за степенью очистки.

Масса оборудования, входящего в типовые

Технологическая операция	Оборудование	Масса оборудования, кг, в зави			
		до 1	до 3	до 6	до 10
Опреснение	Опреснительные установки типа Д. (утилизационные)	0,5	0,7	0,9	1,6
	Опреснители типа М (адиабатные)	—	—	—	—
	Электродиализные установки	0,3	0,5	0,8	1,3
	Обратноосмотические установки	0,5	0,8	1,3	2,2
Минерализация	Минерализаторы дистиллята	0,015	0,015	0,015	0,015
Дезодорация	Фильтры-дезодораторы	0,026	0,026	0,026	0,026
Осветление	Осветлительные фильтры	0,075	0,075	0,075	0,075
Обеззараживание	Хлораторы	0,015	0,015	0,015	0,015
Консервация	Бактерицидные УФ-установки	0,15	0,15	0,15	0,15
	Озонаторы	0,58	0,58	1,25	1,25
	Ионаторы серебра	0,2	0,2	0,2	0,2

технологические схемы обработки пресной воды

симости от производительности, т/сут			
до 25	до 50	до 250	свыше 250
2,3	—	—	—
—	10	28	—
2	—	—	—
3,7	—	—	—
0,015	0,015	0,015	0,064
0,13	0,25	0,72	1,4
0,15 0,051	0,35 0,051	0,82 0,051	1,6 0,051
0,15	0,15	0,5	0,5
—	—	—	—
0,2	0,2	0,22	0,22

Таблица 9.2

для различных схем обработки воды

Суммарные приведенные затраты					
Вариант	Источник водоснабжения	Технологические операции, входящие в схему	Автономность, сут, не более	Суточное водопотребление, т/сут	Опреснение
1	Забортная морская вода	Опреснение, минерализация, обеззараживание, дезодорация	10	1	2
				5	1
				25	0,25
				125	1,8
2	Запас пресной воды на всю автономность	Консервация	10	1	—
				5	—
				25	—
				125	—
3	Забортная пресная вода	Осветление, обеззараживание, дезодорация	10	1	—
				5	—
				25	—
				125	—

Приведенные затраты, руб./т						Суммарные приведенные затраты, руб./т
Минерализация	Обеззараживание	Осветление	Дезодорация	Консервация	Недогруз судна	
1,3	0,25	—	1,6	—	2,7	7,85
1,2	0,20	—	1,4	—	2,2	6
1,15	0,12	—	1,2	—	2,09	4,81
1,15	0,05	—	0,22	—	2,22	3,22
—	—	—	—	1,4	10,5	11,9
—	—	—	—	1,15	10,15	11,3
—	—	—	—	0,35	10,05	10,4
—	—	—	—	0,05	10	10,05
—	0,25	1,2	1,6	—	1,25	4,3
—	0,2	1,1	1,4	—	0,54	3,24
—	0,12	1,05	1,2	—	0,52	2,89
—	0,05	0,4	0,22	—	0,51	1,18

Однако для достижения очистной способности менее 15 млн.^{-1} необходимо усложнить конструкцию установки, что вызывает дополнительные затраты. Это также приводит к необходимости использования фильтрующих загрузок или коалесцирующих элементов с ограниченным сроком службы. Их регенерация или замена вызывает последующие затраты, связанные с восстановлением работоспособности сепарационных установок.

К эксплуатационным затратам следует также отнести затраты на пар, сжатый воздух и электроэнергию, которые необходимы в той или иной мере для различных сепарационных установок. Положительным в работе сепараторов трюмных и балластных вод является восстановление части нефтепродуктов для их последующего использования на судне, экономия средств, связанная с заказом нефтесборщиков для сдачи необработанных нефтесодержащих вод, и, конечно, защита морской среды от загрязнения ее нефтью и нефтепродуктами.

Загрязнение моря вызывает полную или частичную потерю его естественных ресурсов, кроме того, увеличивает трудовые и материальные затраты, необходимые для восстановления качества воды до норм, требующихся для ее использования в культурно-оздоровительных, спортивных и других целях, ухудшает социально-гигиенические условия использования моря и его побережья. Но характеру проявления ущерб может быть видимым (в случае гибели рыбы и т. п.) и скрытым (может проявиться через несколько лет после загрязнения водного объекта в виде снижения биологической продуктивности водоема).

Подсчет затрат на восстановление качества морской воды производится исходя из объема воды, загрязненного в результате сброса вредных веществ, и удельных приведенных затрат на восстановление ее качества.

Величину ущерба определяют по формуле $У = P_3 Z$, где P_3 — количество сброшенных загрязнений, т; Z — удельная величина ущерба, равная приведенным затратам на восстановление качества воды, руб/т.

При принятии мер по ликвидации последствий загрязнения величина расчетного ущерба снижается в зависимости от объема собранных загрязняющих веществ и времени ликвидации загрязнения. Уменьшение размера ущерба дано в табл. 9.3 в процентах от рассчитанной полной величины ущерба, который был бы нанесен, если бы не было ликвидировано загрязнение. Время ликвидации загрязнения рассчитывается как разница между временем, прошедшим с начала сброса, и временем окончания сбора загрязняющих веществ.

При подсчете ущерба от загрязнений нефтью количество сброшенной нефти может быть определено:

- по записям в журнале нефтяных операций;
- по показаниям измерительных приборов, используемых при производстве погрузочно-разгрузочных операций;
- по результатам непосредственных замеров в соответствующих емкостях судна;
- по результатам определения количества нефти на единице площади и визуальное или инструментально определенной площади разлива;
- по количеству нефти, собранной нефтемусоросборщиком, или другими средствами при ликвидации разлива.

Таблица 9.3

Снижение размера ущерба в случаях принятия мер по ликвидации загрязнения в зависимости от времени проведения этих работ

Количество собранного загрязнения, % от сброшенного вещества	Снижение ущерба, %, в зависимости от времени t , ч			
	до 6	до 12	до 24	до 36
100	60	40	25	20
75	40	30	20	15
50	30	20	15	10
25	20	15	10	5

При выборе метода измерения количества сброшенной нефти более предпочтительны инструментальные методы и прежде всего метод взвешивания нефти, отобранной с известной площади. Если определение количества сброшенной нефти произведено несколькими способами, дающими разные результаты, в расчет включают среднюю арифметическую величину.

В случае разлива нефти при погрузочно-разгрузочных работах, когда количество сброшенных и собранных объемов нефти фиксируется измерительными приборами, масса нефти, загрязнившей акваторию, устанавливается по разности показаний измерительных приборов и фактического наличия продукта в соответствующих емкостях судна.

В случае разлива нефти из танка при его неисправности, когда количество находившегося в нем груза известно, величина разлива устанавливается как разность между известным до разлива количеством нефти и количеством нефти, оставшейся в танке.

Определение количества разлитой нефти по толщине пленки и размеру пятна производится по формуле $P_n = P_{пл} \cdot S_n \cdot 10^{-3}$, где P_n — количество нефти, т; $P_{пл}$ — количество нефти на 1 м² площади разлива, кг/м²; S_n — площадь пятна разлива, м².

Количество нефти на 1 м² может быть определено тремя способами:

1) отбирается проба поверхностной пленки и весовым методом определяется масса нефти на известной площади пробоотборника, затем вычисляется количество нефти на 1 м²;

2) количество нефти на 1 м² устанавливается на основе визуально определяемого внешнего вида пленки:

Внешние признаки нефтяной пленки	Количество нефти на 1 м ² водной поверхности, кг
Чистая водная поверхность без признаков опалесценции (отсутствие признаков цветности при различных условиях освещенности)	0,044 · 10 ⁻³
Отсутствие пленки и пятен, отдельные радужные полосы, наблюдаемые при наиболее благоприятных условиях освещения и спокойном состоянии водной поверхности	0,088 · 10 ⁻³
Отдельные пятна и серые пленки серебристого налета на поверхности воды, наблюдаемые при спокойном состоянии водной поверхности, появление первых признаков цветности	0,176 · 10 ⁻³
Пятна и пленки с яркими цветными полосами, наблюдаемые при слабом волнении	0,351 · 10 ⁻³
Нефть в виде пятен и пленки, покрывающая значительные участки поверхности воды, неразрывающаяся при волнении, с переходом цветности к тусклой мутно-коричневой.	1,168 · 10 ⁻³
Поверхность воды покрыта сплошным слоем нефти, хорошо видимой при волнении, цветность темная, темно-коричневая.	2,337 · 10 ⁻³

3) количество нефти на 1 м² в зависимости от времени нахождения нефти на водной поверхности (время с момента разлива) может быть определено по следующим данным:

Время нахождения нефти в воде, ч	Количество нефти на 1 м ² водной поверхности, кг
1/3	0,40
1	0,20
2	0,12
3 и более	0,08

Площадь пятна разлива может быть определена либо визуально, либо по плановым аэрофотоснимкам морской поверхности с изображением пятна разлива.

По количеству нефти, определенному в соответствии с указанными выше способами, находят величину ущерба:

Количество сброшенной нефти, кг	Ущерб, тыс. руб.	Количество сброшенной нефти, кг	Ущерб, тыс. руб.
1.	2	60	17
2.	3,4	70	18
3.	4	80	19
4.	4,4	90	20
5.	4,8	100	22
6.	5,2	150	25
7.	5,5	200	30
8.	5,8	250	35
9.	6	300	38
10.	6,3	350	40
15.	7,5	400	45
20.	9	450	50
25.	9,5	500	55
30.	12	600	60
35.	14	700	65
40.	14,2	800	65
45.	14,5	900	70
50.	15	1000	75

§ 9.3. Технико-экономическая оценка выбора установок очистки сточных вод

Ущерб от загрязнения моря сточными водами определяется количеством сбрасываемых с судов сточных вод и степенью их загрязненности.

Расчетный объем накопленных хозяйственно-фекальных сточных вод определяют по формуле $Q_{\text{ф}}^{\text{расч}} = qnt \cdot 10^{-3}$, где $Q_{\text{ф}}^{\text{расч}}$ — расчетный объем накопленных фекальных стоков за время непрерывного нахождения судна во внутренних или территориальных водах, м³; q — количество сточных вод на одного человека в сутки, л/ (сут. чел); n — численность экипажа, чел.; t — число суток, прошедшее со дня последнего опорожнения накопительной емкости.

Количество сброшенных хозяйственно-фекальных стоков $Q_{\text{ф}}^{\text{сбр}} = K_{\text{БПК}} Q_{\text{ф}}^{\text{расч}} \cdot 10^{-6}$, где $K_{\text{БПК}}$ — концентрация органических загрязнений в хозяйственно-фекальных стоках, выраженная в БПК, $K_{\text{БПК}} = 350$ мг/л; $Q_{\text{ф}}^{\text{расч}}$ — расчетный объем хозяйственно-фекальных стоков, м³.

Количество органических загрязнений в сброшенных хозяйственно-фекальных стоках $P_{\text{БПК}}^{\text{сбр}} = K_{\text{БПК}} Q_{\text{ф}}^{\text{сбр}} \cdot 10^{-6}$.

Количество взвешенных веществ в сброшенных фекальных стоках $P_{\text{взв}}^{\text{сбр}} = K_{\text{взв}} Q_{\text{ф}}^{\text{сбр}} \cdot 10^{-6}$, где $K_{\text{взв}}$ — концентрация взвеси в фекальных стоках, $K_{\text{взв}} = 350$ мг/л.

Величина ущерба от загрязнения фекальными стоками $Y_{\phi} = Y_{\text{БПК}} + Y_{\text{взв}}$, где $Y_{\text{БПК}}$ – ущерб от сброса органических загрязнений, содержащихся в сброшенных фекальных стоках, $Y_{\text{БПК}} = Z_{\text{БПК}} P_{\text{БПК}}^{\text{сбр}}$; $Z_{\text{БПК}}$ – удельная величина ущерба от загрязнения органическими веществами, содержащимися в фекальных стоках, тыс. руб./т БПК, $Z_{\text{БПК}} = 280$ тыс. руб./т БПК; $P_{\text{БПК}}^{\text{сбр}}$ – количество органических загрязнений в сброшенных фекальных стоках, т; $Y_{\text{взв}}$ – ущерб от сброса взвеси, содержащейся в сброшенных фекальных стоках, $Y_{\text{взв}} = Z_{\text{взв}} P_{\text{взв}}^{\text{сбр}}$; $Z_{\text{взв}}$ – удельная величина ущерба от загрязнения взвешенными веществами, тыс. руб./т взвеси, $Z_{\text{взв}} = 200$ тыс. руб./т взвеси.

Пример. Обследование судна показало, что 30 июля в накопительной емкости имеется 25 м^3 фекальных сточных вод. По записям судового журнала сдача фекальных стоков была произведена 30 июля. За прошедшие 30 сут при численности команды 50 чел., должно было накопиться стоков $Q_{\text{ф}}^{\text{расч}} = 30 \cdot 100 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 150 \text{ м}^3$. Следовательно, за 30 сут было сброшено $150 - 25 = 125 \text{ м}^3$.

Количество органических загрязнений в сброшенных стоках $P_{\text{БПК}}^{\text{сбр}} = 350 \text{ мг/л} \cdot 125 \text{ м}^3 \cdot 10^{-6} = 0,0437 \text{ т}$.

Количество взвешенных веществ в сброшенных стоках $P_{\text{взв}}^{\text{сбр}} = 350 \text{ мг/л} \cdot 125 \text{ м}^3 \cdot 10^{-6} = 0,0437 \text{ т}$.

Ущерб от сброса фекальных стоков $Y_{\phi} = 280 \text{ тыс. руб./т} \cdot 0,0437 \text{ т} + 200 \text{ тыс. руб./т} \cdot 0,0437 \text{ т} = 20,976 \text{ тыс. руб.}$

Эффективность природоохранного мероприятия зависит от ряда факторов, обусловленных организационно-техническими решениями, и должна сочетаться с экономическим оптимумом требующихся при этом затрат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алекин О. А. Основы гидрохимии. Л., Гидрометеиздат, 1970.
2. Александров А. Т. Выбор схем очистки для судовых топливных, масляных и гидравлических систем. — Судостроение, 1982, № 5, с. 28–30.
3. Александров А. Т., Иванов И. А. Выбор средств очистки для систем судовой энергетической установки. — Судостроение, 1981, № 5, с. 24–27.
4. Барац В. А., Николаев М. В., Эльпинер Л. И. Водоснабжение судов речного флота. М., Транспорт, 1974.
5. Белая Ф. И. Водоподготовка. Расчеты, примеры, задачи. М., Энергия, 1980.
6. Большаков В. Ф. Восстановление и контроль качества нефтепродуктов. Л., Недра, 1974.
7. Большаков В. Ф., Гинзбург Л. Г. Подготовка топлив и масел в судовых дизельных установках. Л., Судостроение, 1978.
8. Бродянский В. М. Эксергетический метод термодинамического анализа. М., Энергия, 1973.
9. Брусельницкий Ю. М. Судовые устройства очистки трюмно-балластных вод от нефтепродуктов. Л., Судостроение, 1966.
10. Веселов Ю. С., Акатьева Н. Н. Опыт создания судового оборудования кондиционирования воды. — Судостроение, 1983, № 7, с. 16–18.
11. Веселов Ю. С., Галиков А. И., Островский В. А. Новое оборудование для осветления воды в судовых системах водоснабжения. — Судостроение, 1981, № 4, с. 17–19.
12. Водоснабжение морских судов промыслового флота/Эльпинер Л. И., Шафиров Ю. Б., Прасолов Д. Д., Лысенко А. В. М., Пищевая промышленность, 1977.
13. Вольский А. К. Методы водоподготовки на морских судах. М., Морской транспорт, 1956.
14. Грановский М. Г., Лавров И. С., Смирнов О. В. Электрообработка жидкостей. Л., Химия, 1976.
15. Григорьев М. А. Очистка масла и топлива в автотракторных двигателях. М., Машиностроение, 1970.
16. Гулин Е. П., Сомов В. А., Чечот И. М. Справочник по горюче-смазочным материалам в судовой технике. Л., Судостроение, 1981.
17. Гурвич С. М., Костричкин Ю. М. Оператор водоподготовки. М., Энергоиздат, 1981.
18. Жужиков В. А. Фильтрация. М., Химия, 1980.
19. Зенин Г. С. Установка для обработки сточных и хозяйственно-бытовых вод ЭОС-15. — Сб. трудов НТО им. акад. А. Н. Крылова. Л., 1981, вып. 356, с. 36–45.
20. Иванов И. А. Исследование очистки различных сортов тяжелого топлива. — Труды ЦНИИМФ „Техническая эксплуатация морского флота“. Л., Транспорт, 1971, вып. 144, с. 12–20.
21. Иванов И. А. Технологический расчет топливных сепараторов. — Труды ЦНИИМФ „Техническая эксплуатация морского флота“. Л., Транспорт, 1972, вып. 161, с. 11–20.
22. Исследование пищеварительного аппарата человека/Уголев А. М., Иезуитова Н. И., Масевич И. И., Надилова Т. Я., Тимофеева И. М. Л., Наука, 1969.

23. Кожиков В. Ф. Очистка питьевой и технической воды. М., Стройиздат, 1971.
24. Корчемский Я. С., Рывлиниа М. Э. Приготовление питьевой воды из опресненной морской на малых и средних рыбопромысловых судах. В кн.: VII Международный симпозиум по морской медицине. М., НИИГВТ Минздрава СССР, 1976, с. 74.
25. Кузьмин Ю. М. Сетчатые установки систем водоснабжения. Л., Стройиздат, 1976.
26. Кульский Л. А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды. Киев, Наукова думка, 1980.
27. Лавров И. С., Смирнов О. В., Веселов Ю. С. Некоторые результаты изучения коллоидно-химических характеристик длительно хранящейся воды. — Журнал прикладной химии АН СССР, 1976, №4, с. 771—776.
28. Лейте В. Определение органических загрязнений питьевых, природных и сточных вод. М., Химия, 1975.
29. Лифшиц О. В. Справочник по водоподготовке котельных установок. М., Энергия, 1976.
30. Лукин Г. Я., Колесник Н. Н. Опреснительные установки промышленного флота. М., Пищевая промышленность, 1970.
31. Лурье Ю. Ю. Унифицированные методы анализа сточных вод. М., Химия, 1971.
32. Маслов В. В. Судовые системы малооборотных двигателей. Л., Судостроение, 1968.
33. Михайлова Н. Д. Пособие по копрологическим исследованиям. Л., Медгиз, 1962.
34. Нефтепродукты. М., Изд-во стандартов, 1977.
35. Никифоров О. А. Повышение эффективности масляных систем быстроходных судовых дизелей. Л., Судостроение, 1970.
36. Нунупаров С. М. Предотвращение загрязнения моря судами. М., Транспорт, 1979.
37. Очистка воды электрокоагуляцией/Кульский Л. А., Строкач П. П., Слипченко В. А., Сайгак Е. И. Киев, Будивельник, 1978.
38. Правила по предотвращению загрязнения с судов (конструкция и оборудование). Л., Транспорт, 1980.
39. Проскуряков В. А., Шмидт Л. И. Очистка сточных вод в химической промышленности. Л., Химия, 1977.
40. Регистр СССР. Руководство по техническому надзору за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий. (5.18. Оборудование по предотвращению загрязнения с судов). Л., Транспорт, 1980.
41. Рекомендации по проектированию и эксплуатации установок по фильтрационной стабилизации дистиллята, получаемого на испарителях морской воды. М., ВНИИВодгео, 1978.
42. Романов В. А. Обработка воды с помощью монообменных фильтров. Л., ЛКИ, 1979.
43. Руководство по работе теплотехнических лабораторий пароходств МРФ. Л., Транспорт, 1978.
44. Рыбаков К. В. Фильтрация авиационных топлив. М., Транспорт, 1973.
45. Санитарные правила для судов внутреннего плавания СССР. М., Транспорт, 1979.
46. Санитарные правила для морских судов промышленного флота СССР. М., Минздрав СССР, 1980.
47. Соколов В. И. Современные промышленные центрифуги. М., Машиностроение, 1967.
48. Сомкин В. М. Результаты рейсового испытания сепаратора трюмных вод „Аквариум”. — Материалы по обмену опытом НТО им. акад. А. Н. Крылова. Серия „Вопросы предотвращения загрязнения моря и атмосферы с судов”, вып. 356. Л., Судостроение, 1981, с. 19—28.
49. Сомкин В. М. Современные судовые средства предотвращения загрязнения моря нефтепродуктами и опыт их эксплуатации. — Экспресс-информация. Серия „Техническая эксплуатация флота”, № 21 (443). М., ЦБНТИ ММФ, 1977, с. 10—27.

50. Сомов В. А. Смазка судовых дизелей. Л., Судостроение, 1968.
51. Справочник по свойствам, методам анализа и очистки воды/Под ред. Л. А. Кульского. Т. 1 и 2. Киев, Наукова думка, 1980.
52. Справочник судового механика/Под ред. Л. Л. Грицай. М., Транспорт, 1974.
53. Строительные нормы и правила П-32-74. М., Стройиздат, 1975.
54. Таубе П. Р., Баранова А. Г. Практикум по химии воды. М., Высшая школа, 1971.
55. Унифицированные методы анализа вод СССР. Л., Гидрометеониздат, 1978.
56. Физиология человека/Бабский Е. Б., Зубков А. А., Косицкий Г. Н., Ходоров Б. И. М., Медицина, 1966.
57. Фробишер М. Основы микробиологии. М., Мир, 1965.
58. Хори Р. Морская химия. М., Мир, 1971.
59. Цюрупа Н. Н. Распределение диспергированной фазы по размерам частиц. — Коллоидный журнал, т. XXVI, 1964, с. 117-125.
60. Чертков Я. В., Рыбаков К. В., Зрелов Б. Н. Загрязнения и методы очистки нефтяных топлив. М., Химия, 1970.
61. Чижев С. В., Синяк Ю. Е. Проблемы космической биологии. Водобеспечение экипажей космических кораблей. М., Наука, 1973.
62. Шкроб М. С., Прохоров Ф. Г. Водоподготовка и водный режим паротурбинных электростанций. М.—Л., Госэнергоиздат, 1961.
63. Эмульсии нефти с водой и методы ее разрушения/Левченко Ц. Н., Бергштейн Н. В., Худякова А. Д., Николаева Н. М. М., Химия, 1967.
64. Яковлев С. В., Кириухин Т. А. Биохимические процессы в очистке сточных вод. М., Стройиздат, 1980.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Адсорбция 157
- Анализ нефтесодержащих вод 31
- Аниониты 162
- Водородный показатель 16, 185
- Выбор очистителей 208
- Выпаривание 157
- Вязкость нефтепродуктов 4, 13, 17
- Гидроциклоны 125
- Гомогенизация 158
- Деаэратор 164
- Дизельное топливо 50
- Ионаторы серебра 172, 216
- Испытания 242, 248, 252
- Источники загрязнения 37
- Катиониты 161
- Коагуляция 156
- Коалесценция 137, 138
- Коли-индекс 13, 14, 27, 33
- Метод очистки 153, 160, 169, 211
- Механические примеси 5
- Минерализаторы дистиллята 174, 182, 217
- Натрий-катионитная загрузка 161
- Обескислороживание воды 162
- Обессоливание воды 162
- Озонаторные агрегаты 177
- Окисление 186
- Отстаивание 119
- Очиститель воды 125, 133
- Показатели качества воды 11, 20, 61
- Приведенные затраты 257
- Производительность сепаратора 108, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118
- Силовые очистители 106
- Срок службы фильтра 78
- Схемы систем очистки 187, 202, 214
- Технико-экономические показатели 256, 264
- Турбулизация 157
- Установки для ультрафиолетового облучения 178
- Установки фильтрационные 101
- Фильтры 67, 119, 125, 161
- Фильтрующие материалы 69, 71
- Химические очистители 160
- Хлораторы 175, 176
- Центробежные:
 - очистители 106
 - сепаратор 107
- Частицы 7, 47
- Электроды 127, 131

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. Общие сведения о жидкостях, используемых на судах	4
§ 1.1. Нефтепродукты	4
§ 1.2. Вода парозенергетической установки	6
§ 1.3. Охлаждающая и пресная бытовая вода	10
§ 1.4. Нефтесодержащие воды	12
§ 1.5. Сточная и хозяйственно-бытовая вода	13
Глава 2. Методы анализа качества жидкостей	17
§ 2.1. Нефтепродукты	17
§ 2.2. Вода парозенергетической установки	20
§ 2.3. Охлаждающая и пресная бытовая вода	27
§ 2.4. Нефтесодержащие воды	31
§ 2.5. Сточная и хозяйственно-бытовая вода	33
Глава 3. Загрязнение жидкостей. Показатели качества очищенных жидкостей	37
§ 3.1. Источники загрязнения	37
§ 3.2. Состав загрязнений	43
§ 3.3. Загрязненность жидкостей	47
§ 3.4. Показатели качества очищенных жидкостей	50
Глава 4. Фильтрующие очистители	67
§ 4.1. Нефтепродукты	67
§ 4.2. Охлаждающая и пресная бытовая вода	84
§ 4.3. Нефтесодержащие воды	96
§ 4.4. Сточная и хозяйственно-бытовая вода	102
Глава 5. Силовые очистители	106
§ 5.1. Нефтепродукты	106
§ 5.2. Пресная бытовая вода	125
§ 5.3. Нефтесодержащие воды	133
§ 5.4. Сточная и хозяйственно-бытовая вода	153

Глава 6. Физические, физико-химические и биохимические очистители . . .	156
§ 6.1. Нефтепродукты	156
§ 6.2. Питательная вода	160
§ 6.3. Пресная бытовая вода	167
§ 6.4. Сточная и хозяйственно-бытовая вода	183
Глава 7. Выбор очистителей и технологических схем очистки жидкостей . .	200
§ 7.1. Нефтепродукты	200
§ 7.2. Пресная бытовая вода	211
§ 7.3. Нефтесодержащие воды	219
§ 7.4. Сточная и хозяйственно-бытовая вода	220
Глава 8. Испытания очистителей	242
§ 8.1. Нефтепродукты	242
§ 8.2. Нефтесодержащие воды	248
§ 8.3. Сточные воды	252
Глава 9. Техничко-экономическая оценка выбора очистителя	256
§ 9.1. Техничко-экономическая оценка выбора оборудования и схем очистки пресной бытовой воды	256
§ 9.2. Обоснование выбора метода очистки нефтесодержащих вод	259
§ 9.3. Техничко-экономическая оценка выбора установок очистки сточных вод	264
Список литературы	266
Предметный указатель	269

СЕРИЯ „ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ“

**ИВАНОВ ИГОРЬ АЛЕКСАНДРОВИЧ, АЛЕКСАНДРОВ АЛЕКСЕЙ ТИМОФЕЕВИЧ,
ВЕСЕЛОВ ЮРИЙ СТЕПАНОВИЧ, ГУСАКОВ ГЕННАДИЙ ФЕДОРОВИЧ,
ЗЕНИН ГЕННАДИЙ СЕРГЕЕВИЧ, СОМКИН ВЛАДИМИР МИХАЙЛОВИЧ**

**СРЕДСТВА ОЧИСТКИ ЖИДКОСТЕЙ НА СУДАХ.
СПРАВОЧНИК**

Редактор Т. Д. Раскина. Художественный редактор О. П. Андреев. Технический редактор Е. Н. Коломиец. Корректоры С. Н. Маковская, И. М. Меримская.

ИБ № 994

Подписано в печать 7.08.84. М — 34676. Формат 60 x 90 1/16. Бумага офсетная № 1. Ротапринт. Усл. печ. л. 17,0. Усл. кр.-отт. 17,26. Уч.-изд. л. 24,5. Тираж 4,6 тыс. экз. Изд. № 3807-82. Заказ 516. Цена 1 р. 50 к.

Издательство „Судостроение“, 191065, Ленинград, ул. Гоголя, 8.

Тульская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, г. Тула, пр. Ленина, 109.