

ТЕХНИЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕЧКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНИКА  
СЕРИЯ "ВОДОСНАБЖЕНИЕ"

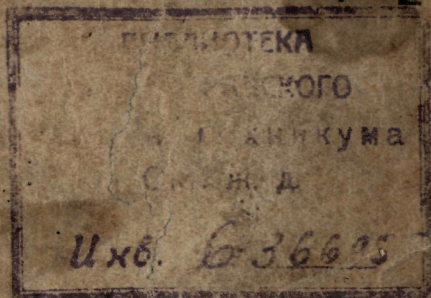
621/33

ВЫПУСК 6

Т-30

Доц. Е. Ф. ТЕБЕНИХИН

ВОДОПОДГОТОВКА НА  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ  
Т Р А Н С П О Р Т Е





## О Г Л А В Л Е Н И Е

и е . . . . .	6
---------------	---

### РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

#### СВОЙСТВА ЕСТЕСТВЕННЫХ ВОД И МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ ИХ КАЧЕСТВА

##### Естественные воды и их примеси

Естественные воды . . . . .	9
Примеси естественных вод . . . . .	20
Характеристика источников транспортного во- снабжения . . . . .	25

##### 1. Накипь и ее свойства

Видности накипи . . . . .	29
Влияние накипи на теплопередачу и металл шла . . . . .	35
Образование накипи . . . . .	42

##### 2. Коррозия металлов

Объекты коррозии и факторы, ее обуславлива- ющие . . . . .	52
Потери от коррозии . . . . .	53
Временная теория коррозии . . . . .	54
Влияние примесей воды на процессы коррозии	60
Хлоридная (щелочная) хрупкость металла . . . . .	66
Гальваническая коррозия . . . . .	69
Пitting коррозия металла под накипью . . . . .	70

##### Вспенивание и бросание котловых вод 71

Течь дымогарных труб в паровозных котлах . . . . .	76
---	----

##### 3. Умягчение воды

##### а) известково-содовый способ

Химические процессы при известково-содо- м способе и свойства умягченной воды . . . . .	78
Временное состояние воды умягчения . . . . .	81

§ 3. Описание и эксплуатация водоумягчителя „Струя“	
А. Описание отдельных элементов установки	98
Б. Операции, предшествующие пуску водоумягчителя в работу	108
В. Эксплуатация установки	120
§ 4. Дополнительные способы умягчения воды	126
Б. Цеолитовый (пермутитовый) способ	
§ 1. Химические процессы при цеолитовом способе и свойства умягченной воды	128
§ 2. Классификация цеолитов и их свойства	130
§ 3. Развитие цеолитового способа	134
§ 4. Современные цеолитовые массы	135
§ 5. Цеолитовые водоумягчители	140
§ 6. Комбинированные цеолитовые водоумягчители	147
§ 7. Современное состояние цеолитового водоприготовления	149
§ 8. Цеолитовый способ водоприготовления по заграничным данным	154
§ 9. Положительные и отрицательные стороны цеолитового водоприготовления	158
Глава VII. Обработка воды кислотами (импфирование)	159
Глава VIII. Опреснение воды	
§ 1. Термический способ (дистилляция)	164
§ 2. Электрохимический способ	174
Глава IX. Внутрикотловая обработка воды	181
§ 1. Химические методы	183
§ 2. Коллоиднохимические методы	188
§ 3. Механические способы	191
§ 4. Термический способ	194
Глава X. Защита металла от коррозии	
§ 1. Борьба с котельной коррозией	196
§ 2. Защита от коррозии труб, баков и прочих устройств, применяемых в водоснабжении	203
Глава XI. Борьба со вспениванием и бросанием котловых вод	206
Глава XII. Очистка воды для питьевых целей	
§ 1. Требования, предъявляемые к питьевым водам и методы исправления воды	209
§ 2. Осветление воды	210
§ 3. Обезжелезивание воды (деферризация)	220
§ 4. Дегазация воды	223
§ 5. Дезинфекция (обеззараживание) воды	223



**РАЗДЕЛ ВТОРОЙ**  
**АНАЛИЗ ВОДЫ И РЕАГЕНТОВ ДЛЯ**  
**ВОДОУМЯГЧЕНИЯ**

<b>Глава XIII. Анализ естественных вод</b>	
§ 1. Отбор проб воды и запись анализа . . . . .	231
§ 2. Определение жесткости воды . . . . .	236
<b>Глава XIV. Анализ умягченных вод</b>	
§ 1. Схема контрольных проб при известково-со- довом водоумягчении . . . . .	245
§ 2. Методы исследования . . . . .	246
<b>Глава XV. Анализ котловых вод</b>	
§ 1. Отбор проб и схемы анализов . . . . .	249
§ 2. Методы исследования . . . . .	252
<b>Глава XVI. Анализ реагентов для водоумягчения</b>	256
<b>Приложение</b> . . . . .	259
<b>Использованная литература</b> . . . . .	263

---

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из условий порыхания мощности и работоспособности паровозного котла является улучшение качества питательной воды, так как естественная вода может вызвать следующие явления:

- 1) образование накипи,
- 2) коррозию металла,
- 3) унос котловой воды с паром,
- 4) течь труб.

Все это приводит к большим экономическим потерям, сокращает межпромывочные пробеги, увеличивает простои на промывках и ремонте и обуславливает преждевременный выход паровозов из строя.

В настоящее время, когда транспорт под руководством наркома тов. Л. М. Кагановича в короткий срок достиг значительного улучшения в своей работе и, технически перевооружаясь, быстро пошел в гору, в вопросе водоподготовки и рационального котлопитания также сделан значительный сдвиг вперед.

Но совершенно очевидно, что все мероприятия по водообработке, как основанные на химических процессах, могут обеспечить надлежащий эффект лишь при условии сознательного к ним отношения работников, а также серьезного изучения технологических процессов. Другими словами,

во главу угла должна быть поставлена задача овладения техникой в самом глубоком и широком смысле этого слова.

Товарищ Сталин еще в 1931 г. в своей речи на 1 Всесоюзной Конференции работников социалистической промышленности со всей остротой и силой поставил вопрос о новой задаче партии — по борьбе за овладение техникой: „Мы решили ряд труднейших задач. Мы свергли капитализм. Мы взяли власть. Мы построили крупнейшую социалистическую индустрию. Мы повернули середняка на путь социализма. Самое важное с точки зрения строительства мы уже сделали. Нам осталось немного: изучить технику, овладеть наукой“.

Тов. Л. М. Каганович на совещании работников ж.-д. транспорта 27 июля 1935 г. дал конкретные указания о подготовке и переподготовке работников транспорта: „На железнодорожном транспорте мы несколько отстали по части выковки, обучения и сплочения кадров. Это нельзя объяснять тем, что якобы нет людей. Люди у нас есть, и замечательные люди. Они есть на дорогах, на отделениях, на станциях, на вагонных участках, в дистанциях пути и связи, в депо, среди партийных и беспартийных, среди комсомольцев. Надо только уметь их выдвигать и обучать...

... Наконец, мы должны обучать наши кадры внедрять и осваивать новую технику на железнодорожном транспорте. Нашим кадрам, и не только обучающимся в учебных заведениях, но и работающим по сети, надо во многом еще учиться и переучиваться“.

Учитывая при составлении настоящей книги всю важность и актуальность задачи подготовки кадров ж.-д. водоснабжения вообще, водо-

подготовки в частности, мы поставили своей задачей по возможности в краткой и доступной форме, не требующей большой специальной подготовки читателей, дать сжатое изложение основных причин, обуславливающих вред, причиняемый водой нашему транспорту, и методов улучшения качества воды.

Мы полагаем, что эта книга может быть полезна для работников водоснабжения ж.-д. транспорта, как инженеров и техников, так и заведующих водоумягчителями (старших машинистов), обладающих элементарными знаниями по химии, в их повседневной производственной работе по эксплуатации, химическому контролю и пр.

*Е. Тебенихин*

---

## РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

# СВОЙСТВА ЕСТЕСТВЕННЫХ ВОД И МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ ИХ КАЧЕСТВА

### ГЛАВА I

## ЕСТЕСТВЕННЫЕ ВОДЫ И ИХ ПРИМЕСИ

a

### § 1. Естественные воды

1 Совершенно чистую воду мы можем получить только искусственно. Все же естественные воды, каково бы ни было их происхождение, всегда содержат различное количество разных примесей, как растворимых (газы, соли), так и нерастворимых (механические примеси).

Под действием энергии солнечных лучей вода с поверхности озер, рек, морей и океанов переходит в парообразное состояние, собирается в верхних слоях атмосферы в форме облаков, где под влиянием целого ряда явлений, происходящих в атмосфере, выделяется периодически в капельно-жидком состоянии и падает на земную поверхность в виде дождя или снега, в зависимости от температурных условий.

Проходя через атмосферу, вода растворяет составные части воздуха, а равно увлекает в нижних слоях механические примеси органического

и минерального происхождения, содержащиеся в большем или меньшем количестве, в зависимости от характера местности.

Попадая на землю, вода частично стекает по поверхности, образуя ручьи, которые, сливаясь вместе, дают начало рекам; частью же просачивается в почву, образуя грунтовые и артезианские воды.

Под влиянием солнечных лучей вода вновь переходит в газообразное состояние, конденсируется в облака, и описанный процесс повторяется (рис. 1).

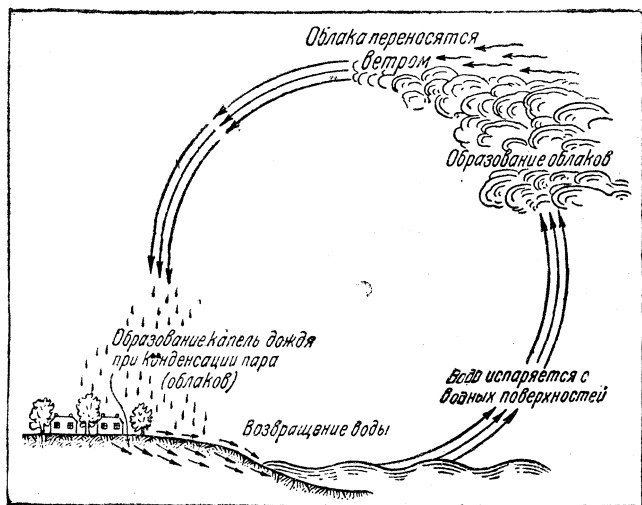


Рис. 1. Круговорот воды в природе

Различают следующие категории вод по их происхождению:

- 1) атмосферные воды, выпадающие на земную поверхность в виде дождя и снега;

2) подземные воды, которые собираются в различных слоях земли и появляются на земной поверхности в виде ключей или получают выход через искусственно устроенные колодцы и буровые скважины;

3) поверхностные воды, т. е. воды ручьев, рек и озер.



### 1. Атмосферная вода

Атмосферная вода принадлежит к наиболее чистым водам и содержит обычно небольшое количество газов, входящих в состав воздуха (кислород, углекислоту, азот, окислы азота) и другие примеси в зависимости от местных условий, как например, сернистый газ и частицы угольной пыли в фабричных районах, мельчайшие частицы пыли, а также бактерии, попадающие в воду, при прохождении ее через атмосферу населенных местностей.

Средний состав атмосферных вод приведен в табл. 1. Вода эта служит водным ресурсом для населения безводных и солончаковых мест.

Таблица 1

#### Анализ атмосферных вод

Наименование примесей	Дождевая вода мг/л	Снеговая вода мг/л
Плотный остаток . . . . .	39,50—40,00	24,00—54,00
Потеря при прокаливании . .	—	10,00
Аммиак . . . . .	0,50	0,02
Органический азот . . . . .	0,22	—
Азотистая и азотная кислоты .	0,07— 0,19	—
Серная кислота . . . . .	2,6	—

## 2. Подземные воды (грунтовые, артезианские, ключевые)

Выпавшая на земную поверхность атмосферная вода, проникая через слои почвы с одной стороны освобождается от механических загрязнений (проходя через мелкозернистые породы, как например песок), с другой стороны обогащается различными примесями органического и минерального происхождения.

В верхних слоях почвы вода извлекает преимущественно продукты растительного и животного разложения, как например, гуминовые вещества, углекислоту, аммиак, сероводород.

Проникая вглубь, вода на своем пути растворяет все, что она способна растворить, и в зависимости от минерального состава почв, времени соприкосновения и величины пройденного пути обогащается различными солями, как например, хлористым натрием, сернокислым магнием, хлористым магнием, гипсом и др.

Особую роль при этом играет углекислота (которой вода насыщается, главным образом проходя через верхние слои почвы), благодаря которой вода приобретает способность растворять труднорастворимые соединения: углекислый кальций, магний и железо, с образованием соответствующих двууглекислых (бикарбонатных) соединений, хорошо растворимых в воде.

При повышении температуры (например, при выходе воды на дневную поверхность) растворимость углекислоты уменьшается, в результате чего происходит разложение этих соединений с выделением солей. С подобными явлениями приходится нередко сталкиваться в естественных условиях, наблюдая у источников известковые от-



ложения различных форм и желтые налеты окислов железа.

В то время как содержание углекислоты в воде может увеличиваться, кислород, содержащийся в атмосферной воде, расходуется на окисление органических веществ и в дальнейшем в подземной воде почти отсутствует.

Встречая на своем пути водонепроницаемые пласты (глину, суглинок, вулканические горные породы и др., не имеющие трещин), вода задерживается, образуя подземные бассейны.

Однако в силу различных условий (наклона пластов и проч.) вода не остается в покое: она образует подземные потоки и или выходит на земную поверхность в виде ключей и родников, служащих основным источником питания рек и озер, или при соответствующих условиях проникает в более глубокие пласты, повышая свой минеральный состав; вследствие этого вода более глубоких слоев по большей части содержит больше минеральных веществ.

Таким образом, подземные воды характеризуются большим или меньшим количеством растворимых солей в зависимости от формаций (табл. 2), по которым они протекают, почти полным отсутствием взвешенных веществ, а также и болезнетворных бактерий.

Вместе с тем эти воды отличаются сравнительно большим постоянством своего состава; причем наиболее устойчивыми являются воды артезианских скважин. Грунтовые воды являются уже менее устойчивыми и могут изменять свой состав в зависимости от поднятия и опускания их уровня, т. е. от большего или меньшего подтока атмосферных вод.

Таблица 2

Влияние пород, залегающих в почвах, на качество воды

Порода, из которой вытекает родник	Сухой остаток	Азотная кислота ( $N_2O_5$ )	Хлор (Cl) (хлориды)	Серная кислота ( $SO_3$ ) (сульфаты)	Окись кальция (CaO)	Окись магния (MgO)	Колич. $KMnO_4$ , тисбующаяся для окислен. орг. в-т	Общая жесткость в немецк. градус.
	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	
Гранит . . .	24,4	—	3,3	3,9	9,7	2,5	3,1	1,32
Базальт	7,0	—	1,3	3,1	30,8	9,1	0,8	4,35
Глинистый порфир .	150,0	—	следы	3,4	31,6	28,0	0,4	7,08
Глинистый сланец	250,0	—	—	3,4	5,6	1,8	1,6	0,81
Пестрый песчаник	120,0	—	2,5	24,0	50,4	7,3	—	6,06
Раковистый известняк	70,0	следы	2,0	5,0	5,6	1,8	3,4	0,81
Доломитовый известняк . . . . .	225,0	9,8	4,2	8,8	73,0	48,0	2,5	14,02
Гипс . . . . .	90,0	—	7,5	—	10,0	3,5	0,8	1,49
	325,0	0,2	3,7	13,7	129,0	29,0	1,0	16,96
	418,0	2,3	следы	34,0	140,0	65,0	1,4	23,10
	2365,0	следы	161,0	1108,3	766,0	122,5	следы	93,75

### 3. Поверхностные воды (реки, озера, пруды)

Поверхностные воды — реки, озера, болота, пруды — отличаются, подобно подземным, большим разнообразием примесей в зависимости от состава почв в местах их нахождения.

Обычно они содержат меньше растворимых веществ, так как помимо грунтовых вод питаются в значительной степени и за счет атмос-

ферных. В табл. 3 даны наиболее типичные анализы некоторых видов поверхностных и подземных вод.

Речные воды, в основном существующие за счет подтока многочисленных родников, выклинивающихся как по берегу, так и по дну рек, наиболее загрязнены взвешенными веществами как минеральными, так и органическими, благодаря постоянному размыванию грунта и поступлению атмосферных вод (ручьи).

Речная вода кроме того может содержать минеральные примеси в коллоидальном состоянии<sup>1</sup> (глинистая муть, кремнекислота) и гуминовые вещества, придающие воде желтовато-коричневатый цвет, характерный для вод северных областей, питающихся болотными водами. *мурман*

Планктон<sup>2</sup> развивается в реках в меньшем количестве, чем в замкнутых водоемах (пруды, озера), но различные бактерии, включая болезнетворные, встречаются чаще, благодаря большому количеству стоков из населенных и фабрично-заводских мест.

Характерной особенностью речных вод является их способность к самоочищению, заключающемуся в том, что сильно загрязненная вода в определенном месте своего течения, через известное расстояние (10—30 км вниз по течению), восстанавливает свое прежнее состояние, при отсутствии, конечно, повторного загрязнения.

Явление самоочищения обуславливается выпадением механических примесей на дно, разбав-

<sup>1</sup> Коллоидальным называется такое состояние вещества, при котором частицы его имеют размер 0,0001—0,000005 мм и не выпадают из воды неограниченно долгое время.

<sup>2</sup> Понятием планктона объединяются растительные и животные организмы, плавающие на поверхности воды или находящиеся во взвешенном состоянии.

Таблица 3

Таблица анализов поверхностных и подземных вод

Наименование примесей	Север- ная река	Река средней полосы	Река N	Озеро N	Пруд	Артезиан- ская сква- жина центр. полосы	Артезиан- ская сква- жина южн. части вост. Европы	Грунто- вой ко- лодец	Родник
Плотный оста- ток при 110° мг/л . . . .	69,2	1314,0	248,0	40,0	76,2	1085,0	2378,0	78,0	397,0
Жесткость об- щая нем. гр. . .	2,59	54,97	11,98	1,18	2,15	31,78	92,2	17,92	7,28
Окись кальция (CaO) . . . .	12,9	449,2	83,6	7,2	13,8	178,0	848,0	126,0	—
Окись магния (MgO) . . . .	9,3	71,8	25,9	3,3	5,5	99,9	52,9	38,0	—
Серная кислота (SO <sub>2</sub> ) . . . .	6,7	624,0	24,7	0	3,3	—	1165,8	9,0	—
Хлор (Cl) . . .	5,3	5,8	9,0	2,8	2,8	95,5	21,0	30,0	23,6
Кремнекислота (SiO <sub>2</sub> ) . . . .	—	3,2	4,0	2,6	7,6	—	24,0	—	—
Аммиак (NH <sub>3</sub> ) .	—	0	0	следы	0,5	0,03	0,3	—	—
Азотистая ки- слота (N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	—	следы	0	0	0	0,4	0	—	—
Азотная кислота (N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) . . . .	—	0,75	следы	0	0,75	—	0	—	—

лением незагрязненной водой, химическими реакциями между веществами сточной жидкости и воды, а также минерализацией (превращением в минеральные соединения) органических веществ под влиянием окислительных процессов (кислорода воздуха и солнечных лучей).

Содержание газов — кислорода и углекислоты, по сравнению с количеством, соответствующим их растворимости при определенной температуре, также характеризует состояние водоема. Чем загрязненнее водоем, тем меньше в воде кислорода вследствие его потребления органическими веществами в процессе их окисления и тем больше углекислоты, выделяемой при их разложении.

Количество растворенных в речной воде солей зависит от качества грунтовых вод, которые, как указано выше, служат основным источником ее питания.

Так как в большинстве случаев грунтовые воды представляют неглубокие подземные стоки, то содержание растворенных солей в них обычно бывает невелико (250—350 мг/л — реки Ока, Волга, Днепр, Дон); в тех же случаях, когда река протекает в местах с растворяемыми горными породами, например известняками, гипсом, количество солей в ней резко повышается (1300—1900 мг/л — реки Теша, Пьяна).

В то время как состав подземных вод за исключением грунтовых, является постоянным, вода рек меняет свои свойства в зависимости от времени года и количества выпадающих атмосферных осадков.

На рис. 2 представлены кривые колебания состава р. Москвы у Рублева. Наиболее прозрачной вода бывает в течение зимних месяцев (декабрь, январь, февраль и часть марта), т. е. в то

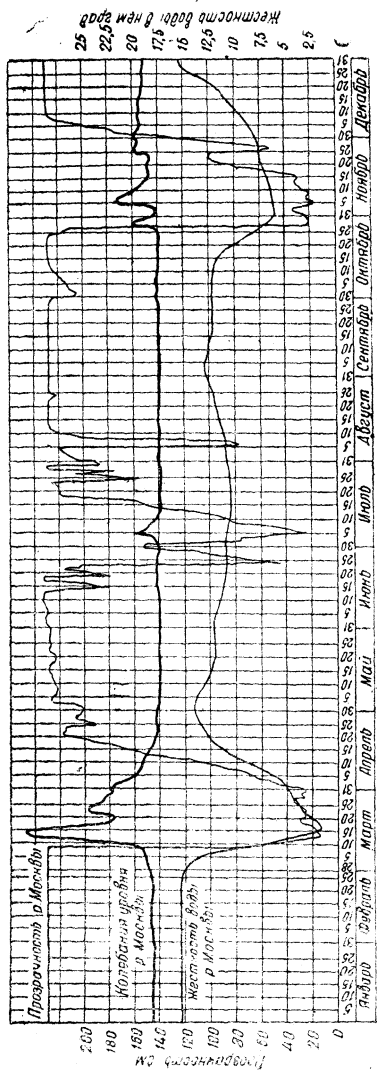


Рис. 2. Колебания состава воды реки Москвы в течение года

время, когда река покрыта льдом. С притоком весенних вод, в период половодья — март, апрель, прозрачность воды резко падает (количество взвешенных веществ увеличивается).

Затем, вместе со спадом полой воды, речная вода осветляется, и в дальнейшем прозрачность её колеблется в зависимости от большего или меньшего подтока атмосферных вод.

Реки, текущие с гор, — Кубань, Аму-Дарья и др., имеют, кроме весеннего, регулярно летний паводок, за счет усиленного таяния горных снегов.

Содержание в воде растворенных веществ на единицу объема (концентрация солей) достигает своего максимума в зимний период, когда река питается преимущественно грунтовыми водами, и минимума в половодье, в период наибольшего разбавления атмосферными (снеговыми) водами.

Воды озер и прудов характеризуются меньшим содержанием взвешенных и растворенных веществ благодаря значительному подтоку в них атмосферных вод и отсутствию постоянных течений, но вместе с тем отличаются богатством растительных и животных организмов. Особенно характерно для них развитие в наиболее теплое время года плавающих водорослей, нередко придающих воде зеленую окраску.

Болотные воды по своему качеству приближаются к прудовым и характеризуются обилием растительных и животных организмов и содержанием гуминовых веществ, придающих воде желтую или коричневатую окраску и гнилостный запах.

К числу поверхностных вод можно отнести и морские воды.

Морские воды характеризуются очень высоким содержанием солей и особенно поваренной

соли и сернокислого магния, вследствие чего для хозяйственно-питьевых и технических целей они непригодны.

## § 2. Примеси естественных вод

Примеси оказывают существенное влияние на физические и химические свойства естественных вод, а, следовательно, и на их применение.

Примеси в воде могут находиться в следующих состояниях (табл. 4).

В виде механических, главным образом в форме взвеси: частицы песка, глины и другие продукты размыва почв; вещества растительного и животного происхождения, попадающие в воду со стоками, и мельчайшие живые организмы — растения и бактерии.

В коллоидальном состоянии: минерального происхождения — соединения кремния, алюминия, железа; органического — главным образом растительного происхождения — соединения различных сложных органических кислот (гуминовой, ульминовой) и др.

В растворе: а) газы — кислород ( $O_2$ ), углекислота ( $CO_2$ ), сероводород ( $H_2S$ ), метан ( $CH_4$ ), азот ( $N_2$ ); б) неорганические соли: хлористые ( $CaCl_2$ ,  $MgCl_2$ ,  $NaCl$ ), сернокислые ( $CaSO_4$ ,  $MgSO_4$ ,  $Na_2SO_4$ ), углекислые ( $CaCO_3$ ,  $MgCO_3$ ), двууглекислые [ $Ca(HCO_3)_2$ ,  $Mg(HCO_3)_2$ ,  $Fe(HCO_3)_2$ ], кремнекислые ( $CaSiO_3$ ,  $Na_2SiO_3$ ), азотнокислые [ $NaNO_3$ ,  $Ca(NO_3)_2$ ] и др. [с промышленными стоками в воду могут попадать минеральные кислоты ( $H_2SO_4$ ) и соединения тяжелых металлов: меди, свинца, цинка]; в) органические соединения — вещества промышленных стоков, например фенолы, крезолы и др.



## Примеси естественных вод

- <sup>1</sup> Грубые дисперсоиды
- <sup>2</sup> Молекулярные дисперсоиды

## 1 Грубые дисперсоиды

## 2 Молекулярные дисперсоиды

Наличие механических примесей (взвеси), образующих муть в больших количествах, обычно делает воду мало пригодной, а иногда и совершенно непригодной для питьевых целей и питания паровых котлов, обуславливая в последних образование завалов, шлама, вспенивание и брожение котловых вод.

Присутствие коллоидальных веществ органического происхождения может служить причиной вспенивания котловой воды и коррозии металла. Те же примеси минерального происхождения обуславливают образование весьма твердой накипи и способствуют прогару металла котлов.

Газообразные примеси обуславливают главным образом разрушение (коррозию) металла.

Влияние растворенных солей различно: некоторые из них ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{MgSO}_4$ ) способствуют коррозии металла, делают воду соленой ( $\text{NaCl}$ ), другие способствуют вспениванию котловой воды ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), обуславливают железистость [ $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ ] и образуют твердые отложения накипи [ $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ].

Большее или меньшее количество указанных примесей позволяет судить о возможности применения воды для целей водоснабжения, а также о влиянии их на паровозные котлы в смысле образования накипи, вспенивания и коррозии.

Большое значение при оценке воды имеют растворимые в ней щелочноземельные соли кальция и магния, придающие воде особые свойства, объединяемые понятием жесткости.

При питании паровых котлов жесткими водами образуется в короткий срок накипь, обуславливающая перерасход топлива и коррозию металла.

В таких водах мыло долго не дает пены, вызывая потерю до 150 г ядрового мыла на каж-

дый немецкий градус жесткости в 1 м<sup>3</sup> воды. При крашении значительное содержание в воде солей кальция и магния может вызвать неравномерную окраску, появление пятен и т. д.

Жесткость воды выражается в градусах, имеющих в различных странах разное значение, как например: в Германии градусом жесткости называют содержание 1 части окиси кальция (CaO) в 100 000 частей воды, что соответствует 0,010 г в 1 л<sup>1</sup>. Во Франции градус жесткости соответствует содержанию 0,010 г углекислого кальция (CaCO<sub>3</sub>) в 1 л, в Англии за градус жесткости принято считать содержание 0,01 г углекислого кальция (CaCO<sub>3</sub>) в 0,7 л, в Америке градус жесткости обозначает содержание 0,017 г углекислого кальция (CaCO<sub>3</sub>) в 1 л воды.

У нас жесткость воды преимущественно выражается в немецких градусах.

Градусы жесткости между собой находятся в следующей зависимости:

1 нем.	гр.	— 1,25	англ.	— 1,79	франц.	— 1,05	амер.
1 франц.	»	— 0,56	нем.	— 0,70	англ.	— 0,58	амер.
1 англ.	»	— 1,43	франц.	— 0,80	нем.	— 0,84	амер.
1 амер.	»	— 0,95	нем.	— 1,70	франц.	— 1,19	англ.

2а

Различают жесткости: общую, постоянную, или некарбонатную и временную (устранимую), или карбонатную. Общая жесткость воды выражает содержание в воде всех солей кальция и магния, как то: сернокислых, хлористых, азотно-

<sup>1</sup> При вычислении жесткости воды для пересчета содержания окиси магния в эквивалентное количество окиси кальция служит коэффициент 1,39:

$$\left( 1,39 = \frac{\text{CaO (56,07)}}{\text{MgO (40,32)}} \right)$$

кислых, фосфорнокислых, кремнекислых и двууглекислых.

Временной, или карбонатной называется жесткость, обусловленная двууглекислыми солями (бикарбонатами) кальция и магния  $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2, \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2]$ , выпадающими при кипячении в открытом сосуде, т. е. при атмосферном давлении.

Постоянная — некарбонатная — жесткость обуславливается всеми остальными солями кальция и магния — хлористыми, сернокислыми, азотнокислыми и др., которые удерживаются в воде после ее кипячения в открытых сосудах при постоянном объеме.

Для обозначения степени жесткости воды служит следующее подразделение:

Общая жесткость в нем. гр.	Обозначения
0—4	очень мягкая
4—8	мягкая
8—12	умеренно жесткая
12—18	довольно жесткая
18—30	жесткая
Выше 30	очень жесткая.

Считаясь с неизбежностью содержания в воде указанных выше примесей, при выборе того или иного источника водоснабжения необходимо учитывать свойства воды в зависимости от ее назначения. Так, для хозяйственно-бытовых целей наибольшее внимание обращают на степень загрязнения воды механическими примесями и микроорганизмами; при использовании воды для технических целей, особенно для питания паровых котлов, наибольшее внимание обращают на содержание растворимых солей и газов, в соответствии с чем воды поверхностные, как содержащие мень-

шее количество растворенных солей, предпочтительнее для технических целей, нежели подземные.

### § 3. Характеристика источников транспортного водоснабжения

Большинство источников транспортного водоснабжения составляют реки, колодцы, пруды, затем артезианские скважины, озера, родники, ключи и даже арыки и болота.

Вследствие чрезвычайного разнообразия почв в местах прохождения ж.-д. пути качество воды источников весьма различно.

Наряду с мягкими водами, содержащими незначительное количество солей, нередко встречаются жесткие и солончаковые, соленого вкуса, мало пригодные для питьевых и технических целей. Встречаются воды совершенно прозрачные и очень мутные, воды бесцветные и окрашенные (гуминовые).

Водоисточники северных районов СССР, преимущественно реки и частично озера, характеризуются низкой жесткостью (4—10 нем. гр.), небольшим содержанием солей и, в зависимости от местных условий (болота, торфяники), имеют большее или меньшее количество гуминовых веществ, сообщающих воде зеленовато-желтую или коричневатую окраску.

Воды эти большой накипи не образуют, но присутствие гуминовых веществ может служить причиной вспенивания котловых вод и коррозии металла. Сюда относятся воды Северной и частью Горьковской ж. д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Названия дорог в этом месте и в дальнейшем приведены по их разделению.

По мере перехода в Московскую область, качество воды заметно изменяется. Источниками водоснабжения, кроме озер и рек, служат еще и скважины. Количество растворенных солей возрастает, жесткость воды колеблется в среднем от 15 до 25 нем. гр., гуминовые вещества встречаются реже (часть Ярославской и Горьковской ж. д., дорога им. Дзержинского, Ленинская, Москва — Донбасс).

Чем дальше на юг, тем качество воды заметно ухудшается. Объясняется это появлением в почве гипсовых и меловых отложений, местами в столь больших количествах, что они составляют целые массивы (Белгород, Славянск и др.).

Растворяя гипс и мел, вода обогащается ими и приобретает вредные свойства. Содержание растворимых солей возрастает до 1000 мг/л, а иногда и больше, жесткость воды достигает 30—60 нем. гр., а в некоторых случаях и более высоких цифр.

При питании паровозных котлов этими водами образуется твердая накипь, разъедаются дымогарные и жаровые трубы, забиваются элементы пароперегревателей и т. д. со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Такие воды преимущественно встречаются на дорогах: Южной, Юго-Восточной, Донецкой и Сталинской. Среди вод дороги им. Ворошилова наряду с жесткими (17—30 нем. гр.) встречаются мягкие — щелочные (Тихорецкая, Краснодар) и сероводородные воды (Кущевка, Уманская).

Происхождение их связано с отложениями бывшего когда-то в районе Черного и Каспийского морей доисторического моря.

Присутствие в воде сероводорода может служить причиной разъедания металла; наличие ще-

лочей обуславливает вспенивание котловой воды, а при значительном содержании их и разрушение арматуры котлов.

Водоисточники Закавказья (Закавказская ж. д.), как питающиеся в большинстве случаев тающими снегами с гор, характеризуются незначительным содержанием растворимых солей и небольшой жесткостью (6—10 нем. гр.).

Речные воды здесь обычно содержат большое количество механических примесей за счет размыва почвы, вследствие быстроты течения.

Юго-западная область характеризуется преимущественно довольно жесткими водами (12—19 нем. гр.). Источниками водоснабжения служат пруды, балки, реки, нередко обладающие и щелочными свойствами.

Воды юго-восточной части Союза близки по своим качествам к водам дорог юга, но среди них встречаются так называемые солончаковые, напоминающие морские. Последние сосредоточены главным образом в местах доисторического моря, в районе Каспийского и Аральского морей. Соли, пропитавшие почву (бывшее дно), постепенно выщелачиваются грунтовыми водами и придают воде характерные свойства солености. Такие воды, опасные для паровозных котлов, часто встречаются на Оренбургской, Ташкентской, Ашхабадской ж. д., Турксибе и других дорогах, проходящих в районе нижней части Поволжья (Рязано-Уральская, Сталинградская).

Воды сибирских железных дорог совмещают в себе почти все качества вод Европейской части СССР, т. е. встречаются жесткие воды 20—40 нем. гр. (Омская, Томская, Красноярская ж. д.), мягкие 3—10 нем. гр. (Амурская, Дальневосточ-

ная), солончаковые (Омская) и щелочные (дорога им. Л. М. Кагановича).

Однако воды большинства рек имеют меньше растворимых примесей, нежели в европейской части Союза.

Эта краткая характеристика, далеко не исчерпывающая полной картины состояния вод по дорогам, показывает, насколько разнообразны водоисточники транспорта, что в значительной степени усложняет вопрос улучшения их качества и требует индивидуального подхода.

Большинство источников не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к ним как по содержанию растворенных солей, так и механических примесей.

Принимая общую жесткость воды показателем ее качества, о характере водоисточников ж. д. можно судить по данным табл. 5.

Таблица 5

## Источники транспортного водоснабжения

Жесткость, в нем. гр.	% к общему количеству пунктов водо- снабжения	Жесткость, в нем. гр.	% к общему количеству пунктов водо- снабжения
до 5	18,70	26—30	3,41
6—10	21,40	31—40	2,62
11—15	25,00	41—50	1,70
16—20	18,34	выше 50	1,70
21—25	7,13		

Воды для питания паровозов с жесткостью выше 10 нем. гр. нуждаются в исправлении. Количество водоисточников с жесткостью выше 10 нем. гр. составляет около 60%. Но так как,



кроме жесткости, не менее важное значение имеют и другие показатели качества воды, например хлориды, газы, органические вещества, механические примеси и т. д., содержание которых во многих случаях весьма значительно, то указанный процент возрастает.

В табл. 6 приведены главнейшие свойства примесей воды, их влияние на паровозные котлы и методы их устранения.

## ГЛАВА II

### НАКИПЬ И ЕЕ СВОЙСТВА

#### § 1. Разновидности накипи

Накипью, или котельным камнем, называют более или менее твердые, похожие на камень, отложения, нерастворимые в воде, образующиеся в процессе нагревания или кипячения естественных вод при различных давлениях в паровых котлах, при охлаждении водой нагретых поверхностей в холодильниках, конденсаторах, словом, всюду, где так или иначе нагретая металлическая поверхность соприкасается с водой (рис. 3 и 4).

Накипь может состоять: из сернокислого кальция ( $\text{CaSO}_4$  — гипс), углекислого кальция ( $\text{CaCO}_3$  — мел), гидрата окиси магния  $[\text{Mg}(\text{OH})_2]$ , основных магниевых солей  $[n \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot m \text{MgCO}_3]$ , силикатов кальция и магния ( $\text{CaSiO}_3$ ,  $\text{MgSiO}_3$ ), окислов железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), глинозема ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) и механических примесей органического и минерального происхождения.

В зависимости от состава воды в накипи преобладают те или иные из указанных веществ, придающие ей различные свойства.

Таблица 6

Главнейшие свойства примесей воды и способы их устранения

Наименование примесей	Химическое обозначение	Происхождение	Главнейшие свойства			Обработка воды для удаления примесей
			накипание	коррозия металлов	испещрение котлов	
Кислород . . . . .	O <sub>2</sub>	Атмосфера		+		Дезаэрация
Углекислота . . . . .	CO <sub>2</sub>	Атмосфера, почва, производство		+		Аэрация
Сернистый род . . . . .	H <sub>2</sub> S			+		Умягчение
Двууглекислый кальций (или бикарбонат кальция)	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Почва	+			Умягчение
Двууглекислый магний (или бикарбонат магния)	Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	"	+			Обезжелезивание
Двууглекислое железо (или бикарбонат железа)	Fe(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	"	+			Умягчение
Сернокислый кальций (или сульфат кальция)	CaSO <sub>4</sub>	"	+			Умягчение
Сернокислый магний (или сульфат магния)	MgSO <sub>4</sub>	"		+		Умягчение
Кремнистый магний (или силикат магния)	MgSiO <sub>3</sub>	"	+			Умягчение
Кремнистый кальций (или силикат кальция)	CaSiO <sub>3</sub>	"	+			Умягчение
Хлористый кальций (или хлорид кальция)	CaCl <sub>2</sub>	"		+		Умягчение

Наименование	Химическое обозначение	Происхождение	Главные свойства			Обработка воды для удаления примесей
			накипеобразование	коррозия металлов	вспенивание котловой воды	
Хлористый магний (или хлорид магния) . . . . .	$MgCl_2$	Почва		+		Умягчение
Азотнокислый кальций (или нитрат кальция) . . . . .	$Ca(NO_3)_2$	"				"
Азотнокислый магний (или нитрат магния) . . . . .	$Mg(NO_3)_2$	"				"
Углекислый натрий (или карбонат натрия) . . . . .	$Na_2CO_3$	"		*	+	Опреснение
Двууглекислый натрий (или бикарбонат натрия) . . . . .	$NaHCO_3$	"		*	+	"
Сернокислый натрий (или сульфат натрия) . . . . .	$Na_2SO_4$	"			+	"
Хлористый натрий (или хлорид натрия) . . . . .	$NaCl$	Солончаки		+	+	"
Едкий натр . . . . .	$NaOH$	Производство Поверхность почвы		+	+	Коагуляция и фильтрация
Продукты разложения растительных и животных организмов . . . . .		Производство		++	+	Нейтрализация
Масла . . . . .		"				"
Минеральные кислоты . . . . .		Поверхность почвы				"
Взвешенные вещества . . . . .			+		+	Коагуляция и фильтрация

\* Коррозия медных частей и каустическая хрупкость при больших концентрациях



Рис. 3. Накипь в паровозных котлах. Слева — из паровоза, работавшего на жесткой, справа — на мягкой воде

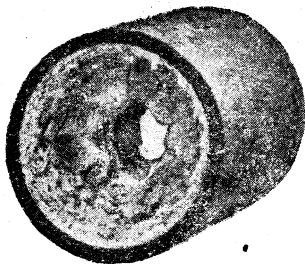
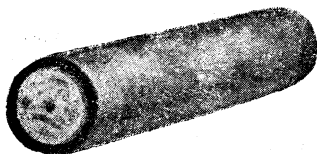


Рис. 4. Отложение накипи в кипящих трубах котла

Различают следующие основные виды накипи.

1. Гипсовая накипь — с содержанием сернокислого кальция более 50%. Накипь имеет вид твердого плотного камня, с трудом отделяемого от металлической поверхности (рис. 5).

2. Силикатная (кремнекислая) накипь — с содержанием кремнекислоты выше 20%. В состав этой накипи также может входить и кремнекислое железо. Кремнекислая накипь представляет твердое отложение и вследствие малой теплопроводности очень опасна для паровых котлов.



Рис. 5. Гипсовая накипь с содержанием  $\text{CaSO}_4$  в количестве 93%

3. Карбонатная накипь — характеризующаяся содержанием преимущественно (не ниже 90%) углекислого кальция. Физическая структура этой накипи весьма разнообразна, начиная от сравнительно рыхлых губчатообразных отложений и кончая твердым плотным котельным камнем (рис. 6 и 7).

Форма осадка углекислого кальция определяется целым рядом различных факторов, как например, — скоростью циркуляции воды в котле, интенсивностью испарения и

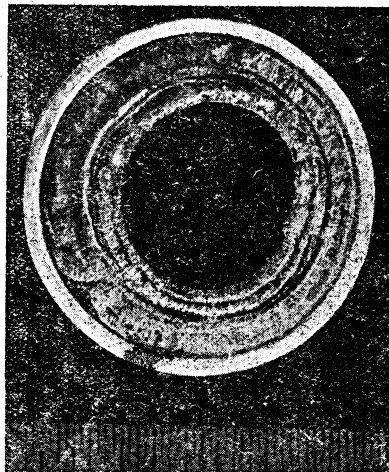


Рис. 6. Твердая карбонатная накипь (из трубки конденсатора)

проч. Медленное испарение приводит к выделению углекислого кальция в виде плотно осаждающегося котельного камня; наоборот, интенсивный процесс обуславливает выделение рых-

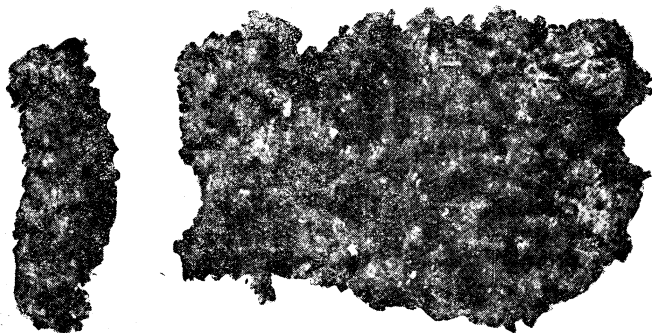


Рис. 7. Губчатообразная карбонатная накипь

лых осадков. Последнее также может иметь место при наличии в воде органических (гуминовых) веществ, мелкой взвеси и при увеличенной циркуляции воды.

4. Смешанная накипь — смесь карбонатов кальция и магния, гипса и силикатов; в зависимости от преобладания той или иной составной части, может быть твердой или рыхлой. Так, накипь с преобладанием гипса или силикатов имеет вид твердых отложений, а с преобладанием карбонатов — более рыхлый.

5. Шлам. — В тех случаях, когда накипеобразователи выделяются в виде мягких, илообразных отложений, образуется шлам. По большей части последний характеризуется высоким содержанием карбоната кальция, а иногда более или менее значительным количеством кремневой кислоты и органических примесей. Образованию шлама

способствует наличие в воде коллоидов, как например гуминовых веществ, а также интенсивный процесс кипения.

Преимущество шламовидных отложений перед твердыми заключается в том, что они могут быть сравнительно легко удалены в процессе работы котла при его продувках.

Влияние составных частей накипи на ее свойства представлено в табл. 7.

Таблица 7

Влияние химического состава накипи на ее свойства

Состав накипи	Твердая накипь в %	Рыхлая накипь в %
Сернокислый кальций (гипс) .	85,0	5,0
Углекислый кальций (мел) . .	6,5	65,0
Гидрат окиси магния . . . . .	3,0	25,0
Окись железа и алюминия . .	2,5	4,5
Кремнекислота . . . . .	3,0	0,5

## § 2. Влияние накипи на теплопередачу и металл котла

Наличие накипи вызывает следующие изменения в режиме парового котла:

а) уменьшение теплопередачи, что в свою очередь обуславливает перерасход топлива и перегрев металла со всеми вытекающими последствиями;

б) нарушение нормальной циркуляции воды вследствие местных скоплений накипи или завалов.

По данным проф. Бреншенриджа для паровозных котлов, накипь толщиной в 1,5 мм вызывает

перерасход топлива в 9,55%, при 3 мм—20,25%.

В литературе встречается целый ряд и других данных, указывающих нередко для одной и той же толщины накипи различные потери. Явление это объясняется тем, что теплопроводность накипей различна и зависит от их состава и физических свойств. Поэтому накипи одной и той же толщины, но различного состава или одинаковые по составу, но разного строения, зависящего от условий образования в котле, нередко обладают различной теплопроводностью.

Штумпер дает следующие коэффициенты теплопроводности для некоторых видов накипи (табл. 8):

Таблица 8

**Коэффициент теплопроводности различных видов накипи**

Вид отложения	Теплопроводность $\lambda$ кал/м час °Ц
Масляная накипь . . . . .	0,1
Силикаты . . . . .	0,2 — 0,5 <sup>1</sup>
Гипс . . . . .	0,5 — 7,0
Углекислый кальций аморфный <sup>2</sup> . . . . .	0,2 — 1,0
Углекислый кальций кристаллический . . . . .	0,5 — 5,0

Чем меньше коэффициент теплопроводности, тем опаснее накипь, тем больше перегрев металла и тем больше потерь топлива. На диаграмме (рис. 8) показан ход температурных кривых котельного

<sup>1</sup> По данным Эберле и Гольцауэра 0,07—0,2.

<sup>2</sup> Аморфный — некристаллический.



металла в зависимости от толщины слоя и коэффициента теплопроводности накипи.

Наибольшую опасность представляет накипь, пропитанная маслом, а также силикатная. Если же между стенкой трубы и накипью образуется паровая прослойка, то застой тепла возрастает, и перегрев металла увеличивается. На рис. 9 показана кипяtilьная труба с отдулинами в результате перегрева и деформации металла под накипью.

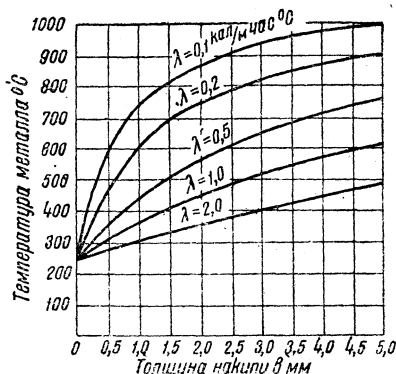


Рис. 8. Влияние толщины и теплопроводности накипи на температуру стенок котла<sup>1</sup>

Для примерного суждения о потерях тепла в зависимости от толщины слоя накипи может служить формула проф. С м и т а<sup>2</sup>: процент тепловых потерь равен  $48 \sqrt{\delta}$ , где  $\delta$  — толщина слоя накипи в см.

<sup>1</sup> При расчете диаграммы за исходные величины были приняты следующие данные (R. Stumper, Speisewasser u. Speisewasserpflege, 1931 г):

Температура топочного пространства — 1100°С

Температура котловой воды — 200° — (15 атм)

Толщина котельного металла — 5 мм

Теплопроводность котельного металла — 50 кал/м·час·С

Количество переданного тепла (в отсутствии накипи) 150 000 кал/м<sup>2</sup> час.

<sup>2</sup> Глейм В. Г. Доц., Очистка воды в промышленности, 1932 г.

Из известного уравнения теплопередачи

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t,$$

где:  $Q$  — количество тепла в калориях, прошедшее через стенку трубы в единицу времени (1 час),  $k$  — коэффициент тепло-

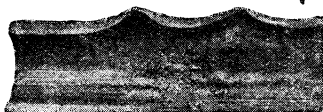


Рис. 9. Отдулины на кипяточной трубе вследствие перегрева

накипи толщиной в бумажный лист (рис. 10).

передачи в  $\text{кал}/\text{м}^2 \text{ час}^\circ\text{Ц}$ ,  $F$  — поверхность, через которую передается тепло, в  $\text{м}^2$ ,  $\Delta t$  — разность температур по обеим сторонам теплопередающей стенки, следует, что перепад температуры  $\Delta t$  возрастет с интенсивностью теплового потока  $Q$  при постоянном  $k$ . Поэтому, перегрев металла повышается вместе с тепловым напряжением поверхности нагрева, вследствие чего возникает особая опасность накипи в котлах большой мощности и высокого давления, полтверждением чего служат неоднократные разрывы в них кипяточных труб при силикатной



Рис. 10. Разрыв кипяточной трубы—результат сильного перегрева под влиянием силикатной накипи

Влияние накипи на температуру металла может быть иллюстрировано следующими данными<sup>1</sup> (рис. 11).

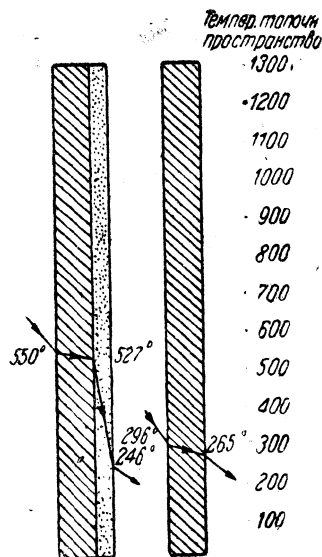
<sup>1</sup> С. П. Сыромятников, Тепловой процесс паровоза, 1933 г., стр. 65.

При температуре топочного пространства  $1300^{\circ}$  вода у стенки топки имеет температуру  $190^{\circ}$ , при этом температура стенки со стороны воды составляет около  $265^{\circ}$ , а со стороны огня —  $296^{\circ}$ . При наличии слоя накипи с преобладанием углекислого кальция ( $\lambda = 2$ ), толщиной 5 мм, температура топочного металла со стороны накипи может возрасти до  $527^{\circ}$ , а со стороны огня до  $550^{\circ}$ .

Известно, что при температуре  $500^{\circ}\text{C}$  сопротивление разрыву уменьшается примерно на 45%, при температуре  $600^{\circ}$  на 75%; при  $800^{\circ}$  железо уже легко подвергается всевозможным деформациям.

Температура 500 —  $700^{\circ}$  и выше легко достижима даже при накипи толщиной 1 — 3 мм при наличии кремнистых отложений ( $\lambda = 0,2 - 0,5$ ), вследствие чего, при высоком давлении пара получают выпучины, прогиб стенок и потолка огневой коробки.

Помимо этого, неравномерные отложения накипи, вследствие различных температур соседних участков, вызывают значительное перенапряжение металла и деформацию его со всеми вытекающими отсюда последствиями.



Стенка (10 мм), покрытая слоем (5 мм) накипи ( $\lambda = 2$ )  
Чистая стенка (10 мм)  
Передано тепла 112 400 ккал/м<sup>2</sup> ч.  
150 000 ккал/м<sup>2</sup> ч.

Рис. 11 Влияние накипи на температуру стенки топки

Кроме того под влиянием различных факторов при работе котла, например резких колебаний температуры, могут отскочить от котельной стенки большие или меньшие куски накипи. Быстрый приток воды к нагретой, свободной от накипи поверхности повлечет за собой столь энергичное парообразование и мгновенное увеличение давления, что может вызвать не только выброс котловой воды, но и местный разрыв металла, приводящий к аварии котла.

При температуре выше  $500^{\circ}$  составные части накипи могут подвергаться диссоциации<sup>1</sup>, продукты которой также обуславливают разрушение металла.

В тех случаях, когда между накипью и металлом в силу каких-либо причин образуются щели, находящийся в них водяной пар при температуре несколько выше  $500^{\circ}$  окисляет железо с образованием окислов, которые, увеличиваясь в объеме, приподнимают накипь щель расширяется и разъедание захватывает более глубоко лежащие слои. В таких местах накипь имеет вид небольших бугорков, окрашенных в черный или коричневый цвет.

При воздействии на бугорки каким-либо металлическим предметом они легко разрушаются, на их месте обнаруживается жидкая масса окислов железа черного или темнокоричневого цвета, а также раковины или сквозное протравление металла.

На рис. 12 изображена поверхность металла дымогарной трубы после удаления накипи.

В последнее время Мор указал еще один фактор разрушения металла под накипью за счет сероводорода, получающегося в результате взаимодейст-

---

<sup>1</sup> Диссоциация — разложение.

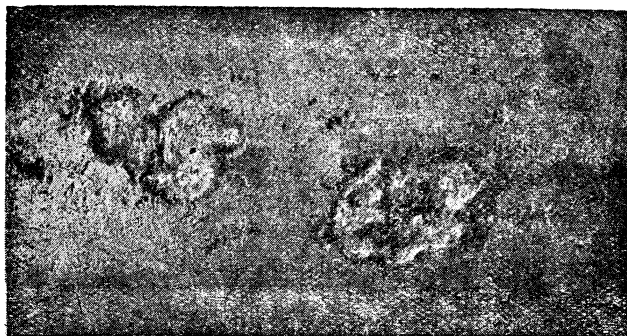
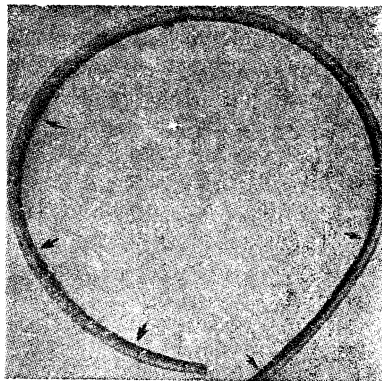


Рис. 12. Поверхность трубы после удаления накипи  
вия водяных паров и сернокислых солей при тем-  
пературе выше  $500^{\circ}$ .

Сероводород, соединяясь с железом, переводит его в сернистое, обуславливая тем его разрушение. На рис. 13 предста-  
влена лопнувшая ки-  
пятельная труба,  
почти не содержа-  
вшая накипи. На вну-  
тренней стороне тру-  
бы стрелками указа-  
ны темные участки  
образовавшегося се-  
рнистого железа.



Работами Штумпера  
установлено, что кре-  
мнекислота в естествен-  
ной во е находится по  
большой части в молеку-  
лярном состоянии и вы-  
падает в форме кальцие-  
вых и магниевых силика-  
тов, преимущественно в  
наиболее нагреваемых  
местах, откуда понятна

Рис. 13. Разрыв кипяточной трубы  
в результате образования серни-  
стого железа. Стрелками указаны  
участки сернистого железа

их особая опасность для мощных котлов и котлов высокого давления. При наличии известных условий кремнекислота может также выделиться в форме геля (студнеобразного осадка), который приводит к еще большим местным перегревам, чем силикаты кальция и магния, и поэтому является более опасным.

Загрязнение воды механическими примесями органического и минерального происхождения, особенно животными жирами и растительными маслами, обуславливает быстрый износ металла, с одной стороны, вследствие их низкой теплопроводности, с другой — вследствие выделения при их разложении органических кислот, как известно, вредно действующих на металл.

Наличие накипи, кроме отмеченного, обуславливает снижение паропроизводительности котла и вызывает многие другие расстройства в эксплуатации его, почему паровозы чаще выходят из строя и дольше простаивают на промывках и ремонтах, межпромысловый пробег сокращается, а это в свою очередь вызывает увеличение паровозного парка, дополнительный обслуживающий персонал, словом, эксплуатационные расходы в той или иной мере возрастают.

### § 3. Образование накипи

#### 1. Факторы, обуславливающие образование накипи

Явление накипеобразования является сложным физико-химическим процессом, который еще далеко не изучен.

В основе процессов накипеобразования лежит зависимость между растворимостью солей, образующих накипь, и изменением температуры.

Все соли, встречающиеся в накипи, по их отношению к температуре могут быть разделены на две группы — на соли с положительным коэффициентом растворимости, т. е. растворимость

которых повышается с увеличением температуры (большая часть солей), и соли с отрицательным коэффициентом, т. е. растворимость которых уменьшается с возрастанием температуры (рис. 14).

К числу первых (из встречающихся в естественной воде) относятся следующие соли:

Хлористый кальций  $\text{CaCl}_2$       Азотнокислый магний  $\text{Mg(NO}_3)_2$   
Хлористый магний  $\text{MgCl}_2$       Углекислый кальций  $\text{CaCO}_3$ <sup>1</sup>  
Азотнокислый кальций  $\text{Ca(NO}_3)_2$       Углекислый магний  $\text{MgCO}_3$  и др.

К числу вторых относятся:

Сернокислый кальций  $\text{CaSO}_4$   
Кремнекислый кальций  $\text{CaSiO}_3$   
Гидрат окиси магния  $\text{Mg(OH)}_2$ <sup>2</sup> и др.

В табл. 9 дана растворимость некоторых солей при температурах 100° и выше.

Таблица 9

Растворимость солей (По Ландольту 1923 г.)

Наименование солей	Температура воды °C	Растворимость г/л
1. Углекислый кальций . . .	100	0,0178
2. Гидрат окиси магния . . .	100	0,0400
3. Сернокислый кальций . .	150	0,4900
4. Сернокислый магний . . .	164	293,0
5. Хлористый натрий . . . .	140	296,0
6. Сернокислый натрий . . .	160	304,0
7. Хлористый магний . . . .	152	491,0
8. Хлористый кальций . . . .	140	656,0
9. Азотнокислый кальций . .	151	784,0

Из сопоставления растворимости солей, входящих в состав накипи, видно, что накипь образуется солями кальция и магния с незначительной растворимостью (1—3). Все остальные соли тех же

<sup>1</sup> R Stumper, Die physikalische Chemie der Kesselsteinbildung und ihre Verhütung, стр. 33, 1930 г.

<sup>2</sup> Гидрат окиси магния включен в группу солей условно.

металлов, как обладающие высоким коэффициентом растворимости, накипи не образуют.

Образование и рост накипи происходят в определенном химическом поле, определяемом, во-первых, химическим свойством воды, во-вторых, температурой (рабочее давление в котле) и, в-третьих, комплексом окружающих условий (тип котла, мощность, циркуляция воды и др.).

Явление образования накипи в основном сводится к выделению солей из пересыщенных растворов в твердом состоянии (твердой фазе). Пересыщенный раствор<sup>1</sup> в отношении каждой соли может быть достигнут или увеличением концентрации (например в

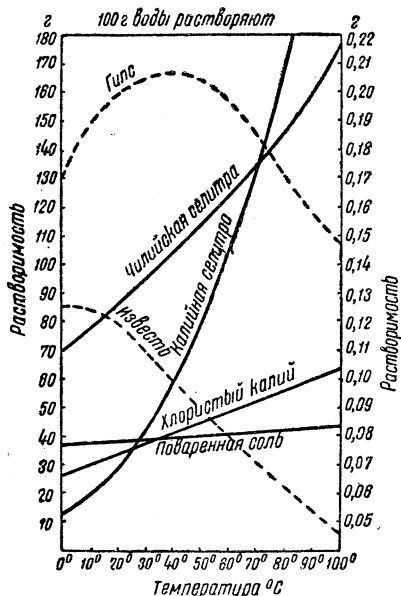


Рис. 14. Кривые растворимости различных солей в воде. Сплошными линиями обозначены растворимости, отмеченные на левой стороне чертежа; пунктиром — обозначенные на правой стороне чертежа

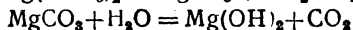
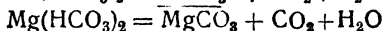
<sup>1</sup> Пересыщенный раствор, т. е. раствор с большим содержанием вещества, нежели насыщенный при той же температуре. При достижении такого состояния обычно, за небольшим исключением, происходит выделение солей в осадок.



паровом котле при испарении воды) или изменением температуры, при чем для солей с отрицательной растворимостью — с повышением температуры, для солей с положительной растворимостью — наоборот, с понижением температуры.

Основные причины образования накипи могут быть следующие.

1) Термический распад хорошо растворимых двууглекислых солей кальция и магния с переходом их в мало растворимые соединения — углекислый кальций и гидрат окиси магния:



2) Реакции между отдельными солями в воде, например:



3) Увеличение концентрации растворенных солей. При непрерывном испарении воды концентрация солей в ней постепенно увеличивается и может достигнуть предела растворимости их при данной температуре, после чего соли эти будут выпадать в осадок, например гипс, углекислый кальций.

4) Изменение температуры. Соли с положительным коэффициентом растворимости, как уже указано, выделяются в осадок при понижении температуры, с отрицательным, наоборот, — при повышении. Особый интерес при этом представляет сернокислый кальций (гипс), который при температуре около 150°, при соответствующем давлении котла, переходит в безводное состояние, весьма мало растворимое в воде, так называемый ангидрит, выпадающий в осадок (табл. 10 и рис. 15).

<sup>1</sup> Подчеркнутое -- осадок.

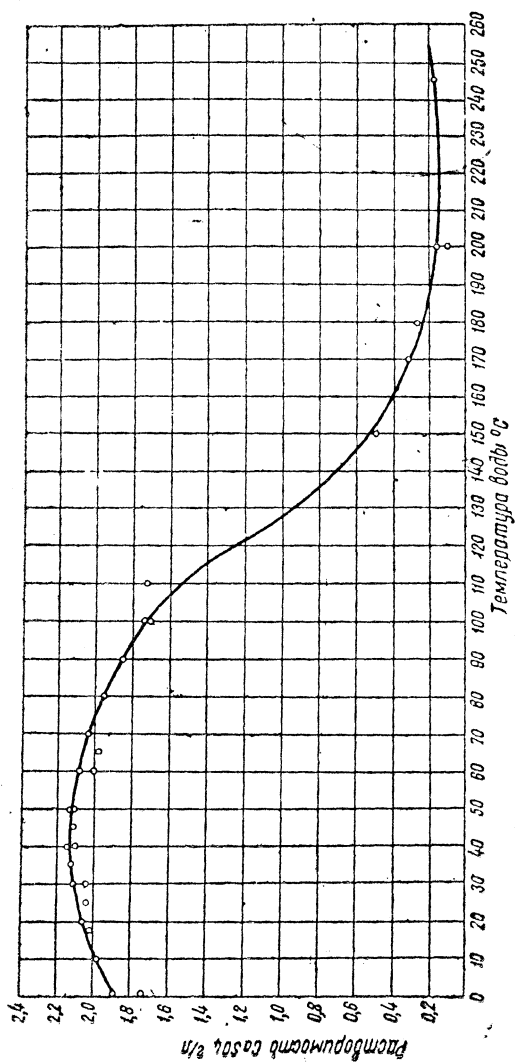


Рис. 15. Кривая растворимости гипса

Таблица 10

## Растворимость гипса при различных температурах

Температура °Ц	Давление ат	Состав кристаллов	Растворимость	
			г/л	нем гр.
10	—	$\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	1,926	79,26
100	1	$\left\{ \begin{array}{l} \text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O} \\ 2 \text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} \end{array} \right\}$	1,7	70,0
150	5,0	$\text{CaSO}_4$	0,49	20,1
180	10	$\text{CaSO}_4$	0,27	11,1
200	16,0	$\text{CaSO}_4$	0,1	4,1

Здесь мы считаем не лишним напомнить некоторые сведения из области химии, связанные с состоянием солей в растворе и реакциями между ними.

При растворении в воде солей молекулы их распадаются полностью или частично на ионы. Явление это называется электролитической диссоциацией. Ионы отличаются от атомов тем, что в отличие от последних — электрически нейтральных — они имеют определенный электрический заряд. Положительно заряженные ионы называются катионами и обозначаются или знаком плюс, или точкой сверху справа (например  $\text{Na}^+$  или  $\text{Na}^{\cdot}$ ), отрицательно заряженные ионы (кислотные остатки) называются анионами и обозначаются или знаком минус, или штрихом сверху справа (например  $\text{Cl}^-$  или  $\text{Cl}'$ ).

Таким образом, молекула хлористого натрия (поваренной соли)  $\text{NaCl}$  распадается на положительный ион натрия и отрицательный ион хлора.

Ионы металлов ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ) всегда положительны, ионы неметаллов (кислотные радикалы —  $\text{Cl}'$ ,  $\text{SO}_4'$ ,  $\text{NO}_2'$ ) всегда отрицательны.

При пропускании через раствор соли электрического тока положительные ионы (катионы) направляются к отрицательному электроду (катоде), отрицательные (анионы) к поло-

жительному электроду (аноду). На электродах ионы отдают свой заряд, превращаясь в атомы или группы атомов.

Из положительных ионов в естественных водах встречаются  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{H}^+$  и некоторые другие, из отрицательных —  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{SiO}_3^{--}$ ,  $\text{OH}^-$  и др.

Реакции в водных растворах солей происходят между ионами, а не между молекулами солей.

Число значков, указывающих заряд иона, соответствует его валентности, например  $\text{Ca}^{++}$  — двухвалентный ион кальция.

Валентность атома или группы атомов определяется числом присоединенных или замещенных атомов водорода, например хлор одновалентен, так как соединяется с одним атомом водорода ( $\text{HCl}$ ). Кислотный остаток  $\text{SO}_4^{--}$  двухвалентен, так как соединяется с двумя атомами водорода ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

Реакция может быть обратимой, т. е. идти и в ту, и в другую сторону, и характеризуется тем, что продукты реакции, химически взаимодействуя, вновь образуют исходные вещества и необратимой, т. е. идущей только в одну сторону, и сопровождающейся выделением осадка, газа или образованием воды (нейтрализация).

Обратимые реакции обозначаются противоположно направленными стрелками ( $\rightleftharpoons$ ), необратимые — стрелкой, направленной в одну сторону ( $\rightarrow$ ).

Реакции без указания направлений реакций обозначаются знаком равенства ( $=$ ).

## 2. Условия выделения накипи

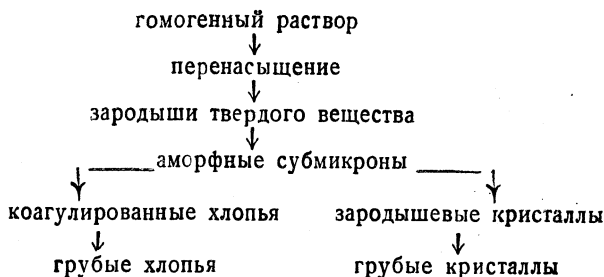
По Фрейндлиху, процесс выделения осадков протекает по следующей схеме: однородный раствор  $\xrightarrow{1}$  субмикроскопические зародыши твердого вещества  $\rightarrow$  аморфные субмикроны<sup>2</sup>  $\rightarrow$  коагулированные<sup>3</sup> хлопья  $\rightarrow$  грубые хлопья  $\rightarrow$  зародышевые кристаллы  $\rightarrow$  грубые кристаллы.

Рассматривая эти процессы в связи с образованием накипи, означенный переход удобнее представить следующим образом:

<sup>1</sup> Гомогенный раствор — однородный.

<sup>2</sup> Субмикроны — коллоидные мельчайшие вещества, присутствие которых нельзя констатировать даже при помощи микроскопа.

<sup>3</sup> Коагуляция — свертывание коллоидальных частиц с образованием хлопьев.



Для эксплуатации котельных установок такой переходный процесс имеет важное значение, поскольку он указывает на возможность тормозить ход процессов в известный момент и направлять их, по желанию, в благоприятную сторону путем прибавления защитных коллоидов<sup>1</sup>.

Процесс выделения осадков во времени зависит от скорости отдельных процессов, т. е. от скорости образования зародышей твердого вещества, от образования коллоидального раствора, коагуляции, хлопьеобразования, возникновения центров кристаллизации и, наконец, от самого роста кристаллов. Образование твердого кристаллического вещества представляет собою, таким образом, весьма сложное явление. Этим объясняется чрезвычайное разнообразие форм осадков, которое наблюдается даже в тех случаях, когда в их образовании участвует лишь одно вещество. Однако некоторые закономерности общего характера в процессе кристаллообразования все же можно отметить.

Форма и величина кристаллов, по Тамманну, определяются следующими факторами:

- 1) скоростью образования зародышевых кристаллов,
- 2) скоростью кристаллизации.

Число зародышевых центров является величиной, характерной для данного соединения, но оно зависит в значительной мере от температуры, степени пресыщенности раствора и от присутствия посторонних веществ всех степеней раздробления.

При одной и той же скорости кристаллизации число образовавшихся кристаллов тем значительнее, а размер частиц тем меньше, чем больше имеется зародышевых центров. С другой стороны, при одном и том же числе зерен, т. е. центров кри-

<sup>1</sup> Защитный коллоид — коллоид, препятствующий выделению твердого вещества.

сталлизации, крупность кристаллов тем значительнее, чем выше скорость кристаллизации.

При прибавлении к раствору некоторых посторонних веществ число центров кристаллизации повышается, при чем количество последних и скорость кристаллизации зависят от их взаимной адсорбции<sup>1</sup>.

Коллоидные вещества, как например желатин, клей, танины и пр. уменьшают скорость кристаллизации и задерживают выделение кристаллов.

В этом заключается благоприятное действие многих коллоидов на форму осадков в паровом котле.

Процесс выделения (приставания) накипи на металлических поверхностях объясняется разными авторами различно.

Известный исследователь Холл считает, что выделение накипи происходит из непосредственно прилегающего к нагретой поверхности слоя, который будет проявлять склонность к пересыщению при условии, если растворимость для данного вещества отрицательна.

Выделившиеся кристаллы будут расти до тех пор, пока продолжается теплопередача и в непосредственно прилегающем слое будет поддерживаться состояние перенасыщения.

Другой исследователь Карплюс доказывает, что накипеобразователи, растворенные в котловой воде, адсорбируются поверхностью котла, в силу чего и вызывается состояние перенасыщения, в результате чего на металлических поверхностях происходит осаждение кристаллических ядер. На этом основании Карплюс предлагает вводить в паровые котлы мелко раздробленные вещества (например коллоидный графит), обладающие суммарной поверхностью, превышающей поверхность котла, и адсорбирующие зародыши кристаллов, в результате чего, вместо твердого котельного камня, образуется шлам, сравнительно легко удаляемый при продувках.

И та, и другая теории базируются на наличии у металлической поверхности пересыщенного слоя. Однако в последнее время установлено, что выпадение накипеобразователей во многих случаях происходит еще задолго до того, как вода достигнет состояния насыщения.

По данным Отте, в означенном явлении существенную роль играют образование и рост пузырьков пара. Значение их

---

<sup>1</sup> Адсорбцией называется свойство поверхности какого-либо тела удерживать различные приходящие с нею в соприкосновение вещества. Она проявляется тем сильнее, чем больше поверхность тела.

Отте рисует следующим образом: небольшой пузырек пара (b) держится на поверхности нагрева своим основанием, имеющим форму круга (рис. 16). С увеличением пузырька до объема  $B$ , под влиянием температуры весь объем жидкости, показанный треугольниками  $pp'g$  и  $qq's$ , полностью испаряется, в результате чего на поверхности остается микроскопически тонкий солевой слой (след накипи). Как только пузырек пара оторвется от нагретой поверхности под действием силы  $Z$  (подъемной силы) и энергии циркулирующей воды, легко растворимые

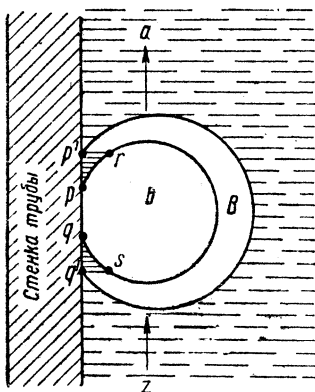


Рис. 16. Рост пузырька пара на стенке трубы

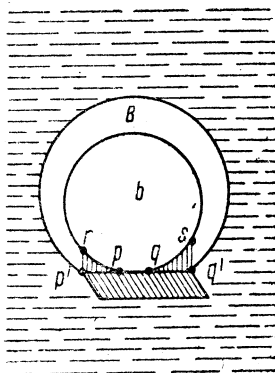


Рис. 17. Рост пузырька пара на взвешенной частице

составные части „следа накипи“ тотчас же растворяются; трудно растворимые же—лишь постепенно в зависимости от толщины отложения и растворяющих свойств самой котловой воды. Образовавшиеся частички солей являются препятствиями, у которых задерживаются новые паровые пузырьки, выделяющиеся в процессе парообразования и которые претерпевают аналогичные изменения, в результате чего, при достаточно продолжительном соприкосновении с водой и при непрерывающейся смене одних пузырьков другими, вырастает слой накипи.

Паровые пузырьки могут возникать не только на поверхности металла, но и в массе воды—на взвешенных веще-

ствах, являющихся центрами образования пузырьков пара (рис. 17).

На взвешенной частице образуется сначала небольшой пузырек пара  $b$ , который постепенно увеличивается и по достижении объема  $B$  оставляет на взвешенной частице „след накипи“, соответствующий треугольникам  $pp'r$  и  $qq's$ .

Пузырек пара может появиться также самопроизвольно, без внешней побудительной причины, т. е. не на взвешенной частице и не на поверхности нагрева. Это явление имеет место главным образом при внезапном понижении давления в паровом котле.

Малый пузырек вырастает в большой, при чем вещества, которые при этом становятся нерастворимыми, оттесняются к оболочке пузырька.

Изложенное можно резюмировать следующим образом.

Образование накипи, кроме указанного выше, может протекать в пузырьках пара, выделяющихся на поверхности нагрева, внутри массы котловой воды при наличии механических примесей и возникающих самопроизвольно. Наименее благоприятным в смысле накипобразования следует считать парообразование на поверхности нагрева, так как в этом случае накипь отлагается непосредственно на ней самой.

Два других вида парообразования приводят главным образом лишь к отложению шлама. Отсюда возникает необходимость изыскания путей и средств к возможному уменьшению образования пузырьков пара на поверхности нагрева, к перемещению его внутрь содержимого котла и к максимальному стимулированию процесса образования пузырьков пара внутри массы котловой воды.

## ГЛАВА III

### КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ

#### § 1. Объекты коррозии и факторы, ее обуславливающие

Коррозией называется разрушение металла вследствие химических или электрохимических процессов.

Коррозия может принять одну из следующих форм:



1) равномерное разрушение металла, примером чего может служить растворение железа в кислоте;

2) местные разрушения в виде каверн, изъязвлений, сквозных свищей и т. п.

Последний вид разрушений опаснее равномерного, так как металл может оказаться негодным при ничтожной его потере.

Коррозии в большей или меньшей степени подвергаются паровозные котлы и все металлические части элементов водоснабжения.

Факторы, обуславливающие коррозию, весьма многочисленны.

Главнейшие из них следующие:

1) газы: кислород, углекислый газ, сероводород;

2) растворимые соли, из которых наиболее опасными являются хлориды;

3) минеральные и органические кислоты;

4) контакт разнородных металлов, например железа и меди;

5) совместное действие высокой температуры, паров воды и продуктов разложения накипи.

## § 2. Потери от коррозии

Вред, причиняемый коррозией во всех отраслях промышленности, очень велик.

По подсчету Западношотландского института железа и стали за 33 года (с 1890 по 1923) потери от коррозии во всех странах достигли 718 млн. *т* (40%) из 1766 млн. *т* всех продукции металла, что составляет около 20—30 млн. *т* ежегодно.

По американским данным потери от коррозии на ж.-д. транспорте составляют от 1500 до 4000 долл. в год на паровоз.

На ж.-д. транспорте СССР потери металла от коррозии также составляют весьма значительную цифру.

За границей на защиту от коррозии ежегодно тратятся громадные суммы. По данным государственных ж. д. в Германии, на предохранение 1 *t* железа ежегодно расходуются 32 марки.

В СССР вопрос защиты от коррозии металла поставлен в число крупнейших народнохозяйственных задач.

### § 3. Современная теория коррозии ✓

Для объяснения явлений коррозии, происходящих во влажной атмосфере и водных растворах электролитов<sup>1</sup>, в разное время было предложено много различных теорий.

Не касаясь вопроса исторического развития их, мы ограничимся лишь современной электрохимической теорией коррозии, дополненной फिल्मовой теорией акад. В. А. Кистяковского.

В основе собственно फिल्मовой теории лежит гипотеза, что поверхность металла в воздухе, содержащем влагу, покрыта оксидной пленкой — फिल्मой.

Коррозия железа начинается в местах, где какие-либо условия (механическое воздействие, частицы пыли и проч.) нарушили целостность этой пленки.

В дальнейшем доминирующее значение приобретают гальванические процессы, возникающие между участками пленки и самим металлом, или среди частиц металла, благодаря его химической

---

<sup>1</sup> Электролит — вещество, водный раствор которого проводит электрический ток. К числу этих веществ принадлежат соли, кислоты, щелочи.

или физической неоднородности, обуславливающие образование ржавчины и разрушение металла.

Сущность гальвано процессов заключается в следующем: большинство металлов, будучи погружено в раствор какой-либо соли, отдадут в раствор некоторое количество своих частиц в виде положительно заряженных ионов, вследствие чего на металле остается эквивалентное количество отрицательного электричества, так называемых электронов<sup>1</sup>.

Сила, влекущая частички металла в раствор называется упругостью растворения металла, при чем величина ее зависит как от природы металла, так и электролита, его окружающего.

Итак, частички металла при переходе в раствор заряжаются положительно, а на пластинке скопляются электроны, обуславливающие ее отрицательный заряд.

Таким образом, непосредственно прилегающий к пластинке слой раствора заряжается положительно, и может наступить такой момент, когда стремление металла к растворению будет уравновешено сопротивлением, оказываемым разнородными электрическими зарядами, почему металл и не будет больше переходить в раствор.

Поэтому для того, чтобы создать непрерывный электрохимический процесс, ведущий к непрерывному растворению металла, необходимо включение в пару двух разнородных металлов или иных проводников, обладающих различной упругостью растворения.

---

<sup>1</sup> Электрон — наименьшее количество отрицательного электричества.

Для примера разберем элемент Даниэля. Как известно, последний состоит из цинковой пластинки, погруженной в раствор цинкового купороса, и медной — в раствор медного купороса, при чем сосуд разделен пористой перегородкой или состоит из двух сообщающихся сифонной трубкой сосудов (рис. 18).

Вследствие сравнительно большой величины упругости растворения, присущей цинку, частич-

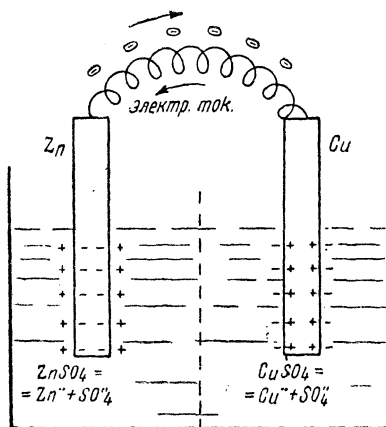
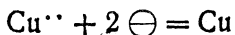


Рис. 18. Схема элемента Даниэля

ки его довольно легко будут переходить в раствор в виде положительно заряженных ионов (катионов), выделяя на металле эквивалентное количество электронов, создающих некоторое „давление“; при этом пластинка заряжается отрицательно, а непосредственно прилегающий слой раствора — положительно. Медь, как обладающая

значительно меньшей упругостью растворения, нежели цинк, будет поэтому обладать сравнительно ничтожным „давлением“ электронов, вследствие чего ионы меди будут выделяться из раствора медного купороса на пластинке, обуславливая ее положительный заряд, в то время как прилегающий слой раствора, из которого выделяются положительные ионы меди, будет иметь избыток отрицательных зарядов ( $\text{SO}_4^{--}$ ) и зарядится отрицательно. При контакте этих двух электродов электроны будут перетекать с цинка на медь, где они нейтрализуют легко разряжаемые положительные ионы меди и тем способствуют переходу в раствор новых порций цинка.

Таким образом, благодаря контакту электродов различных металлов осуществляется непрерывный процесс на обоих электродах — растворение цинка на отрицательном полюсе, или аноде (согласно обозначению, введенному Фарадеем, мы называем анодом тот электрод, на котором образуются катионы, а катодом — электрод, на котором разряжаются катионы) и осаждение меди на положительном, или катоде по схеме:



Стремление металлов перейти в раствор может быть выражено в электростатических единицах — вольтах. Сравнивая их с водородом, можно расположить по электродным потенциалам в так называемый ряд напряжений.

В табл. II приведен ряд напряжений для некоторых металлов в нормальных растворах соответствующих им ионов:

Таблица 11

## Ряд напряжений

Металл	Ион	Потенциал в вольтах	Металл	Ион	Потенциал в вольтах
Алюминий .	Al <sup>3+</sup>	—1,43	Свинец . .	Pb <sup>2+</sup>	—0,12
Цинк . . .	Zn <sup>2+</sup>	—0,76	Олово . . .	Sn <sup>2+</sup>	—0,10
Хром . . .	Cr <sup>3+</sup>	—0,60	Водород . .	H <sup>+</sup>	±0,00
Железо . .	Fe <sup>2+</sup>	—0,43	Медь . . .	Cu <sup>2+</sup>	+0,34
Кадмий . .	Cd <sup>2+</sup>	—0,40	Серебро .	Ag <sup>+</sup>	+0,80
Никель . .	Ni <sup>2+</sup>	—0,22			

Из этой таблицы можно сделать следующий вывод: при контакте двух элементов разрушается более электроотрицательный, т. е. менее благородный, — в данном случае каждый из вышестоящих в отношении последующего.

Таким образом, при контакте цинка и железа разрушается цинк, при контакте свинца или меди и железа разрушается железо и т. д.

Углерод (графит) по своим электрохимическим свойствам занимает место еще ниже серебра. Он дает гальванические пары со всеми элементами, образуя нерастворимый положительный электрод и растворимый отрицательный, находящийся с ними в контакте.

Принципиально ничего не изменится, если вместо упомянутых электролитов будет водный раствор какой-либо соли или смеси солей, — вся разница заключается только в том, что на медной пластинке вместо меди будет выделяться водород.

Следовательно при контакте двух различных проводников и наличии электролита возникает гальванопроцесс, приводящий к растворению (разрушению) одного из них — менее благородного

(анод) и к выделению водорода на другом — более благородном (катод).

Каждый технический металл, уже в силу производственного процесса получения его, не является в химическом смысле однородным; это особенно хорошо видно на микрофотографиях, например железа и стали, где наряду с кристаллами чистого железа (феррит) находятся частицы графита (свободный углерод), карбида железа ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), шлаки и прочие включения.

Все эти составные части имеют различные потенциалы и при смачивании или при погружении

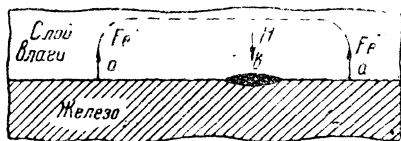


Рис. 19. Схема местного гальваноэлемента  
 а — растворяющийся металл —  
 анодные участки,  
 б — более благородное включение —  
 катодный участок

в раствор солей (естественная, котловая вода) образуют между собой многочисленные гальванические пары (микроэлементы), в которых наиболее отрицательным (менее благородным) будет феррит, растворяющийся и дающий ржавчину, занимающую объем, почти в десять раз превышающий объем железа, из которого она образовалась (рис. 19). Однако ржавчина сама есть проводник и может являться электродом, образуя с железом гальваническую пару, при чем более благородным будет ржавчина (как уже окислившаяся), а менее

благородным — соприкасающееся с ней железо, за счет которого ржавчина будет расти, проникая в металл, как бурав. Вот почему своевременное уничтожение этих коррозионных центров в известной мере может предохранить металл от дальнейшего разрушения.

Неоднородность металла, вызванная физически (например изгиб, удар, наклеп), также обуславливает образование микроэлементов и разрушение более деформированного участка, так как последний будет обладать более низким (отрицательным) потенциалом по сравнению с соседним.

Из сказанного можно сделать следующий практический вывод: чем однороднее, чем чище металл, чем менее он подвергнут деформациям, тем меньше условий для образования микроэлементов, тем он будет устойчивее против коррозии.

#### **§ 4. Влияние примесей воды на процессы коррозии**

##### **1. Роль кислорода и других газов, растворенных в воде**

Кислород является одним из активнейших факторов коррозии. Его роль в электрохимическом процессе заключается в следующем.

Первым продуктом, образующимся при гальванокоррозии железа, является закись железа, по мере накопления которой в растворе интенсивность процессов коррозии постепенно падает. Присутствующий же в воде кислород воздуха окисляет (переводит) гидрат закиси железа в гидрат окиси, образующий нерастворимый в воде осадок — ржавчину, и, таким образом, освобождает ее от железа, способствуя бесперебойному течению процесса (рис. 20).



С другой стороны, кислород окисляет водород, выделяющийся при гальванопроцессе на более

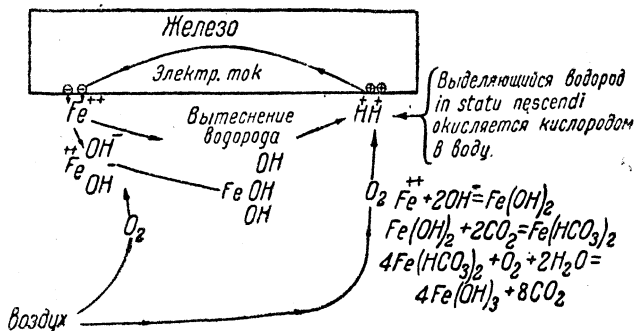


Рис. 20. Действие воды и кислорода на металл

благородных частях, деполяризует<sup>1</sup> их, облегчая тем процесс выделения водорода и увеличивая интенсивность коррозии.

Кроме того не исключена возможность самостоятельного окисления металла без участия электрохимических сил.

Пузырьки воздуха, содержащие кислород, скопляются преимущественно в местах ввода питательной воды в паровые котлы и охлаждающие

<sup>1</sup> При гальванопроцессе на катоде выделяется водород в виде пузырьков, который, не имея возможности быстро с него удалиться, может уменьшить разность потенциалов между электродами и тем ослабить в той или иной мере работу элементов, а следовательно и коррозию. Действие выделяющегося на катоде водорода известно под именем поляризации. Роль кислорода состоит в том, что он окисляет выделяющийся на катоде водород в воду и тем освобождает поверхность для дальнейшего выделения водорода, ускоряя этим процесс. Этот процесс носит название деполяризации.

системы и наиболее прочно удерживаются на шероховатой поверхности металла, обуславливая протравления различной величины, при чем в большинстве случаев кислород дает очаги локализованной „точечной“ коррозии, нередко приводящей к сквозным протравлениям металла (рис. 21, 22).

Таким образом, все условия, способствующие притоку воздуха и влаги к металлу, тем самым способствуют его коррозии. Рассматривая с этой

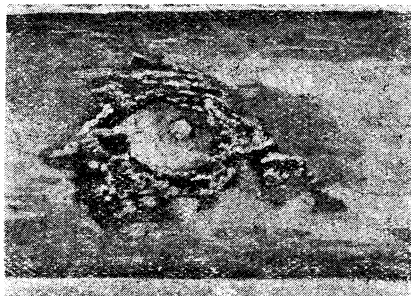


Рис. 21. Сквозное протравление металла под влиянием кислорода

точки зрения вопрос о том, какая вода действует более разрушающе — стоячая или проточная, следует признать, что последняя, очевидно, вреднее, так как она приносит непрерывно новые порции кислорода на место уже использованного в процессе коррозии.

Углекислый газ, всегда сопутствующий кислороду, рассматривался по большей части лишь как катализатор (ускоритель) процессов окисления; однако в последнее время установлено, что зна-

чительное количество углекислоты в паровых котлах может обуславливать разъедание металла даже в отсутствии кислорода, при чем при наличии хлористого натрия углекислота приобретает свойства довольно сильной кислоты.

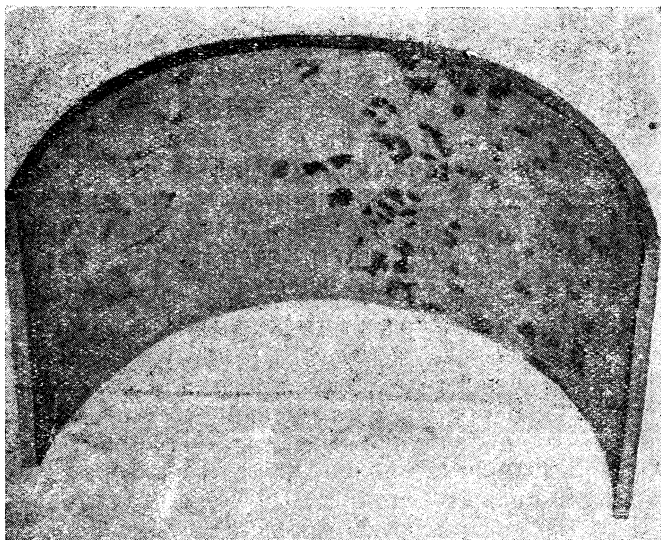


Рис. 22. Разрез трубы, подвергнутой кислородной коррозии

Особенно вредно присутствие углекислоты в котлах с давлением выше 50 атм.

Кроме кислорода и углекислоты, в воде иногда присутствует сероводород, который также разрушает металл с образованием сернистого железа как в атмосферных условиях, так и в паровых котлах.

## 2. Влияние органических и минеральных кислот

Наличие органических кислот, как например гуминовой, часто встречающейся в воде болот, рек и прудов, может обуславливать протравление металла паровозных котлов.

То же может иметь место при загрязнении воды нефтью, маслами и т. п. веществами.

Минеральные кислоты в естественных водах (реки, пруды) встречаются лишь в результате загрязнения их сточными водами, выпускаемыми с химических и других производств. Разъедание этими кислотами происходит значительно интенсивнее, нежели органическими.

## 3. Влияние растворенных солей

Большинство солей, находящихся в естественных водах, в большей или меньшей степени обуславливает разъедание металла. Наиболее опасными в смысле коррозии, как это видно из таблицы 12, являются хлористые соли и особенно хлористый магний, который в условиях парового котла сравнительно легко подвергается гидролизу (разлагается) с образованием гидрата окиси магния и соляной кислоты. Последняя, реагируя с железом, переводит его в хлористое; благодаря наличию кислорода хлористое железо окисляется в хлорное, которое в свою очередь гидролизуется, образуя вновь соляную кислоту, и описанный процесс таким образом повторяется.

Другие хлористые соли, как например, хлористый натрий, также вредны, но действуют несколько менее энергично.

Таблица 12

Влияние растворов различных солей на коррозию металла при 15 атм давления (по Boschard и Pfeninger).

№ п. п.	Электролиты	Коррозионное действие
1.	Дистиллированная вода, свободная от углекислого газа . .	1
2.	Хлористый магний 1% . . .	51,1
3.	Хлористый натрий » . . .	31,1
4.	Сернистый магний » . . .	20,5
5.	Сернистый натрий » . . .	18,8
6.	Азотнокислый магний » . . .	11,7
7.	Хлористый кальций . . . .	11,0
8.	Сернистый кальций » . . .	10,5
9.	Азотнокислый кальций » . . .	10,1
10.	Азотнокислый натрий » . . .	9,0

С другой стороны, коррозионное действие хлористых солей заключается в их специфической способности активировать поверхность металла, разрушая защитный слой пленки.

Содержание хлоридов в источниках колеблется в самых широких пределах от 3—10 мг/л (Октябрьская, Кировская, Закавказская ж. д.) до 400—800 мг/л (Сталинская, Сталинградская, Омская, Рязано-Уральская, Южная ж. д.), достигая иногда 2000 мг/л, а в некоторых случаях и более высоких цифр (Ташкентская, Ашхабадская, Турксиб, Южно-Уральская, Оренбургская ж. д.).

Совместное присутствие кислорода и хлоридов в воде является наиболее опасным. В этом случае коррозия принимает резко агрессивный характер и проявляется преимущественно в форме сквозных свищей, примером чего могут служить Сталинская, Сталинградская ж. д. и некоторые другие,

где смена дымогарных труб на ряде участков по указанной причине достигала очень высокой цифры (рис. 23).

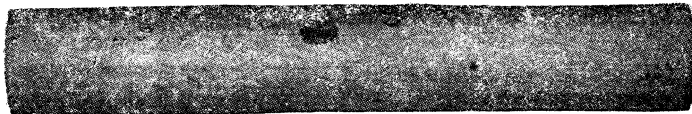


Рис. 23. Действие хлоридов. Сквозные протравления дымогарной трубы

По немецким данным, присутствие в воде хлоридов выше 200 мг/л может вызвать разрушение водопроводных труб, по американским — коррозия паровых котлов может происходить при содержании хлоридов в питательной воде выше 50 мг/л.

Присутствие в воде железа, выделяющегося в паровых котлах в виде накипи или шлама, может служить катализатором (ускорителем) коррозии.

### § 5. Каустическая (щелочная) хрупкость металла

Под названием каустической хрупкости понимают такое повреждение котельного металла, которое происходит при наличии в котле высоких концентраций едких щелочей.

Причиной, обуславливающей хрупкость, является действие на металл водорода, выделяющегося при взаимодействии железа с щелочами и делающего металл хрупким вследствие образования межкристаллических трещин в условиях высокой температуры и давления (рис. 24).

Наличие щелочей в количестве 350 г/л уже может вызвать явление хрупкости.

Такая концентрация практически в паровом котле недостижима. Однако явление это может иметь место в заклепочных швах, в соединениях листов, в недостаточно тщательно зачеканенных зазорах и капиллярных пространствах, где концентрация едких щелочей может достигнуть больших величин. В результате образуются трещины,

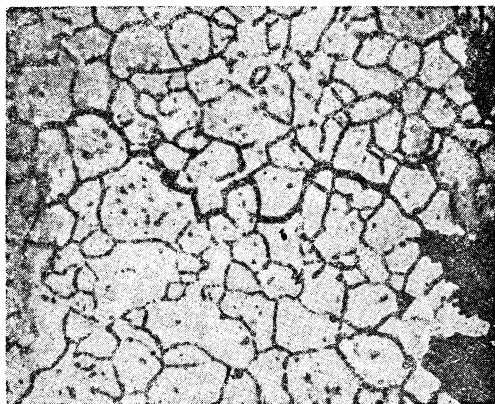


Рис. 24. Микрофотография котельного металла, подвергнутого каустической хрупкости

разрывы по линиям заклепочных швов со всеми вытекающими отсюда последствиями (рис. 25 и 26).

Присутствие только одних щелочей еще не всегда обуславливает хрупкость металла, и для этого необходимо некоторое перенапряжение металла выше предела его текучести. Последнее вполне возможно, так как при холодной обработке котельного материала в области заклепочных

швов действительно получаются большие внутренние перенапряжения, не всегда удаляемые последующей термической обработкой.

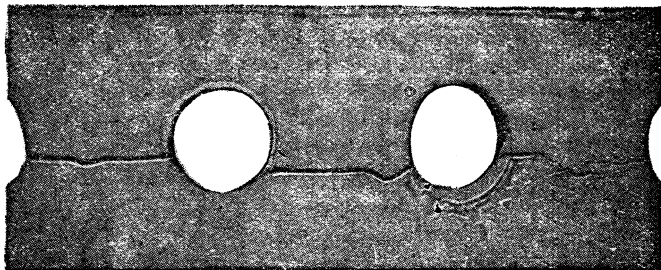


Рис. 25. Повреждение металла в результате каустической хрупкости

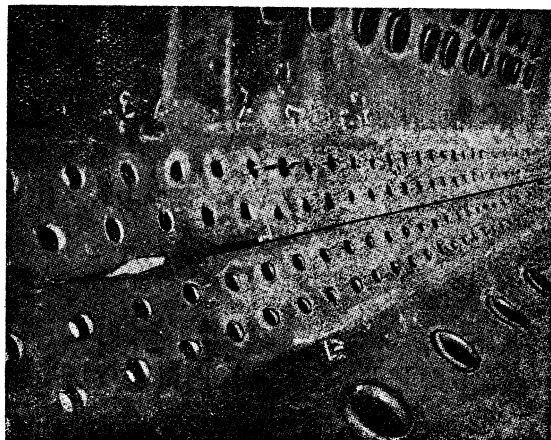


Рис. 26. Трещины по линии заклепочного шва, вследствие каустической хрупкости



Случаи каустической хрупкости в котельных установках Союза пока не отмечались.

Наиболее радикальной мерой борьбы служит добавка в котлы сернокислого натрия (глауберовой соли), содействующего образованию защитного слоя на металле, предохраняющего металл от воздействия концентрированных щелочей.

По инструкции Энергоцентра добавку сернокислого натрия следует производить с таким расчетом, чтобы отношение концентрации щелочи в котловой воде, выраженное в углекислом натрии ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), к концентрации сульфатов ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) составляло как  $1:0,14 p$ , где  $p$ —давление в паровом котле в атмосферах.

В последнее время для этой цели вместо глауберовой соли рекомендуют тринатрийфосфат, ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ), который при значительно меньшем расходе дает лучший эффект.

## § 6. Гальванокоррозия

Этот вид коррозии обуславливается контактом разнородных металлов при наличии электролита, в результате чего образуется гальванопара (рис. 27) и разрушается менее благородный металл<sup>1</sup>.

Так например, в паровозных котлах с медными топками и железными связями подвергаются разрушению последние (разрыв связей—рис. 28 и 29).

Такие случаи довольно часты в депо, где питательные воды содержат значительное количество растворенных солей, и следовательно котловые воды обладают высокой электропроводностью.

<sup>1</sup> Условий для возникновения гальванокоррозии очень много. Так например, означенный процесс может происходить при одном и том же металле, но различных марок, при разных напряжениях в соприкасающихся частях и пр.

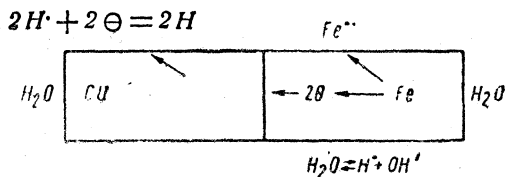


Рис. 27. Схема гальванической пары: медь — железо

В насосах всех видов наличие разнородных металлов, особенно находящихся во взаимном движении, также обуславливает разрушение менее благородного из них.

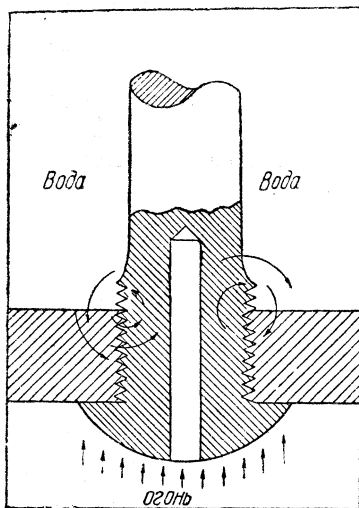


Рис. 28. Схема разрушения железной связи, находящейся в контакте с медной стенкой топки

Для предупреждения означенного процесса необходимо стремиться, чтобы соприкасающиеся металлические части изготавливались из вполне однородных материалов.

## § 7. Газовая коррозия металла под накипью

Коррозия этого типа характеризуется непосредственным воздействием на металл при высокой температуре (выше  $400^\circ$ ) кислорода, водяных паров и различных газов, образующихся в паровых

котлах за счет разложения накипи при перегреве металла.

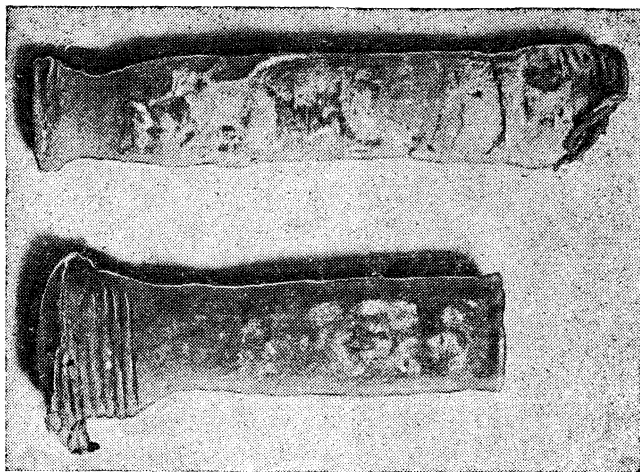


Рис. 29. Железная связь, подвергнутая гальванокоррозии

#### ГЛАВА IV

### ВСПЕНИВАНИЕ И БРОСАНИЕ КОТЛОВЫХ ВОД

Под вспениванием воды в паровых котлах подразумевается свойство воды образовывать при парообразовании стойкую пену; под бросанием — неспокойное парообразование, кипение толчками и внезапное увлечение воды с паром.

Оба явления могут иметь место независимо друг от друга, но могут происходить и одновременно,

Следствием того и другого является унос воды с паром в паропроводы (увеличение влажности пара), в элементы пароперегревателя, а в некоторых случаях заброс воды с шламом в цилиндры паровой машины, со всеми вытекающими последствиями, вплоть до разрушения последних.

Частицы воды, попадающие в элементы пароперегревателя испаряются, оставляя на их стен-

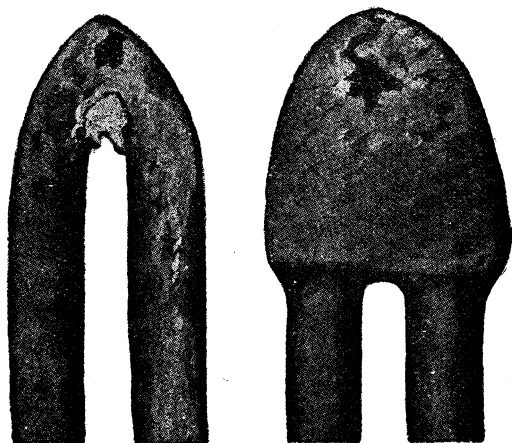


Рис. 30. Перегоревшие элементы пароперегревателей

ках выделяющиеся из воды соли и механические примеси. Под действием высокой температуры эти отложения цементируются в весьма плотную массу, нередко забивающую элементы пароперегревателей совершенно наглухо. Эти отложения значительно ухудшают теплопередачу через стенки элементов, вследствие чего понижается температура перегрева пара и значительно перегревается

металл, особенно колпачки, которые быстро сгорают (рис. 30 и 31).

Помимо того, когда котловая вода пенится, уровень ее поднимается выше нормального, вследствие чего показания воломерного стекла становятся неправильными. При закрытии регулятора,

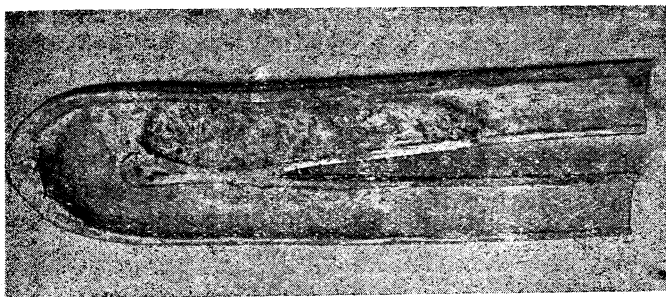


Рис. 31. Отложение солей в элементе пароперегревателя. Продольный разрез

когда интенсивное кипение прекращается, вода в котле успокаивается и уровень ее при этом быстро падает, что может в некоторых случаях вызвать оголение потолка топки и поджог его.

Явления эти по большей части имеют место при питании паровозов водами, загрязненными механическими примесями, щелочными водами, солончаковыми, а также при неправильной эксплуатации паровозных котлов.

Исследование причин вспенивания и бросания воды служит предметом работ многих исследователей, но окончательного разрешения вопрос этот еще не получил,

Большинство исследователей означенные явления объясняет наличием двух основных факторов: физических и физико-химических.

К первым, обуславливающим главным образом бросание воды, относятся: недостаточное паровое пространство, сложность его устройства, наличие большого количества связей, перегородок и т. д. Явления эти принимают большие масштабы при передвижении масс воды вследствие изменения положения самого котла, как например в паровозах и пароходах. Отскакивание накипи, внезапное попадание механических примесей с питательной водой, изменение напряжения и, наконец, быстрое включение (открывание) регулятора — все это также может служить причиной указанных явлений.

Ко вторым, обуславливающим преимущественно вспенивание, следует отнести наличие определенной концентрации различных солей: углекислого натрия, двууглекислого натрия, едкого натра, сернокислого натрия, при одновременном присутствии какого-либо измельченного вещества.

Присутствия только одних солей натрия, вопреки распространенному мнению, еще совершенно недостаточно для получения вспенивания.

Помимо этого, вспенивание вызывается органическими веществами, растворенными в воде или находящимися во взвешенном состоянии, причем, согласно данным Штумпера и Зауэра, наиболее опасным размером частиц как органических, так и минеральных являются 0,1—0,3 микрона.

Роль механических примесей наглядно подтверждается следующими фактами из практики.

Если котел вначале питать жесткой водой — до тех пор, пока образуется накипь, а затем мягкой, то вследствие постепенного размягчения накипи и образования шлама вода начинает сильно пениться. Явления эти имеют место на транспорте при смене питания котлов с жестких вод на мягкие или щелочные. Содержание в последнем случае в котловой воде соды и едкого награ давало повод неправильно приписывать натриевым солям исключительную роль в пенообразовании.

Воды, недостаточно умягченные одним из способов — известково-содовым или цеолитовым, — доумягчаются в котле за счет высокой температуры, выделяя при этом мелкие нерастворимые частицы солей кальция и магния, обуславливающие вспенивание.

Аналогичное явление может иметь место и при внутрикотловой обработке при несоблюдении основных правил эксплуатации (дозировки, продувки) и контроля.

На вспенивание, но главным образом на бросание воды, также оказывает влияние концентрация солей в воде. Чем выше она, тем резче и тем чаще воду бросает.

В этом отношении наиболее опасными являются жесткие и солончаковые воды.

Вспенивание и бросание котловых вод довольно распространено на нашем ж.-д. транспорте.

Явления эти преимущественно имеют место в районах с щелочными и солончаковыми водами (Рязано-Уральская, Ташкентская, дорога им. Л. М. Кагановича, Сталинская, Сталинградская, им. Куйбышева, некоторые сибирские ж. д. и др.).

Воды, богатые гуминовыми веществами (Северная ж. д.), также склонны к образованию пены.

## ГЛАВА V

ТЕЧЬ ДЫМОГАРНЫХ ТРУБ В ПАРОВОЗНЫХ  
КОТЛАХ

Явление течи труб наблюдается преимущественно в районах вод, содержащих большое количество растворимых солей, и состоит в том, что в огневой решетке, в месте соприкосновения дымогарных труб, происходит просачивание воды в большем или меньшем количестве.

Первопричиной этого явления служит наличие неплотностей в местах соединения дымогарных труб с огневой решеткой.

Наличие прозоров, особенно при недостаточном тщательном ремонте труб, всегда возможно<sup>1</sup>.

Растворенные соли, проникая в соединения между дымогарными трубами и решеткой и быстро испаряясь под действием высокой температуры топки, выделяются в местах этих соединений в безводном состоянии в виде прослойки.

После прекращения огня в топке эти соли, под действием просачивающейся воды, переходят в водное — кристаллическое состояние. Процесс кристаллизации влечет за собой увеличение объема, благодаря чему несколько распирается решетка или сжимаются наконечники дымогарных труб и тем еще больше ослабляется плотность прилегания дымогарных труб к отверстиям в решетке, а следовательно и увеличивается течь.

---

<sup>1</sup> Нарушение плотности соединений как дымогарных труб с огневой решеткой, так и других частей котла, как например связей, анкерных болтов, может происходить также вследствие неравномерного нагревания (и, следовательно, расширения) соприкасающихся частей при наличии накипи.



Наибольшее значение при этом имеют сернокислый магний, хлористый кальций, углекислый натрий и сернокислый натрий, особенно последний, который при охлаждении, перейдя температуру  $32,5^{\circ}\text{C}$ , кристаллизуется с 10 частицами воды (рис. 32).

При возобновлении огня указанные явления повторяются, но уже с большей силой, благодаря

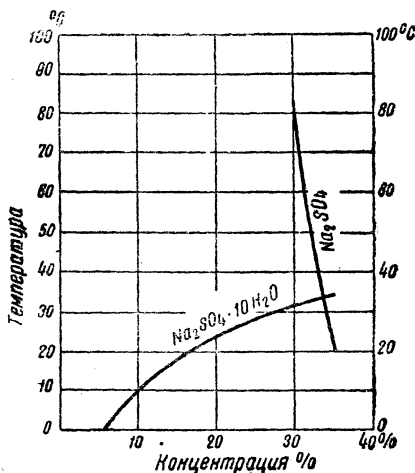


Рис. 32. Растворимость сернонатриевой соли в воде

увеличению прозоров, почему и течь труб соответственно увеличивается, против чего бессильна развальцовка и что устраняется лишь сменой труб.

Переход солей из безводного состояния в водное происходит не только при прекращении огня в топке, но и при случайных и неизбежных охлаждениях концов дымогарных труб струей

холодного воздуха, попадающего в топку при забрасывании угля, и чистке колосников, связей, анкерных болтов.

Аналогичное явление может иметь место при неплотностях люков, клепанных швов, при чем выделение воды сопровождается образованием соляных натеков.

Все эти явления обуславливают расстройство в работе паровоза и необходимость постановки его на ремонт.

То же наблюдается при смене питания паровозных котлов с жесткой воды на мягкую или щелочную.

Мерами борьбы с означенным явлением служат: доброкачество котельного ремонта, очистка пространств между трубой и огневой решеткой от отложившихся солей, надлежащая вальцовка, умягчение воды и соблюдение определенной концентрации котловой воды (примерно не выше 2° Боме) при правильной эксплуатации паровозного котла.

Наиболее радикальной мерой служит сплошная приварка дымогарных труб после очистки их от солей и развальцовки.

## ГЛАВА VI

### УМЯГЧЕНИЕ ВОДЫ

#### А. ИЗВЕСТКОВО-СОДОВЫЙ СПОСОБ

#### § 1. Химические процессы при известково-содовом способе и свойства умягченной воды

##### 1. Химические процессы водоумягчения

Способ этот основан на том, что при добавлении к умягчаемой воде извести и соды раст-

воренные в ней соли кальция и магния, обуславливающие жесткость ее, выделяются в осадок в виде очень мало растворимых солей углекислого кальция и гидрата окиси магния, благодаря чему жесткость воды понижается.

При рациональном исправлении воды этим способом жесткость ее может быть понижена до 3 — 4 нем. гр. без подогревания, при умеренной щелочности (5 — 6 нем. гр.), независимо от первоначальной жесткости исправляемой воды.

Химические реакции, происходящие при умягчении, представлены в табл. 13.

Из приведенных реакций видно, что при удалении временной (карбонатной) жесткости воды солесодержание в умягченной воде понижается.

При удалении постоянной (некарбонатной) жесткости в умягченной воде образуется эквивалентное количество растворенных солей.

Таким образом, чем больше временная жесткость, тем значительнее понижение солевой массы (сухого остатка) в воде.

Одновременно с умягчением вода в значительной степени освобождается от механических примесей, углекислоты, железа, и частично от растворенных органических веществ и кремневой кислоты.

Скорость химических процессов повышается с увеличением температуры, а полнота химических реакций зависит от избытка добавляемых реагентов — извести и соды. Следовательно, для получения возможно низкой остаточной жесткости, экономии времени и уменьшения габаритов установок желательны подогрев воды и некоторый избыток

Таблица 13

## Схема реакций известково-содового умягчения

Соединения, содержащиеся в неумягченной воде	Реагенты	Продукты реакции	
		в осадке	в растворе
Временная (карбонатная) жесткость. . . . .	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ + Бикарбонат кальция	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ = Известь	$2\text{CaCO}_3$ + Карбонат кальция (мел) + $2\text{H}_2\text{O}$ + Вода
	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ + Би карбонат магния	$2\text{Ca}(\text{OH})_2$ = Известь	$\text{Mg}(\text{OH})_2$ + $2\text{CaCO}_3$ + Гидрат окиси магния и карбонат кальция + $2\text{H}_2\text{O}$ + Вода
Растворенные газы .	$\text{CO}_2$ + Углекислый газ	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ = Известь	$\text{CaCO}_3$ + Карбонат кальция + $\text{H}_2\text{O}$ + Вода
	$\text{MgSO}_4$ + Серноокислый магний	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ = Известь	$\text{Mg}(\text{OH})_2$ + Гидрат окиси магния + $\text{CaSO}_4$ + Серноокислый кальций — гипс

	$\text{MgCl}_2$	+	$\text{Ca(OH)}_2$	=	$\text{Mg(OH)}_2$	+	$\text{CaCl}_2$
	Хлористый магний		Известь		Гидрат окиси магния		Хлористый кальций
	$\text{CaSO}_4$	+	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	=	$\text{CaCO}_3$	+	$\text{Na}_2\text{SO}_4$
	Сернокислый кальций—гипс		Кальцинированная сода		Карбонат кальция		Сернокислый натрий
	$\text{CaCl}_2$	+	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	=	$\text{CaCO}_3$	+	$2 \text{ NaCl}$
	Хлористый кальций		Сода		Карбонат кальция		Хлористый натрий (поваренная соль)
Железо . . . . .	$4\text{Fe(НСO}_3)_2 + \text{O}_2$		$+ 8\text{Ca(OH)}_2 =$		$8\text{CaCO}_3 +$	+	$6\text{H}_2\text{O}$
	Бикарбонат железа и кислород		Известь		$+ 4\text{Fe(OH)}_3$		Вода
					Карбонат кальция и гидрат окиси железа		
Взаимодействие реагентов . . . . .	$\text{Ca(OH)}_2$	+	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	=	$\text{CaCO}_3$	+	$2 \text{ NaOH}$
	Известь		Сода		Карбонат кальция		Едкий натр

реактивов по сравнению с теоретическими расчетами.

Однако подогрев воды на транспорте не применяется в виду невозможности использовать нагретую воду для питания паровозов вследствие неизбежного охлаждения ее в пути прохождения до поступления в паровой котел.

Эффект умягчения может быть повышен применением коагулянта — сернокислого алюминия  $Al_2(SO_4)_3$  до или одновременно с добавкой реагентов, при котором из воды значительно полнее удаляются органические вещества, мешающие ходу реакций (задерживающие выпадение накипеобразователей) и ускоряется выделение осадков.

Понижение остаточной жесткости в умягченной воде может быть достигнуто присадкой к ней тринатрийфосфата.

Согласно последним данным, некоторого понижения остаточной жесткости удается достигнуть также при фильтрации умягченной воды через мраморные фильтры (фильтры, наполненные мраморной крошкой<sup>1</sup>).

Особое внимание в процессе умягчения воды необходимо обращать на правильную дозировку реагентов, так как недостаток их обуславливает высокую остаточную жесткость, а чрезмерный избыток — высокую щелочность, которая может служить причиной разъедания арматуры котлов и водомерных стекол, а также вспенивания и бросания котловой воды.

---

<sup>1</sup> Явление это, повидимому, объясняется каталитическим (ускоряющим) действием мрамора ( $CaCO_3$ ) на довыпадение углекислого кальция, содержащегося в фильтруемой воде.

Избыток же прибавленной извести, при недостатке соды, может обуславливать образование в котле твердой накипи.

При смешении умягченной воды с неумягченной, а также при форсированной работе водоумягчителя или неудовлетворительной фильтрации в умягченной воде образуется муть, в значительной части состоящая из углекислого кальция. Последний, выделяясь в водопроводных трубах в виде плотного осадка<sup>1</sup> может современем уменьшить внутренний диаметр труб и снизить пропускную способность водопровода.

## 2. Свойства умягченной воды

При правильном ведении процесса умягчения воды в паровозных котлах не только не образуется новая накипь, но часто разрыхляется и отстает старая, причем все трещины и неплотности в соединениях и зазорах, зацементированные ранее накипью, обнажаются и через них происходит просачивание воды. Явление это нередко вызывает нарекание на умягченную воду, которая, якобы, служит причиной протравления металла.

Умягченная вода, не содержащая большого избытка реагентов, вполне пригодна для питьевых целей, за исключением гипсовых вод, в которых в результате обменных реакций образуется большое количество сернокислого натрия (глауберова соль), обладающего слабительными свойствами.

---

<sup>1</sup> Аналогичное явление также имеет место при высокой остаточной жесткости умягченной воды, главным образом за счет бикарбонатов.

## § 2. Современное состояние водоумягчения

### 1. Основные типы и элементы установок

В настоящее время насчитывается не один десяток различных систем водоумягчительных аппаратов, причем при незначительном числе основных типов наблюдается много различных вариантов.

История водоумягчения имеет далекое прошлое. Впервые теоретически этот вопрос был разработан Кавендишем в 1766 г., указавшим на возможность выделения солей кальция и магния известковой водой.

Принцип работы водоумягчителей заключается в том, что к воде, в зависимости от жесткости и пропорционально объему ее, прибавляют реагенты — соду и известь; смесь после определенного времени взаимодействия фильтруется и затем поступает в бак для хранения воды, откуда расходуются по назначению.

Большинство установок для умягчения воды при известково-содовом способе состоят из следующих частей:

- 1) приспособлений для приготовления и дозировки реагентов,
- 2) устройств для смешения воды с реагентами,
- 3) отстойников и
- 4) фильтров.

При наличии в воде небольшой взвеси последняя, как указано выше, удаляется одновременно с выпадающими из воды солями в осадок; при содержании же большого количества необходима добавка коагулянта, или даже предварительное отстаивание воды в специальных отстойниках с



коагуляцией или без таковой (подробно см. в гл. XII, „Очистка воды для питьевых целей“).

Существующие типы водоумягчителей можно разделить на аппараты периодического действия (цикловые), непрерывнодействующие и комбинированные.

Аппараты циклового действия состоят из системы баков определенной емкости, в которые

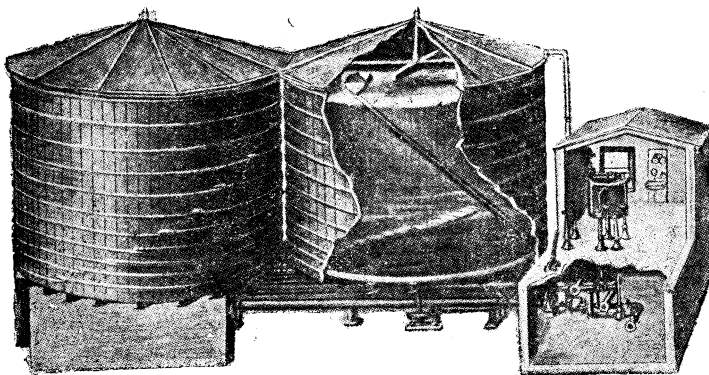


Рис. 33. Цикловой водоумягчитель на ж. д. Америки

попеременно загружают определенные количества реактивов с последующим перемешиванием и отстаиванием (рис. 33).

По данным нашей и зарубежной практики аппараты эти могут давать вполне удовлетворительные результаты, причем строительная стоимость их не дороже непрерывнодействующих.

Комбинированные водоумягчители характеризуются тем, что при наличии основных устройств аппаратов циклового действия, путем дополни-

тельных приспособлений (включением отстойника) достигается непрерывность их действия.

Указанные водоумягчители находят применение на небольших предприятиях в СССР и за границей.

Идея непрерывнодействующих водоумягчителей основана на пропорциональном, одновременном и непрерывном поступлении в аппарат умягчаемой воды и растворов реагентов. Достигнуть точного соответствия между реагентами и умягчаемой водой однако удается не всегда; при этом, чем аппарат конструктивно сложнее, тем труднее сохранить это условие, так как механизмы аппарата в силу целого ряда причин, далеко не отличаются постоянством своего действия.

Дозирование реагентов на установках этого типа осуществляется при помощи различных приспособлений, как например гидравлических колес, приводимых в движение поступающей водой (сист. Гинсбург, Борман—Шведе, Дерюмо и др. рис. 34)] кранов, шиберов, поплавков, черпачков (Зейфферг, Беранже и Штингль, рис. 35) и, наконец, вытеснением растворов реагентов определенными количествами неумягченной воды.

Наиболее надежным, в смысле постоянства своего действия и точности дозирования, является последний из перечисленных способов, примененный у нас на водоумягчителях „Струя“.

Устройства для смешения реагентов с умягчаемой водой также различны и состоят из приспособлений, в большей или меньшей степени обеспечивающих перемешивание воды и реагентов.

Отстойники бывают вертикального и горизонтального типов. Величина восходящей скорости первых принимается без подогрева до  $0,42 \text{ мм/сек}$ ; при подогреве, в зависимости от температуры,

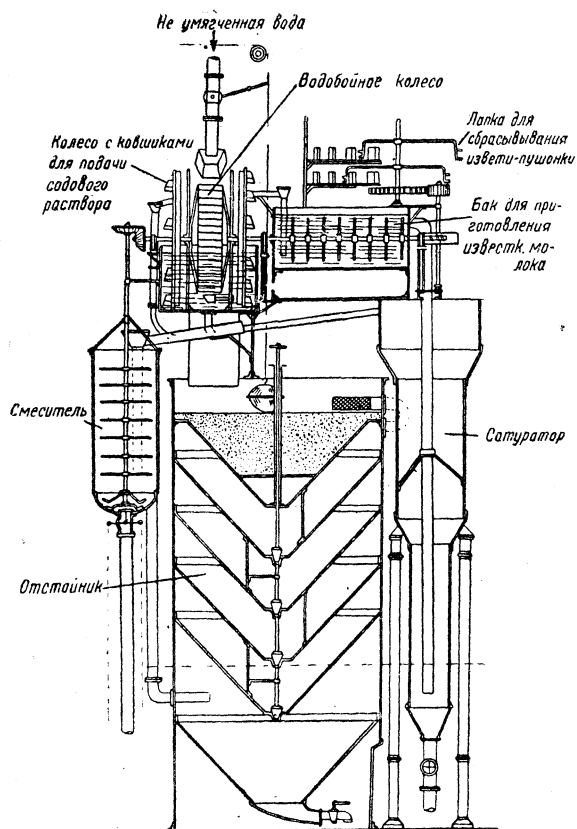


Рис. 34. Водоумягчитель сист. Гинсбург

она бывает различна (до  $60^\circ$  — не более 0,70 мм/сек, до  $80^\circ$  — 0,76 мм/сек и до  $90^\circ$  — 0,83 мм/сек).

Время пребывания воды в отстойнике для завершения химических процессов и выделения

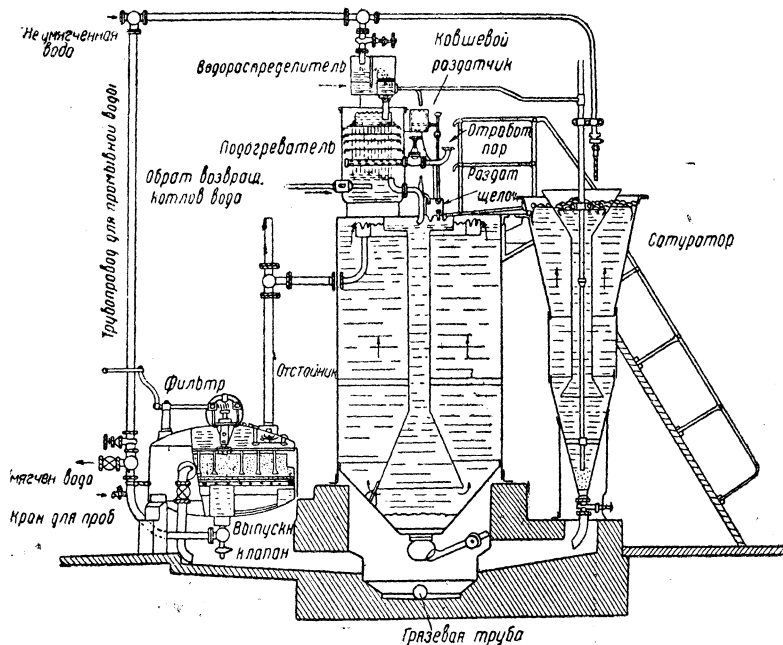


Рис. 35. Водоумягчитель сист. Зейфферт

осадков принимается без подогрева 5 — 6 час., при подогреве до  $60^\circ$  — 3 час., до  $80^\circ$  — 2,5 час. и до  $90^\circ$  — 2 час.

Фильтрующей массой на водоумягчительных установках, работающих на холоду, обычно служит древесная стружка.

При подогреве воды или при питании котлов с давлением выше 12 атм (данные Главэнергопрома) вместо древесностружечных фильтров рекомендуется применять песочные или кварцевые.

## 2. Водоумягчение на железных дорогах СССР

Первый водоумягчитель на наших ж. д. был установлен в 1875 г. на б. Владикавказской дороге системы Беранже и Штингля, а затем в разных местах устанавливался ряд других систем, в большинстве случаев мало оправдавших свое назначение и большею частью уже изъятых из употребления.

В данное время на дорогах СССР работает свыше 100 водоумягчительных установок, преимущественно типа „Струя“, вертикального и частью горизонтального типов, главным образом на Сталинской, им. Куйбышева, Донецкой и Юго-Восточной ж. д., т. е. в местах с наиболее жесткими водами.

Указанное количество водоумягчителей недостаточно по сравнению с действительной потребностью в них и составляет около 8% в отношении водоисточников с жесткостью выше 15 нем. гр., и 5% в отношении источников воды с жесткостью выше 10 нем. гр.

Водоумягчитель „Струя“ вертикального типа, конструкции инж. Г. Б. Красина и П. Г. Перчихина, впервые сооружен на транспорте в 1910 г. на Сталинской ж. д.

Схема установки водоумягчителя „Струя“ представлена на рис. 36.

Водоумягчитель состоит из следующих основных частей: водораспределителя, сатуратора,

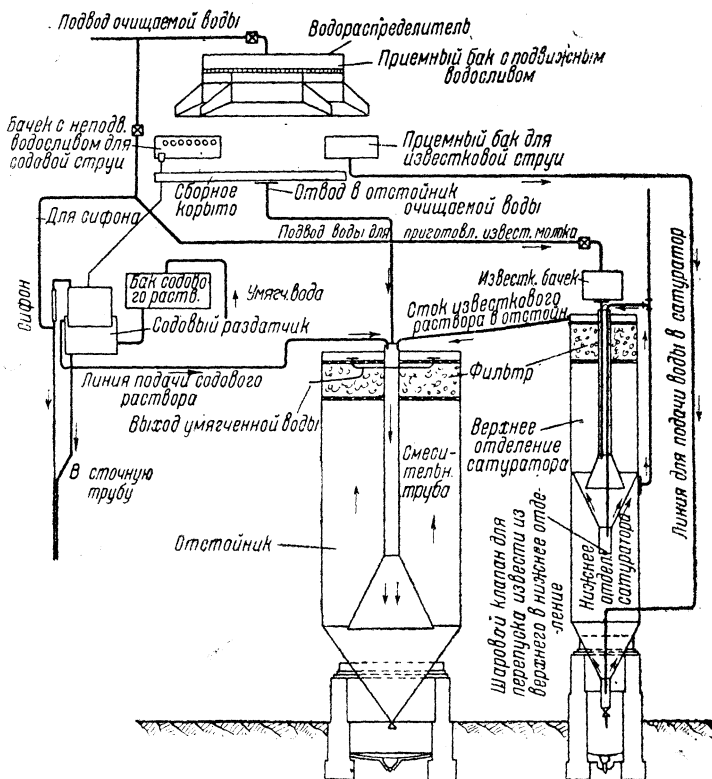


Рис. 36. Водоумягчитель „Струя“ вертикального типа

содового раздатчика, отстойника, и устройств для заготовки и механической подачи реагентов.

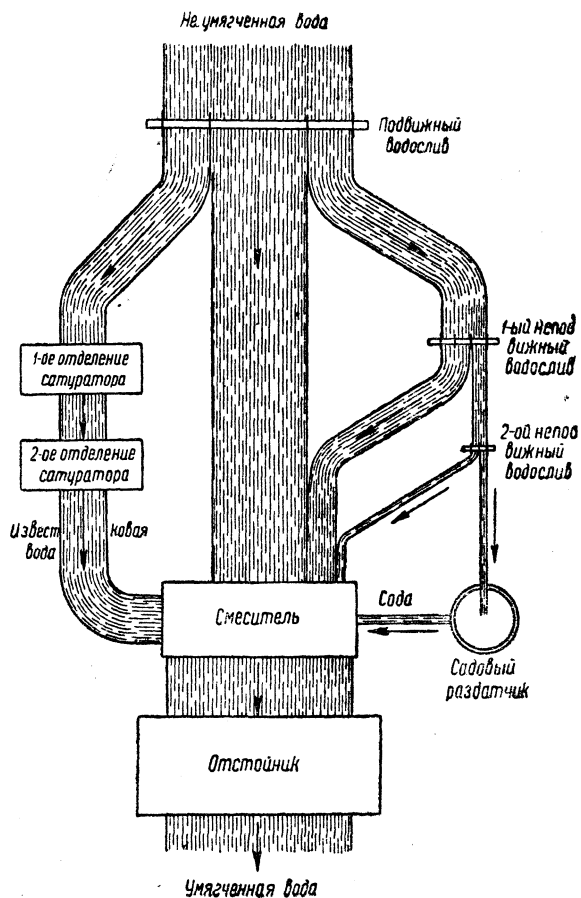


Рис. 37. Схема потоков воды и реагентов в водоумягчителе «Струя»

Действие водоумягчителя заключается в следующем: подлежащая умягчению вода поступает в первую очередь в водораспределитель, где двумя вертикальными перегородками делится на три различные части, в зависимости от жесткости воды (рис. 37).

Большая часть отделенной воды поступает непосредственно в смесительную трубу отстойника, другая — несколько меньшая — в аппарат для приготовления и подачи известковой воды — сатуратор и третья — после деления на одном или двух неподвижных водосливах — в содовый раздатчик, т. е. прибор для дозировки содового раствора и в некоторых случаях еще в аналогичный прибор для дозировки коагулянта — сернокислого алюминия.

Известковая вода, содовый раствор и коагулянт, если он применяется, притекают одновременно в смесительную трубу, где они перемешиваются с умягчаемой водой и откуда смесь поступает в отстойник. Из отстойника, пройдя через древесностружечный фильтр, умягченная и осветленная вода перетекает в бак для хранения воды, выполняющий иногда функции напорного бака.

Аппаратура водоумягчителей, изготовленная из железа, помещается в зданиях высотой до 25 — 30 м.

Обычно установки сооружаются на территории станции, и умягченная вода из сборных баков непосредственно поступает в сеть.

С целью замены железа недефицитным материалом и снижения стоимости сооружений инж. Г. Б. Красиным был разработан проект водоумягчителя „Струя“ горизонтального типа, впервые установленного на ж. д. в 1932 г. Высота здания при этом была снижена в 2 — 3 раза, за счет горизонтально-расположенного отстойка, устраиваемого в выложенном кирпичем котловане и замены



одного сатуратора несколькими, изготовляемыми из дерева сравнительно небольшой высоты.

Все основные технологические процессы в этом варианте „Струи“ сохранились без изменения.

Схема водоумягчителя горизонтального типа и здание представлены на рис. 38 и 39. Строи-

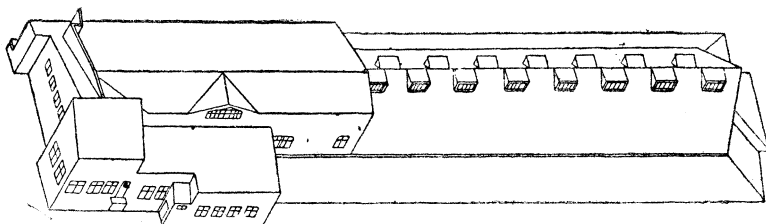


Рис. 39. Общий вид здания водоумягчителя „Струя горизонтальная“

тельная стоимость этого водоумягчителя исчислялась ниже вертикального, а именно 3 000 руб. за каждый кубометр воды часовой производительности, вместо 4 000 руб. для вертикального. Однако вскоре выяснилась необходимость замены дерева и кирпича на железобетон (отстойник, сатуратор), вследствие чего строительная стоимость соответственно увеличилась.

Вместе с тем, в практике эксплуатации горизонтального типа выявлен ряд недостатков. Так например, удаление осадков из отстойника через специальную канализационную трубу, с отверстиями, закрываемыми бетонными плитами, крайне затруднено.

Обычно для удаления осадков работа водоумягчителя периодически приостанавливается и осадки удаляются ручным способом. Коэффициент использования отстойника, по данным проф.

С. Х. Азерьер и доц. В. Г. Глейм<sup>1</sup> не превышает 33%, т. е. последний используется всего лишь на  $\frac{1}{3}$  своего объема.

Характер расположения аппаратуры водоумягчителя и некоторая усложненность его обслуживания вызвали необходимость иметь сравнительно большой штат — до 10 чел., вместо 4—5 чел. на водоумягчителях вертикального типа.

В настоящее время на ж.-д. сети функционирует около 20 водоумягчителей горизонтального типа<sup>2</sup>.

Понижение жесткости воды в водоумягчителях того и другого типов примерно одинаково: остаточная жесткость умягченной воды составляет от 5 до 8 и нередко достигают 12 нем. гр.

Стоимость умягчения от 8 до 25 коп. в зависимости от жесткости воды и расхода ее.

Согласно последним указаниям НКПС для мощных паровозов — „ФД“ и „ИС“ — надлежит смягчать воду при общей жесткости выше 10 нем. гр., для паровозов менее мощных при общей жесткости выше 15 нем. гр., на дорогах же облегченного типа при общей жесткости выше 25 нем. гр.

### 3. Экономический эффект умягчения воды

Насколько полезным может оказаться умягчение воды, показывают данные американских ж. д., где этот эффект уже в достаточной степени выявлен<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Проф. С. Х. Азерьер и доц. В. Г. Глейм, Исследования водоочистителя сист. „Струя горизонтальная“, 1935 г.

<sup>2</sup> В последнее время в конструкцию установки вносятся некоторые изменения. См. журнал Паровозник № 15, 1936 г. стр. 22 и лекцию зав. водоумягчителем „Струя горизонтальная“ на ст. Тула, Д. К. Иванова, „Чего можно достигнуть на водоумягчителе „Струя“, с комментариями доцента МИИТ Е. Ф. Тебенихина

<sup>3</sup> К сожалению, у нас на транспорте подобных исследований пока не проводилось.

По сообщению Комитета водной службы, годовая экономия от водоумягчения при рациональной постановке дела составляет 25—50% общих затрат на сооружение водоумягчителей и достигает нередко 67%.

Общество американских ж.-д. инженеров приводит следующие данные об эффективности водоумягчения: считая, что удаление одного фунта (американский фунт = 450 г) солей накипи дает экономию в расходах на ремонт котлов и топливо 13 центов, определяется, что 1300 эксплуатируемых установок приносят ежегодную экономию до 16 млн. долларов и строительная стоимость водоумягчителя окупается в течение первых же 20 месяцев его работы.

По тем же данным, умягченная вода уменьшает течь труб в паровозах на 94%, увеличивает пробег между сменой жаровых и дымогарных труб до 4 раз, понижая при этом с 14 до 1% замену огневых коробок.

Межпромысловые пробеги паровозов увеличиваются в 4—6 раз, соотношение котлового ремонта к общему ремонту паровозов сокращается с 37 до 9%, отцепки паровозов из-за течи труб не имеют места, вальцовка дымогарных труб сокращается почти на 50%, продолжительность службы дымогарных труб значительно возрастает. На дороге Балтимор—Огайо из средств, ассигнованных на водоснабжение в период 1927—1930 г., 75% было затрачено на водоумягчение, в результате чего достигнута экономия топлива в 7—10% и увеличен срок службы дымогарных труб с 8—13 месяцев до 5 лет.

На этой дороге работает 123 известково-содовых водоумягчителя и 8 цеолитовых.

Экономия от применения умягченной воды, по данным различных дорог, составляет от 480 (Чезапик — Огайо) до 2730 долл. (Иллинойс) в год на паровоз.

По сообщению дороги Вабаш, питавшей паровозы исключительно умягченной водой, экономия на паровоз составляла в год 1647 долл. Дорога протяжением 2489 миль обслуживалась 648 паровозами.

Вода со средней жесткостью 15 нем. гр. умягчалась на 113 водоумягчителях.

Указанная экономия получена за счет сокращения следующих расходов:

Замены 68 топок по 1500 долл. . . . .	102 000	долл.
Замены 31 750 анкерных болтов по 2 долл. . . .	63 500	»
Уменьшения капитального ремонта на 30% . .	225 000	»
Удешевления стоимости промывок на 5 долл. .	132 000	»
Экономии топлива на 5% . . . . .	258 000	»
Уменьшения повреждений котлов . . . . .	142 500	»
Уменьшения изнашивания паровозов . . . . .	144 000	»

---

Общие сбережения 1 067 000 »

Отсюда экономия на 1 паровоз в год . . . . . 1 647 »

Наблюдение над работой водоумягчителей на ж.-д. сети организовано так: несколько водоумягчителей (не более 3 — 5) находится в ведении районного химика, который не реже раза в неделю контролирует работу их на месте.

В управлениях дорог специально выделен инженер-химик для общего руководства, причем все расходы по обслуживанию и контролю, по сообщению ряда дорог, с избытком окупаются получаемой экономией.

Смягчению подвергаются все воды с жесткостью выше 8 нем. гр., а в некоторых случаях

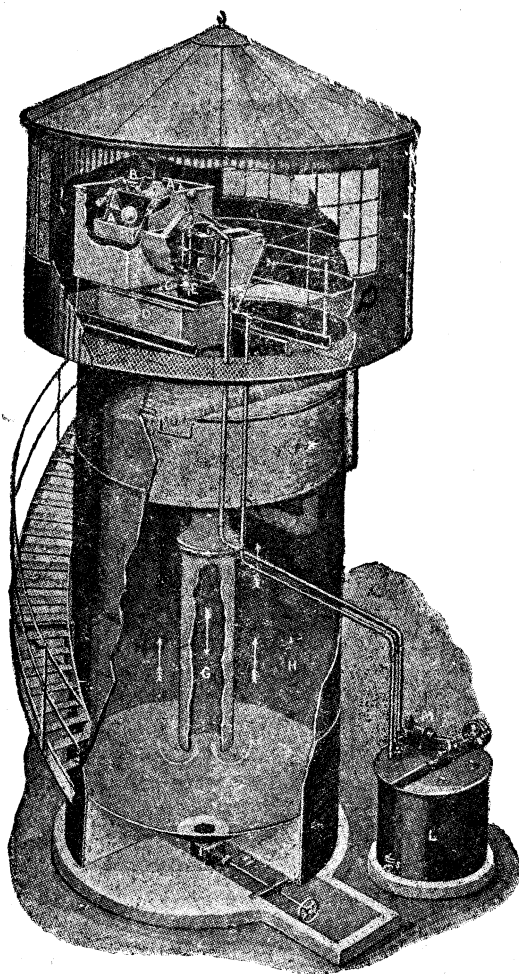


Рис. 40. Известково-содовый водоумягчитель на ж. д. Англии  
*L* — бак с реагентами, *F* — дозирующее устройство, *Г* — смешительная труба, *H* — отстойник

7. Водоподготовка

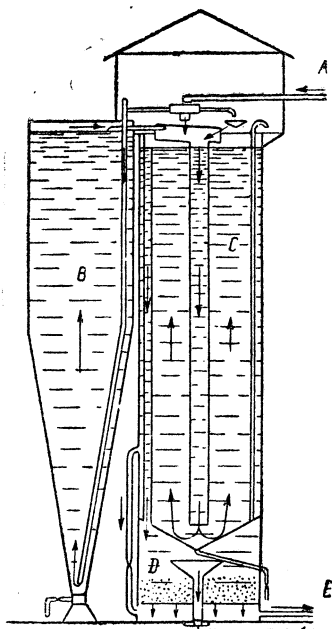


Рис. 41. Известково-содовый водоумягчитель на ж. д. Италии

А — подача неумягченной воды,  
С — отстойник, В — сатуратор,  
D — фильтр, Е — выход умягченной воды

даже и при более низкой (когда жесткость обуславливается наличием гипса). В Германии — выше 12 нем. гр.

На рис. 40 — 42 представлены известково-содовые водоумягчители, применяющиеся за границей.

### § 3. Описание и эксплуатация водоумягчителя „Струя“<sup>1</sup>

А. Описание отдельных элементов установки

#### 1. Водораспределитель (рис. 43).

Водораспределитель имеет назначение отделить определенные количества от всей поступающей на аппарат воды для приготовления и дозирования реагентов и состоит из следующих частей: ба-

ков с успокоительными перегородками, подвижного водослива и 1-го или 2-х неподвижных водослизов.

<sup>1</sup> Технологический процесс в установках вертикального и горизонтального типов, как уже указано, в основном одинаков. Различие же в устройстве отдельных частей установок горизонтального типа и особенности в эксплуатации отмечены нами в каждом отдельном случае.

Поступающая на распределитель вода первоначально проходит в бак с успокоительными перегородками, откуда перетекает на подвижный

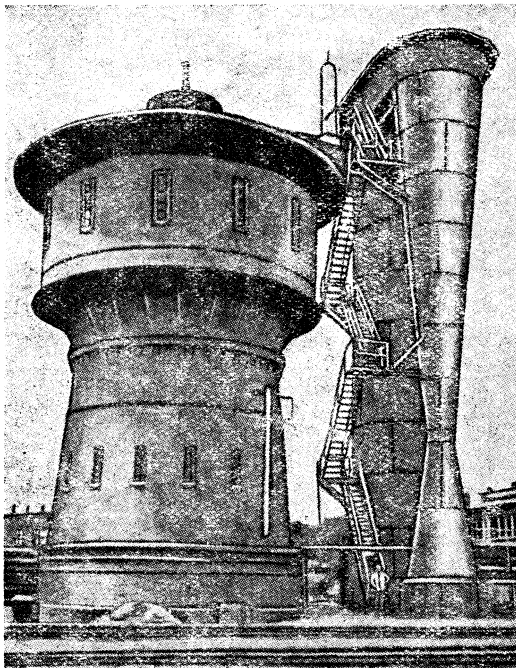


Рис. 42. Известково-содовый водоумягчитель (справа) фирмы Wabag, установленный на ж. д. Германии

водослив, представляющий порог с двумя промежуточными вертикальными перегородками, которые передвигаются и устанавливаются по шкале, разделенной по большей части на 100 частей.

При изменении количества поступающей воды на горизонтальном водосливе увеличивается или уменьшается толщина слоя, а равно изменяется и скорость, но соотношение между отдельными струями остается постоянным.

Струя, предназначенная для приготовления известковой воды, поступает с водораспределителя непосредственно в сатуратор.

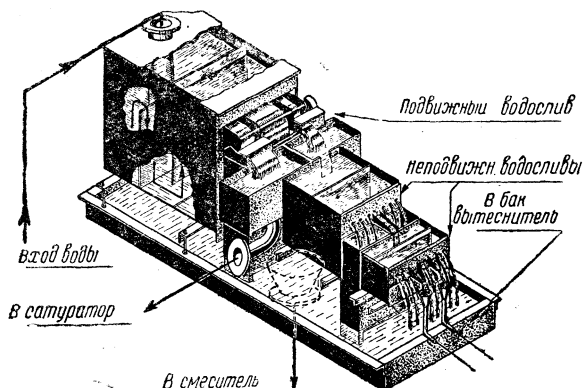


Рис. 43. Водораспределитель

Струя воды, отделенная на подвижном водосливе, предназначенная для вытеснения содового раствора, подвергается делению на неподвижных водосливах на более мелкие струи, чем достигается возможность более точной регулировки содового раствора, после чего одна из отделенных таким способом струй поступает в плавающий бак содового раздатчика.

Если встречается надобность в применении коагулянта (сернокислого алюминия), добавка его производится аналогично содовому раствору от-



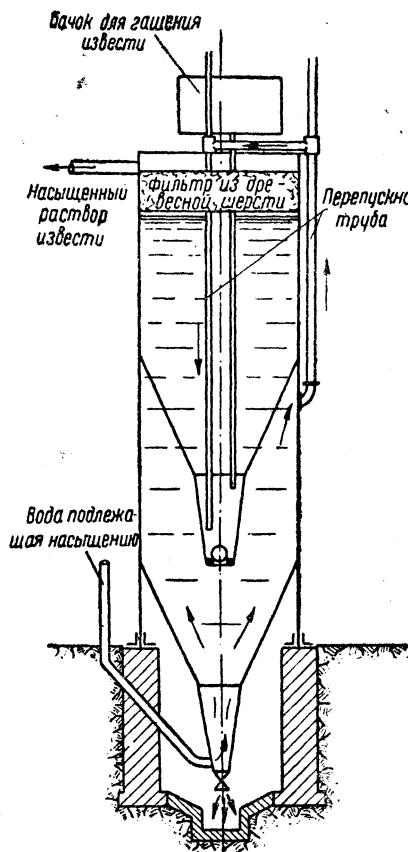


Рис. 44. Схема сатуратора

делением с последнего неподвижного водослива соответствующего количества струй.

Струя воды, подлежащая умягчению, с подвижного водослива поступает в сборное корыто, откуда вместе с водой, не использованной на неподвижных водосливах, стекает в смесительную трубу отстойника.

2. Сатуратор (рис. 44). Сатуратор в водоумягчителе вертикального типа состоит из вертикального цилиндрического бака с коническим днищем, разделенного на два отделения конической перегородкой, снабженной шаровым клапаном.

В процессе работы сатуратора отделения его сообщаются специальным трубопроводом.

Известь в количестве, необходимом для работы аппарата в течение определенного промежутка времени, загружается в верхнее отделение сатуратора, откуда при перезарядке поднятием шарового клапана перепускается в нижнее отделение.

Вода с водослива поступает в конус нижнего отделения сатуратора, производит здесь взмучивание уже отчасти отработанной извести, частично растворяет ее и перетекает по трубе во второе отделение, в его нижнюю коническую часть, где происходит процесс, аналогичный первому, но с известью свежей загрузки, чем и достигаются получение насыщенной известковой воды (двухфазное насыщение) и наиболее полное использование извести.

Насыщенный известковый раствор в верхней части второго отделения сатуратора протекает через фильтр и вполне осветленным поступает в смеситель.

В установке „Струя“ горизонтального типа сатуратор состоит из двух резервуаров, изготов-

ляемых из дерева или железобетона, расположенных на одном уровне. Известь при этом не перепускается из одного бака в другой, а отделенная на водосливе вода направляется попере-

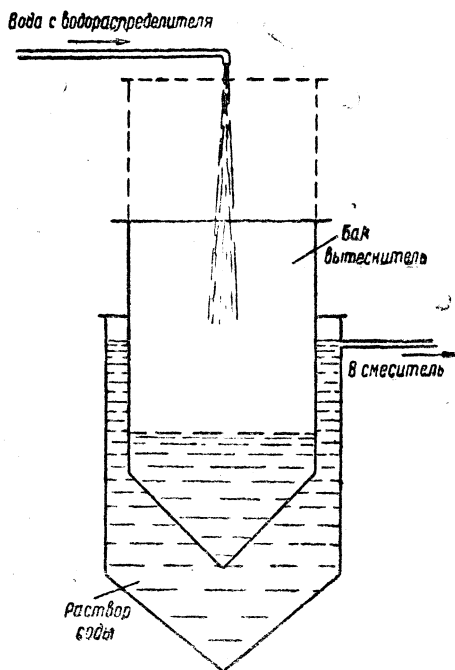


Рис. 45. Схема содового раздатчика

менно в один из двух последовательно включенных резервуаров каждый раз после загрузки свежей извести, что обеспечивает означенный выше эффект,

Количество устанавливаемых сатураторов зависит от производительности установки; так, при производительности  $50 \text{ м}^3/\text{час}$  устраивают 2 сатуратора, при производительности  $100 \text{ м}^3/\text{час}$  — 4.

В настоящее время у нас разработаны и начинают устанавливаться приборы для дозирования извести в виде известкового молока. Одним из условий надлежащей эффективности работы этих дозаторов является наличие извести хорошего качества.

3. Содовый раздатчик (рис. 45). Содовый раздатчик состоит из двух сосудов различных диаметров, вставленных один в другой. Раствор соды помещается в неподвижном резервуаре (расходный бак), в котором свободно плавает другой — несколько меньших размеров — вытеснитель.

Струя воды с последнего неподвижного водослива поступает в плавающий бак, который, погружаясь, вытесняет содовый раствор в количестве, равном по весу притекающей в него воде.

Вытесненный раствор соды через сливную трубу направляется в смеситель.

По израсходовании содового раствора рабочая вода из вытеснителя удаляется специальным сифоном, а расходный резервуар вновь наполняется содовым раствором.

Для непрерывной подачи соды устанавливают два раздатчика. Сифон обычно устраивают один на два раздатчика; он должен вполне обеспечивать правильное и своевременное освобождение от воды бака-вытеснителя.

4. Смеситель (рис. 46 и 46а). Смеситель состоит из вертикальной широкой цилиндрической

трубы, расширяющейся в нижней части, установленной в центре отстойника, в которую поступают

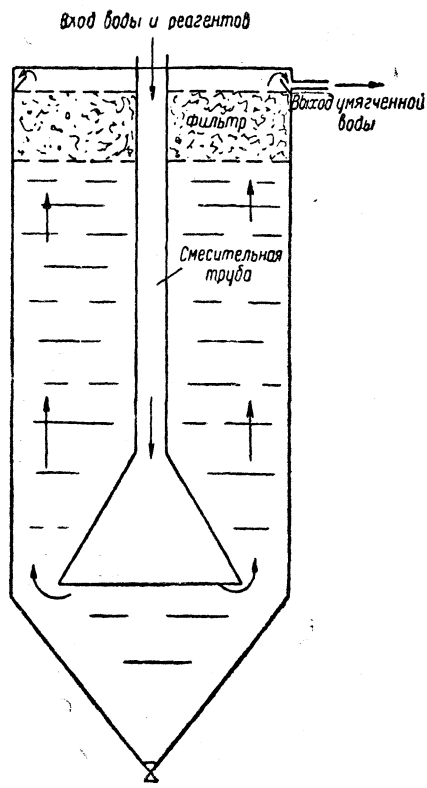


Рис. 46. Схема отстойника

одновременно вся подлежащая умягчению вода и растворы реагентов и где в первую очередь происходит выделение накилеобразователей.

Для лучшего перемешивания в верхней части цилиндрической трубы устраивают специальное приспособление, состоящее из ряда тарелок с центральными и периферическими отверстиями попеременно. В последнее время смесительные тарелки, вследствие их забивания осадками, заменяются ершовым жолобом, соединенным с вертикальной смесительной трубой.

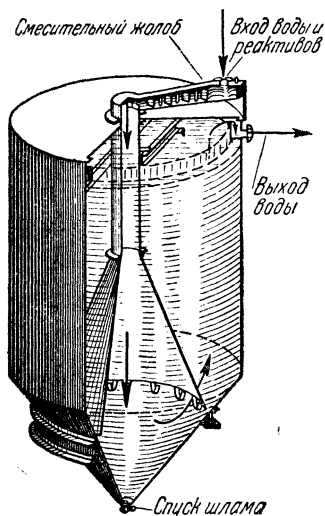


Рис. 46а. Разрез отстойника с ершовым смесителем и без фильтра, работающего с подогретой водой

В аппарате „Струя“ горизонтального типа смеситель представляет деревянный жолоб с расположенными в нем неполными поперечными перегородками.

5. Отстойник (рис. 46 и 46 а). Отстойник представляет собой вертикальный цилиндрический бак с коническим дном и отмеченной выше смесительной тру-

бой; в отстойнике продолжают и заканчиваются реакции между добавленными к воде реагентами и солями, обуславливающими образование накипи; здесь происходит выпадение нерастворимых осадков, которые собираются в конусе отстойника и периодически оттуда удаляются через спускной кран. Осветленная в большей или меньшей степени вода проходит через фильтр из древесной стружки, где она окончательно

освобождается от мути и поступает в сборник умягченной воды.

Емкость отстойника в водоумягчителях на транспорте соответствует 4—5-часовой производительности установки. В промышленности, при работе с подогревом ( $70—80^{\circ}\text{C}$ ), она не превышает 2-часовой.

В аппарате „Струя горизонтальная“ отстойник представляет горизонтально расположенный резервуар призматической формы, разделенный по длине рядом перегородок с щелями.

Отстойник в значительной части заглубляется в землю и сооружается из железобетона.

Для выпуска накапливающихся осадков в нижней части отстойника вдоль всего сечения устраивают закрытый жолоб, который имеет отверстия, закрываемые заслонками, или шиберами. Для более полного удаления осадков у отверстий в последнее время располагают наклонные плоскости.

6. Фильтры. Для умягчителей, работающих без подогрева, фильтрующей массой может служить древесная стружка (древесная шерсть).

В отстойнике стружка помещается между двумя металлическими решетками, в верхней части его (вертикальный тип), или вблизи всасывающей трубы водоприемника (горизонтальный тип).

В сатураторе установки вертикального типа аналогичный фильтр располагается в верхнем отделении, в горизонтальном — в каждом баке сатуратора.

В сатураторах некоторых водоумягчителей вертикального типа последних изготовлений фильтр не предусматривается.

При наличии подогрева древесную шерсть применять нельзя, так как последняя может обу-

словливать значительное загрязнение воды органическими веществами.

В таких случаях фильтрующей массой служат гравий, кварцевый песок или мраморная крошка (фильтры устраиваются вне отстойника).

7. Приспособления для заготовки и подачи реагентов (известкового молока и содового раствора). Заготовка реагентов производится в верхней части аппарата у водораспределителя (при небольшой производительности до  $15-20 \text{ м}^3/\text{час}$ ) или внизу здания водоумягчителя (при больших производительностях) или даже в особых помещениях, с применением механизации приготовления и подачи.

В первом случае раствор соды и известковое молоко приготавливаются в специальных бачках, из которых заготовленные реактивы самотеком поступают в содовый раздатчик и сатуратор. Во втором — внизу здания устраиваются приспособления для гашения извести и приготовления известкового молока и раствора соды (известковая и содовая мешалки), откуда известковое молоко подается в сатуратор, а раствор соды — в запасный содовый бак.

Баки, где происходит растворение соды, снабжаются рейками с нанесенными на них делениями, соответствующими определенной емкости (100 л).

#### Б. Операции, предшествующие пуску водоумягчителя в работу.

До пуска водоумягчителя необходимо:

а) рассчитать потребное количество реагентов извести и соды,

б) приготовить известковую воду и содовый раствор,



в) установить подвижные перегородки на водораспределителе.

1. Определение количества извести, необходимого для загрузки сатуратора. Количество извести для умягчения  $1 \text{ м}^3$  воды находят по формуле Пфейфера или опытным путем — пробным умягчением известковой водой.

Формула Пфейфера:

$\text{CaO} = 10\text{H}_t + 1,4 \text{ MgO} + 1,27 \text{ CO}_2$ , где:  $\text{CaO}$  — количество 100% извести в  $\text{мг}$  на литр ( $\text{мг/л}$ ) или граммах на куб. метр ( $\text{г/м}^3$ ),  $\text{H}_t$  — временная жесткость в нем. гр.,  $\text{MgO}$  — окись магния в  $\text{мг/л}$ ,  $\text{CO}_2$  — свободная углекислота в  $\text{мг/л}$ .

Так как содержание действующего вещества в технической извести различно и колеблется от 20 до 85%, то в зависимости от процентного содержания, в найденное число вводят соответствующую поправку.

Пример:

Вода имеет временную жесткость  $\text{H}_t = 15^\circ$ .

Содержание окиси магния ( $\text{MgO}$ ) —  $28,0 \text{ мг/л}$ ; свободной углекислоты ( $\text{CO}_2$ ) —  $12 \text{ мг/л}$ .

Потребное количество извести:

$$\text{CaO} = 15 \cdot 10 + 1,4 \cdot 28 + 1,27 \cdot 12 = 204,4 \text{ мг/л},$$

$$\text{или } 0,2044 \text{ кг/м}^3.$$

Учитывая, что известь например 55%-ная, фактический расход ее на  $1 \text{ м}^3$  воды составит:

$$100 : 55 = X : 0,2044,$$

где  $X$  — искомое количество извести

$$X = \frac{0,2044 \cdot 100}{55} = 0,371 \text{ кг}.$$

Для пробного умягчения отмеривают пипеткой  $50 \text{ см}^3$  насыщенной прозрачной известковой воды, вливают в мерную колбу емкостью  $200 \text{ см}^3$  и быстро доливают до метки умягчаемой водой. Смесь несколько раз сильно встряхивают и оставляют на несколько часов соответственно пребыванию воды в отстойнике. Затем осторожно, не взмучивая осадка, отбирают пипеткой или отфильтровывают  $50 \text{ см}^3$  жидкости (при наличии мути) в коническую колбу, добавляют 2-3 капли раствора фенолфталеина и быстро прибавляют из бюретки  $1/10$  нормальную соляную кислоту до исчезновения красной окраски.

При работе водоумягчителя с подогревом смесь следует нагревать в течении 1—2 часов (желательно на водяной бане), после чего колбу быстро охлаждают и, дав осадку осесть (колбу закрыть пробкой), отбирают  $50 \text{ см}^3$  прозрачной жидкости.

Затраченное количество  $\text{см}^3$  кислоты умножают на  $2,8^1$  и 400, делят на градусы крепости известковой воды и вычитают из 50. Полученное число соответствует расходу известковой воды в  $\text{см}^3$ , затраченной на умягчение  $150 \text{ см}^3$  исследуемой воды.

Для пересчета на литр означенное число делят на 150 и умножают на 1000.

Пример. К  $150 \text{ см}^3$  умягчаемой воды добавляют  $50 \text{ см}^3$  прозрачной известковой воды крепостью  $126^\circ$ .

При приливании к  $50 \text{ см}^3$  прозрачной смеси  $1/10$  норм. соляной кислоты затрачено  $2,85 \text{ см}^3$ .

Отсюда расход известковой воды на  $150 \text{ см}^3$  умягчаемой воды:

$$50 - \frac{2,85 \cdot 2,8 \cdot 400}{126} = 24,7 \text{ см}^3,$$

<sup>1</sup> При работе ~~ж~~  $1/28$  нормальной кислотой умножения на 2,8 не производят.

а на один литр:

$$\frac{24,7 \cdot 1000}{150} = 164,6 \text{ см}^3 = 0,1646 \text{ л.}$$

Для выражения расхода извести в весовых единицах количество известковой воды умножают на содержание в ней 100% извести (оксида кальция). Так при крепости известковой воды в 126°, в одном литре ее содержится 1,26 г оксида кальция  $\left(\frac{126}{100}\right)$ , а в 0,1646 л:

$$1,26 \cdot 0,1646 = 0,2074 \text{ г.}$$

В пересчете на один кубометр — 207,4 г, или 0,2074 кг 100% извести.

Так как в технической извести содержание действующего вещества (оксида кальция) меньше 100%, то количество ее должно быть соответственно увеличено.

Например, при 55% извести количество ее определится:

$$\frac{0,2074 \cdot 100}{55} = 0,377 \text{ кг.}$$

Расход технической извести на определенный промежуток времени зависит от часовой производительности аппарата и времени его работы в часах. Так например, при производительности установки 25 м<sup>3</sup>/час и работе 20 час. в сутки потребность в извести, при условии расхода 0,377 кг на 1 м<sup>3</sup> воды, составит

$$0,377 \cdot 20 \cdot 25 = 188,5 \text{ кг.}$$

Расход этот может быть также вычислен по следующей формуле:

$$A = \frac{M \cdot h \cdot a}{P \cdot 10},$$

где  $A$  — количество технической извести на определенный промежуток времени работы в кг,  $M$  — часовая производительность водоумягчителя в  $\text{м}^3/\text{час}$ ,  $h$  — время работы аппарата в часах,  $a$  — количество 100% извести в г, необходимое для умягчения 1  $\text{м}^3$  воды, полученное из опыта или по формуле Пфейфера;  $P$  — процент содержания действующего вещества (оксида кальция) в техническом продукте.

Для предыдущего примера по данной формуле будем иметь:

$$A = \frac{25 \cdot 20 \cdot 207,4}{55 \cdot 10} = 188,5 \text{ кг},$$

т. е. 188,5 кг технической извести в виде известкового молока должно быть загружено в сатуратор.

2. Расчет количества потребной соды. При определении количества соды исходят из постоянной жесткости умягчаемой воды из расчета 18,9 мг 100% кальцинированной соды на один градус этой жесткости в 1  $\text{м}^3$  воды.

Расход ее на 1  $\text{м}^3$ , с учетом содержания действующего вещества ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) в техническом продукте, вычисляют по формуле:

$$B = \frac{H_2 \cdot 18,9}{p \cdot 10},$$

где:  $B$  — потребное количество технической соды в кг на 1 м<sup>3</sup> воды,  $H_p$  — постоянная жесткость воды,  $p$  — процент содержания действующего вещества в технической соде.

Пример. Постоянная жесткость воды  $H_p = 20$  нем гр.,  $p = 98\%$ .

$$B = \frac{20 \cdot 18,9}{98 \cdot 10} = 0,3857 \text{ кг/м}^3$$

При производительности водоумягчителя 30 м<sup>3</sup> в час и при работе 20 час. в сутки расход ее составит:

$$0,3857 \cdot 30 \cdot 20 = 231,4 \text{ кг.}$$

3. Пробное умягчение раствором соды и известковой водой. Для уточнения произведенных выше расчетов извести и соды производят пробное умягчение воды следующим образом: мерную колбу, емкостью в 1 л, наполняют до половины умягчаемой водой и прибавляют вычисленное количество известковой воды и раствора соды определенной крепости.

Затем доливают до метки умягчаемой водой, несколько раз встряхивают и оставляют в условиях, соответствующих пребыванию воды в отстойнике, т. е. при аналогичной температуре и равном числе часов; после этого осторожно отбирают пипеткой 100 см<sup>3</sup> прозрачной жидкости и исследуют на щелочность и жесткость (см. анализ умягченной воды).

Добавку известковой воды определяют пересчетом на 1 л результатов отмеченного выше пробного умягчения (см. стр. 110), или по данным формулы Пфейфера, пользуясь для перевода весовых единиц в см<sup>3</sup> известковой воды следующей формулой:

$$И = \frac{\text{CaO} \cdot 100}{K}, \quad (1)$$

где: И — количество известковой воды в куб. сант., СаО — количество 100% извести, вычисленное по формуле Пфейфера в мг/л, или г/м³, К — крепость известковой воды в нем. гр.

Добавку раствора соды вычисляют по формуле:

$$C = \frac{H_p \cdot 18,9}{k \cdot 10}, \quad (2)$$

где: С — количество потребного раствора соды в см³ на 1 л,  $H_p$  — постоянная жесткость воды в нем. гр.,  $k$  — крепость приготовленного раствора соды в процентах.

Пример. Потребное количество 100% извести, найденное по формуле Пфейфера, — 305,2 мг/л (СаО), крепость известковой воды — 125,0 нем. гр.

По формуле (1) находим добавку известковой воды:

$$И = \frac{305,2 \cdot 100}{125,0} = 244,1 \text{ см}^3.$$

Постоянная жесткость воды — 10,0 нем. гр.

Крепость раствора соды — 5,5%.

По формуле (2) находим потребное количество раствора соды

$$C = \frac{10,0 \cdot 18,9}{5,5 \cdot 10} = 3,4 \text{ см}^3.$$

4. Приготовление и подача известкового молока в сатуратор. Для приготовления известкового молока берут определенное количество извести на известный период работы водоумягчителя (сутки или смену), засыпают ее в гасильный ящик и обливают небольшим количеством воды, наблюдая, чтобы известь нацело погасилась.

Полученное при этом известковое тесто разбавляют водой и перепускают в известковую мешалку, куда добавляют некоторое количество

воды, хорошо перемешивают вручную или механически, после чего включают насос и полученное известковое молоко перекачивают в верхнее отделение сатуратора.

При первом заполнении сатуратора подлежащая загрузке известь в виде известкового молока перекачивается или перепускается двумя равными порциями, через известные промежутки времени, в верхнее отделение сатуратора.

Первая порция известкового молока поднятием шарового клапана тотчас же переводится из верхнего отделения в нижнее, после чего клапан опускают и заполняют нижнее отделение водой из водораспределителя, если нет специального трубопровода. Затем, совершенно аналогично заполняют верхнее отделение сатуратора второй порцией извести и водой до уровня сливной трубы.

На водоумягчителях горизонтального типа известь обычно хранится в виде теста в творильных ямах. Для подачи в аппарат в этом случае известь отмеривают по объему, размывают водой из брандспойта и в виде известкового молока спускают в более низко расположенный бак, откуда насосом перекачивают в очередной бак сатуратора.

Все манипуляции как с негашеной, так и с гашеной известью должны производиться с соблюдением правил по охране труда (спецодежда, очки и проч.).

5. Приготовление содового раствора и наполнение расходного бака. Содовый раствор готовится крепостью 5—10% в зависимости от величины постоянной жесткости воды.

Приготовление раствора соды, как уже отмечено, происходит в специальных баках опреде-

ленной емкости, снабженных рейкой с делениями на 100 л, следующим образом: бак наполняют до половины умягченной водой и подогревают ее паром; затем берут определенное по расчету количество кальцинированной соды и при тщательном помешивании постепенно всыпают ее в бак с теплой водой, после чего доливают до метки той же водой и вновь перемешивают.

Метка, определяющая полезную емкость бака, устанавливается на расстоянии 10—15 см от верхнего края его.

Приготовленный таким образом раствор перепускают в содовый раздатчик, если заготовка раствора происходила в верхней части аппарата в соловом бачке, или перекачивают насосом в запасный бак, если растворение производилось в нижнем баке.

До перепуска в раздатчик крепость содового раствора проверяется ареометром Боме и уточняется химическим анализом.

При расхождении крепости приготовленного раствора с установленной до 0,1% его можно допустить к эксплуатации; при больших же отклонениях раствор соответственно или разбавляют водой (если крепость его превышает установленную), или в него добавляют определенное количество соды (если крепость ниже установленной).

Если приготовленный раствор оказался крепче установленного, необходимое количество воды в литрах для разбавления вычисляют по следующей формуле:

$$(b - a) \cdot \frac{100}{a} \cdot m,$$

где:  $m$  — число делений рейки, соответствующих количеству раствора,  $a$  — требуемая концентрация



содового раствора,  $b$  — концентрация приготовленного раствора, 100 — количество литров, соответствующих одному делению.

Если же концентрация раствора оказалась меньше требуемой, то на приготовленный объем необходимо прибавить соды в кг

$$(a - b) \cdot m,$$

где обозначение букв то же.

Примеры.

а) Установленная концентрация—5%. Приготовленный раствор в количестве 1 м<sup>3</sup> —4,8%, т. е. раствор слабее. Каждое деление рейки равно 100 л.

Количество соды, которое нужно добавить в бак, составит:

$$(5 - 4,8) \cdot 10 = 2 \text{ кг.}$$

б) Установленная концентрация—5%. Приготовленный раствор (1 м<sup>3</sup>) — 5,3%. Деления те же.

Количество умягченной воды для разбавления раствора:

$$(5,3 - 5) \cdot \frac{100}{5} \cdot 10 = 60 \text{ л.}$$

При расчете потребного количества соды для приготовления раствора необходимо учитывать процент содержания действующего вещества в ней (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) и вносить соответствующую поправку, например:

Кальцинированная сода содержит действующего вещества 96%. Потребное количество ее для приготовления 1 м<sup>3</sup> 5% раствора определится:

$$\frac{5 \cdot 1000}{96} = 52 \text{ кг.}$$

6. Установка известковой перегородки. Положение известковой перегородки на

подвижном водосливе определяется или по расходу известковой воды, вошедшей в реакцию при пробном умягчении, или по количеству 100% извести, исчисленной по формуле Пфейфера; в последнем случае найденное количество извести пересчитывают на известковую воду (см. стр. 113).

Для установки перегородки пользуются следующей формулой:

$$X = \frac{n \cdot a}{a + b},$$

где:  $X$  — число делений подвижного водослива, на которое нужно поставить известковую перегородку;  $a$  — количество известковой воды в  $\text{см}^3$ , затраченное при пробном умягчении, или рассчитанное по формуле Пфейфера;  $b$  — количество умягчаемой воды в  $\text{см}^3$ ;  $n$  — количество делений на подвижном водосливе.

Примеры.

1) При пробном умягчении на 150  $\text{см}^3$  умягчаемой воды расход известковой воды, крепостью 126° определился в 24,7  $\text{см}^3$ .

Положение известковой перегородки (при 100 делениях шкалы)

$$X = \frac{100 \cdot 24,7}{24,7 + 150} = 14,1 \text{ делений шкалы.}$$

2) Количественная добавка 100% извести по формуле Пфейфера на 1 литр составляет 204,4 мг, что соответствует 162,2  $\text{см}^3$  известковой воды указанной выше крепости

$$\left( \frac{204,4 \cdot 100}{126} \right).$$

Положение известковой перегородки:

$$X = \frac{100 \cdot 162,2}{162,2 + 1000} = 13,9 \text{ делений шкалы.}$$

7. Установка содовой перегородки. Положение содовой перегородки на подвижном водосливе находят по следующей формуле:

$$x = \frac{H_p \cdot N}{5 \cdot k},$$

где:  $x$  — число делений подвижного водослива, на которое устанавливается содовая перегородка;  $H_p$  — постоянная жесткость воды в нем. гр.;  $N$  — число, показывающее, во сколько раз струя воды уменьшается на неподвижных водосливах;  $k$  — крепость содового раствора в процентах.

Пример.

$H_p = 15$  нем. гр.

$N = 64$  (на первом неподвижном водосливе струя воды делится на 8 частей; 1 часть отделенной воды с этого водослива, равная одной восьмой, на втором водосливе делится также на 8 частей и одна часть последнего поступает в бак-вытеснитель; таким образом, струя воды, поступающая в бак-вытеснитель уменьшается в 64 раза);

$$k = 10\%$$

$$x = \frac{15 \cdot 64}{5 \cdot 10} = 19,2 \text{ деления.}$$

8. Регулировка перегородками при изменении жесткости умягчаемой воды. При небольших колебаниях жесткости умягчаемой воды (1—3 нем. гр.) положение перегородок можно изменять согласно нижеследующему расчету.

При временной жесткости воды, например, в  $16^\circ$  и постоянной —  $15^\circ$ , известковая перегородка установлена на 20 делениях шкалы, содовая — на 19,2 делениях.

Таким образом, каждый градус временной жесткости соответствует 1,25 (20 : 16) деления, постоянной — 1,28 (19,2 : 15) деления.

С уменьшением временной жесткости до  $14^{\circ}$ , т. е. на 2 градуса, и постоянной на столько же, количество делений, на которых устанавливаются перегородки, уменьшится, и последние займут положение:

известковая	17,5 деления шкалы	(20 — 1,25·2)
содовая	16,64 „ „	(19,2 — 1,28·2).

При увеличении жесткости, наоборот, количество делений соответственно увеличивается.

Если данная перестановка не даст положительного эффекта, то необходимо заново произвести все расчеты как в отношении загрузки реагентов, так и установки перегородок.

То же самое рекомендуется во всех случаях при более значительных изменениях в составе умягчаемой воды.

### В. Эксплуатация установки

1. Включение водоумягчителя в работу. Сделав все указанное выше, водоумягчитель пускают в работу, для чего открывают вентиль, подающий умягчаемую воду в распределительное устройство, и через 4—5 час., контролируют полученные результаты.

2. Требования к качеству умягченной воды. Умягченная вода должна удовлетворять следующим требованиям:

- а) она должна быть совершенно прозрачна;
- б) остаточная жесткость, при умягчении без подогрева, не должна превышать 3—5 нем. гр. при общей щелочности 6—7 нем. гр., а с подогревом до  $80^{\circ}\text{C}$  не более 1 нем. гр. при общей щелочности 3—4 нем. гр.;

в) гидратная щелочность (гидраты) — не ниже 0,5 и не выше 1,0 нем. гр.<sup>1</sup>

3. Перезарядка водоумягчителя. Через известный промежуток времени работы, устанавливаемый в каждом отдельном случае, но не реже одного раза в сутки, производят перезарядку аппарата с тем, чтобы удалить накопившиеся в отстойнике и сатураторе осадки и заправить последний свежей порцией извести.

С этой целью прежде всего прекращают подачу воды на водоумягчитель (закрывают вентиль), затем выпускают накопившийся в нижнем отделении сатуратура осадок (до появления слабомутной воды), после чего поднимают шаровой клапан и перепускают известковое молоко из верхнего отделения в нижнее, показателем заполнения которого служит прекращение тока воздуха из воздушного отвода перепускной трубы. Тогда опускают шаровой клапан, который прекращает сообщение между отделениями сатуратора, и освободившуюся верхнюю часть сатуратора заполняют свежей порцией известкового молока и водой (до уровня сливной трубы), после чего сатуратор считается заряженным и готовым к работе.

В водоумягчителе горизонтального типа вода направляется поочередно в один из двух последовательно включенных баков сатуратора, каждый раз после загрузки свежей порцией извести, так, чтобы струя воды с водораспределителя сначала поступала в бак с известью, уже частично использованной, а затем в бак со свежезагруженной.

Перезарядка сатураторов производится последовательно.

<sup>1</sup> Инструкция по содово-известковым водоочистителям системы «Струя». Приказ НКПС № 217/а 1936 г.

Перезарядка содового раздатчика производится по мере использования содового раствора, для чего сначала из бака-вытеснителя выпускают воду сифоном, а затем заполняют содовым раствором расходный резервуар раздатчика.

Для удаления осадков из отстойника держат спускной кран открытым до появления слабомутной воды.

К моменту перезарядки аппарата, во избежание перебоев в снабжении водой, питательные баки с умягченной водой должны быть заполнены.

Удаление осадков из горизонтальных отстойников следует также производить при перезарядке.

С этой целью открывают отверстия в канализационном желобе в той или иной части отстойника, но преимущественно близ входа смеси воды с реактивами, предварительно разрыхляя осадки скребком для более полного удаления последних.

4. Основные условия правильной работы водоумягчителя. Надлежащая работа водоумягчителя в отношении качества и количества умягчаемой воды зависит от исправной и бесперебойной работы отдельных элементов его, от постоянства концентрации известковой воды и содового раствора и регулярного химического контроля.

При эксплуатации водоумягчителя в отношении аппаратуры его необходимо соблюдать следующее.

*Водораспределитель.* Учитывая, что растворы соды и извести должны иметь постоянную концентрацию, изменение количества дозируемых реагентов производят только перестановкой перегородок.

Водослив должен быть точно установлен по уровню. Вся система распределительного устрой-

ства должна периодически прочищаться, что особенно относится к сливным порогам и отверстиям.

*Содовый раздатчик.* Зарядка расходного бака производится лишь по использовании всего раствора; при этом перед каждой зарядкой бак-вытеснитель должен быть освобожден от воды.

Необходимо обеспечить полное отсутствие перекосов и заеданий при движении вытеснителя устройством надлежащего противовеса и направляющих, а также подвергать периодической чистке расходный бак, трубопроводы и содовые баки.

Содовый раствор с непроверенной концентрацией к эксплуатации допускаться не должен.

*Сатуратор.* Известковая вода всегда должна быть насыщена и прозрачна, т. е. обладать постоянной концентрацией.

Крепость известковой воды зависит от температуры; в верхнем отделении сатуратора установок вертикального типа и во втором баке (по ходу воды) сатуратора установок горизонтального типа она должна составлять (по Ландольту):

при 1°С — 131,0	нем. гр.	при 25°С — 119,0	нем. гр.
при 15°С — 129,0	" "	при 30°С — 113,0	" "
при 20°С — 123,0	" "		

Колебания крепости известковой воды по возможности не должны превышать 5°. При падении крепости известковой воды ниже 110° следует произвести перезарядку сатуратора независимо от количества израсходованной извести.

Выход из сатуратора мутной известковой воды указывает на загрязнение фильтра или чрезмерную форсировку установки.

Все части сатуратора необходимо периодически подвергать соответствующей чистке; при этом

промывку и смену фильтрующего материала следует производить по мере засорения фильтра, но не реже двух раз в год.

*Отстойник.* В надлежащей работе отстойника большое значение имеет правильная и равномерная загрузка фильтрующей массы. Промывка и смена фильтрующего материала производятся по мере загрязнения, но не реже 1—2 раз в год.

Наблюдаемые случаи переливов в смесительной трубе по большей части обусловливаются загрязнением фильтра. В этих случаях необходимо произвести промывку или смену фильтрующей массы и прочистку смесительной трубы, не ожидая очередного ремонта.

*Баки для питательной воды.* Необходимо, чтобы в баках был всегда достаточный запас воды. Наполнение баков неумягченной водой одновременно с умягченной совершенно недопустимо.

5. Учет пропускной способности водоумягчителя. Производительность водоумягчителя может быть установлена следующими способами:

- а) по водомеру,
- б) по калиброванной рейке содового раздатчика,
- в) по количеству поступающей воды в бак-вытеснитель.

Для определения производительности по рейке содового раздатчика последняя калибруется в зависимости от расхода в единицу времени содового раствора, соответствующего определенной производительности водоумягчителя и положению подвижной содовой перегородки.

Для вычисления производительности по последнему способу (в) собирают в течение определенного времени воду, поступающую в бак-вытесни-



тель, затем измеряют ее объем и производят расчет по формуле:

$$S = \frac{a \cdot n \cdot 6 \cdot N}{x \cdot 100000},$$

где:  $S$  — производительность аппарата в  $\text{м}^3/\text{час}$ ;  $a$  — количество воды, собранное в течение 1 мин. в  $\text{см}^3$ ;  $N$  — число, показывающее, во сколько раз струя воды уменьшается на неподвижных водосливах;  $x$  — число делений, соответствующих положению содовой перегородки;  $n$  — число делений подвижного водослива.

Пример:  $a = 500 \text{ см}^3/\text{мин}$ ;  $N = 64$ ;  $n = 100$ ;  $x = 15$ ;

$$S = \frac{500 \cdot 100 \cdot 6 \cdot 64}{15 \cdot 100000} = 12,8 \text{ м}^3/\text{час}.$$

6. Общее состояние водоумягчителя и реагентное хозяйство. Необходимо уделять достаточное внимание состоянию металлических частей установки, периодически покрывая их масляной краской для защиты от ржавления.

Помещение должно содержать в порядке, равно как и прилегающую к нему территорию, не допуская скопления осадков, для чего следует периодически очищать отстойные колодцы, используя при этом отстоянную воду.

На американских водоумягчителях осадки подвергаются брикетированию и используются для нужд сельского хозяйства и промышленности.

Реагенты — известь и кальцинированную соду — следует хранить в специальном сухом помещении; кроме того, известь хорошо сохраняется в виде известкового теста в специальных творильных ямах, куда она сгружается непосредственно из

вагонов, гасится и остается до момента приготовления известкового молока.

Необходимо обращать внимание на качество реагентов, особенно извести. Последняя должна быть хорошо обожжена, в комьях и при обливании небольшой порцией воды нацело гаситься с образованием пушонки, без примеси твердых включений.

## § 4. Дополнительные способы умягчения воды

### 1. Известково-баритовый способ

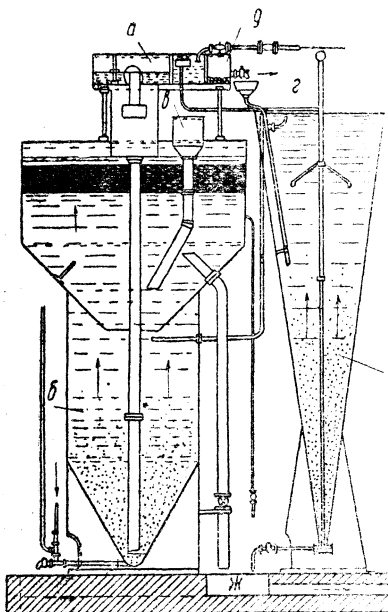


Рис. 47. Известково-баритовый водоумягчитель сист. Рейзерт

При умягчении вод известково-содовым способом с большой постоянной жесткостью, главным образом гипсовой, как уже отмечено, количество растворенных солей в воде не уменьшается. Положительный результат в этом случае мог бы быть достигнут применением бариевых солей ( $\text{BaCO}_3$ ) вместо соды, почти нацело удаляющих сернокислые соли.

Однако, означенные реакции протекают крайне медленно и в присутствии большого избытка реагента, почему способ этот в технике водоподготовки пока широкого распространения не получил.

На рис. 47 представлен известково-баритовый водоумягчитель системы Рейзерт, действие которого заключается в

следующем. Вода, подлежащая умягчению, сначала поступает в водораспределитель *а*, откуда одна часть ее направляется в смесительную трубу отстойника *б*, другая в сатуратор *г*. Приготовление известкового молока происходит в сосуде *д*, загрузка углекислого бария производится через воронку *е*. Умягчаемая вода сначала подвергается известкованию, затем обрабатывается баритом, после чего проходит через древесно-стружечный фильтр и поступает в эксплуатацию.

В некоторых случаях умягчение воды производят каким-либо одним реагентом, например известью, кальцинированной или каустической содой.

## 2. Умягчение известью

Применение одной извести рационально лишь при незначительной постоянной жесткости воды для удаления солей временной жесткости и углекислого газа.

## 3. Умягчение кальцинированной содой (регенеративный способ Неккара)

Применение кальцинированной соды основано на том, что образующийся в результате взаимодействия соды с солями временной жесткости воды бикарбонат натрия ( $\text{NaHCO}_3$ ) в котле переходит в карбонат натрия (соду), который при продувке котла возвращается обратно в водоумягчитель и вновь реагирует с солями временной и постоянной жесткости воды.

При этом способе регенерируется только часть соды, т. е. реагирующая с солями временной жесткости воды. Сода же, расходуемая на осаждение солей постоянной жесткости, не регенерируется. Кроме того хорошо осаждаются лишь сернокислый кальций, соли же магния нацело не осаждаются ввиду значительной растворимости углекислого магния и требуют больших избытков.

Помимо этого образующаяся при разложении в котле бикарбоната натрия свободная углекислота может обуславливать коррозию металла.

#### 4. Умягчение каустической содой

Применение каустической соды целесообразно в тех случаях, когда временная жесткость соответствует постоянной.

При этом способе в результате взаимодействия едкого натра с солями временной жесткости воды образуется эквивалентное количество углекислого натрия, которое должно соответствовать наличию в воде постоянной кальциевой жесткости.

Но так как в природе такие воды, т. е. с одинаковой временной и постоянной кальциевой жесткостью, встречаются сравнительно редко, то применение одного едкого натра ограничено.

### Б. ЦЕОЛИТОВЫЙ (пермутитовый) СПОСОБ

#### § 1. Химические процессы при цеолитовом способе и свойства умягченной воды

Способ этот основан на свойствах минералов — цеолитов, а также искусственно получаемых продуктов — пермутитов, — отдавать свои основания в обменные реакции, замещая их эквивалентно другими.

Умягчение воды по этому способу состоит в замене натрия цеолитов кальцием и магнием, содержащимися в воде и обуславливающими ее жесткость, в процессе фильтрации воды через слой цеолита или пермутита.

Обозначив составные части цеолитов, кроме натрия, буквами  $Ze$ , мы можем реакции умягчения иллюстрировать следующими уравнениями. (см. табл. 14).

Из приведенных реакций видно, что жесткость воды может быть понижена до нуля градусов;

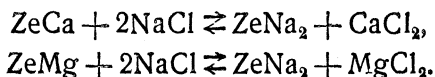
Таблица 14

## Реакции при цеолитовом умягчении воды

	Соединения, содержащиеся в неумягченной воде	Фильтрующая масса	Фильтр после реакции	Соединения, содержащиеся в умягченной воде
Временная (карбонатная) жесткость	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	Натрий—цеолит $\text{ZeNa}_2$	Кальций—цеолит $\text{ZeCa}$	$2\text{NaHCO}_3$
	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	$\text{ZeNa}_2$	Магний—цеолит $\text{ZeMg}$	$2\text{NaHCO}_3$
Постоянная (некарбонатная) жесткость	$\text{CaSO}_4$	$\text{ZeNa}_2$	$\text{ZeCa}$	$\text{Na}_2\text{SO}_4$
	$\text{CaCl}_2$	$\text{ZeNa}_2$	$\text{ZeCa}$	$2\text{NaCl}$
	$\text{MgSO}_4$	$\text{ZeNa}_2$	$\text{ZeMg}$	$\text{Na}_2\text{SO}_4$
	$\text{MgCl}_2$	$\text{ZeNa}_2$	$\text{ZeMg}$	$2\text{NaCl}$

при этом так как фильтрующая масса по мере замены натрия кальцием и магнием утрачивает свою умягчающую способность, то после известного времени фильтрации процесс умягчения воды прекращается.

Обратимость химических реакций позволяет вести их и в другом направлении, т. е. в направлении замещения кальция и магния натрием, после чего цеолит приобретает свои первоначальные умягчающие свойства. Процесс этот, осуществляемый с помощью раствора хлористого натрия (поваренной соли), называется регенерацией (восстановлением) и может быть иллюстрирован следующими уравнениями:



В цеолитированной воде, как это видно из приведенных реакций, общее количество солей не уменьшается, но вместо кальциевых и магниевых солей (накипеобразователей) образуются хорошо растворимые, соответствующие им натриевые соли, почему накипи в паровых котлах от такой воды не получается.

## § 2. Классификация цеолитов и их свойства

Термин цеолит употребляют в очень широком смысле: он включает все вещества, которые обладают способностью обменивать свои основания.

Под цеолитами, в собственном смысле этого слова, подразумевают естественные водные силикаты, которые содержат такие основания, как калий, натрий, алюминий, магний, кальций.

К числу их принадлежат: натролит, стильбит, десмит, волконскоит (хромосиликат калия) и глауконит (алюмосиликат железа, калия, кальция и магния).

Пермутитами называются искусственно полученные препараты, обладающие свойствами цеолитов.

Большинство искусственных цеолитов получается сплавлением или осаждением. Исходными продуктами при сплавлении служат: каолин, кварц и сода в определенных количествах. Сплав выщелачивается, высушивается и дробится до зерен определенной величины, отличающихся тонким пористым строением.

Помимо отмеченных веществ, в качестве исходных материалов применяют естественные цеолиты, некоторые шлаки, туф и др., сплавляя их также с щелочами.

При получении по методу осаждения раствор натриевых и алюминиевых солей обрабатывают силикатом натрия. Полученный осадок — гель — отжимают, промывают, высушивают и измельчают.

По структуре зерен цеолиты делятся на две группы: пористые — с большой внутренней поверхностью и непористые — с небольшой поверхностью.

К числу первых относятся искусственные цеолиты — пермутиты, ко вторым — естественные.

Благодаря пористому строению первых обменная способность их значительно больше непористых, так как в процессе обмена участвует не только внешняя поверхность их, но и внутренняя.

Недостатком пористых цеолитов является их сравнительно меньшая механическая стойкость и более медленное протекание химических реакций

(умягчение и регенерация), нежели у непористых, в виду того, что для проникновения солей в поры требуется известный промежуток времени.

К числу вторых относятся естественные цеолиты. Благодаря отсутствию в их зернах пор обмен протекает с внешней поверхности, и величина обменной способности при этом по сравнению с пористыми значительно ниже (в 4—6 раз), зато процессы обмена и регенерации протекают быстрее. Отсутствие пор обуславливает также большую стойкость их и делает их не столь чувствительными к механическим воздействиям.

Основной характеристикой умягчающего свойства цеолитов является величина обменной способности, которая может быть выражена по весу и по объему.

Весовой обменной способностью называется отношение веса солей жесткости воды, выраженных в окиси кальция ( $\text{CaO}$ ) к весу цеолита, которые он способен поглотить до момента своего насыщения, в процентах.

Например, если  $a$  — вес поглощенной окиси кальция в г,  $k$  — вес цеолитового песка в г, то обменная способность по весу ( $x$ ):

$$x = \frac{a \cdot 100}{k} \%$$

Таким образом, обменная способность, равная например 0,3, указывает, что 100 г цеолита могут поглотить 0,3 г солей жесткости, выраженных в окиси кальция, или 1 кг цеолита — 3 г.

Принимая во внимание, что 1 нем. гр. жесткости соответствует 10 мг окиси кальция в 1 л или 10 г в 1 м<sup>3</sup> воды получим, что содержание 10 г окиси кальция соответствует 1 нем. гр. жесткости в 1 м<sup>3</sup>, или одному кубоградусу.



Отсюда 3 г окиси кальция, поглощенные 1 кг цеолита из 1 м<sup>3</sup> воды, составляют 0,3 (3/10) кубоградуса, вследствие чего цифра обменной способности по весу выражает одновременно количество градусов жесткости, на которое 1 кг цеолита может умягчить 1 м<sup>3</sup> воды, или количество кубометров воды, которые 1 кг цеолита может умягчить на 1 нем. гр. Следовательно, если  $x$  — обменная способность цеолита,  $\kappa$  — его вес в кг,  $n$  — жесткость воды в нем. гр. и  $Q$  — количество воды в кубометрах, которое данное количество цеолита может умягчить до нуля, то:

$$Q = \frac{x \cdot \kappa}{n} \text{ м}^3 \quad \text{и} \quad \kappa = \frac{Q \cdot n}{x} \text{ кг.}$$

Объемная обменная способность легко получается из весовой перемножением ее на насыпной вес<sup>1</sup> материала и выражается в кубоградусах, которые могут быть поглощены 1 м<sup>3</sup> цеолитовой массы.

Например: весовая обменная способность цеолита — 0,3, вес одного кубометра цеолитового песка 1500 кг. Отсюда объемная обменная способность, или емкость поглощения кубометра песка в кубоградусах, составит:  $0,3 \cdot 1500 = 450$ .

Означенная цифра указывает количество кубометров воды, которые могут быть умягчены кубометром песка на 1 нем. гр. или количество

<sup>1</sup> Насыпным весом называют вес массы в объеме 1 м<sup>3</sup>,

кубоградусов (450), которые могут быть удалены из воды<sup>1</sup>.

Для целей проектирования последняя (объемная обменная способность) удобнее первой (весовой), так как дает возможность оперировать с объемами. В дальнейшем приводятся лишь данные весовой обменной способности.

### § 3. Развитие цеолитового способа

История цеолитового способа ведет начало с 1845 г., когда в журнале Американского сельскохозяйственного общества впервые было описано умягчение воды обменным процессом. Позже (1850—1852 гг.) английский химик Уэй, а затем (1858 г.) Эйхгорн дали теоретическое обоснование этого процесса и указали на возможность регенерации.

В 1905 г. д-р Ганс в Германии впервые изготовил искусственный цеолит, который назвал „пермутитом“ от греческого слова „обмен“. Там же (в 1908 г.) впервые были установлены пермутитовые водоумягчители, которые дали удовлетворительные результаты, после чего способ этот начал получать практическое применение.

Развитие цеолитового способа в Америке относится к 1915 г. и связано с получением естественного цеолита, так называемого „зеленого песка“, в штате Нью-Джерси.

В течение следующих пяти лет было изготовлено несколько видов пермутитов, отличающихся

---

<sup>1</sup> Для получения величины кубоградусов, подлежащих удалению, цифру жесткости воды умножают на количество кубометров умягчаемой воды; например умягчают 1000 м<sup>3</sup> воды с жесткостью 20°; в кубоградусах это составит  $20 \cdot 1000 = 20\,000$ .

от изготовленного д-ром Гансом условиями своего производства.

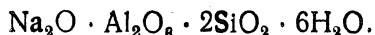
У нас интерес к цеолитовому способу умягчения воды был особенно проявлен 3-4 года тому назад. В настоящее время мы имеем свою цеолитовую промышленность, детально изучены свойства цеолитовых масс и т. д. Умягчающими материалами в основном служат два продукта: естественный цеолит — глауконит и искусственный — пермутит.

#### § 4. Современные цеолитовые массы

##### 1. Пермутит

Пермутит, впервые изготовленный д-ром Гансом, был получен сплавлением 3 частей каолина, 12 частей соды и 3 частей кварца. Сплав измельчался до величины зерен 0,5—1,0 мм, выщелачивался и подсушивался.

Состав этого пермутита соответствовал формуле:



Состав существующих пермутитов весьма различен. Так например, содержание окиси натрия колеблется от 4% до 20%, окиси алюминия — от 7% до 21%, кремнекислоты — от 36% до 80% и влаги — от 20% до 50%, вследствие чего величина обменной способности этих пермутитов колеблется также в широких пределах от 1,0 до 3,6.

Зерна этого материала благодаря наличию пор весьма чувствительны к загрязнениям воды, почему присутствие в ней мути, коллоидальных веществ, хлопьев коагулянта, солей железа, марганца и др. вредно действует на пермутит, снижая его работу.

Минеральные кислоты, углекислый газ и температура выше  $30^{\circ}$  обуславливают его разрушение. Обменная способность пермутита по отношению к магниевым солям до 2 раз меньше, чем к кальциевым.

У нас пермутит изготовлялся по особому рецепту, разработанному б. Институтом прикладной минералогии<sup>1</sup>.

Исходным продуктом служит минерал нефелин, который сначала обрабатывается серной кислотой; полученный раствор нейтрализуют жидким стеклом ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), выделившийся осадок (гель) прессуют, отмывают, сушат и измельчают до зерен определенной крупности.

Обменная способность этого пермутита составляет 1,0 — 1,3. Насыпной вес—около 700 кг.

Продукт этот не отличается прочностью (по данным Всесоюзного теплотехнического института), так как несколько разрушается при фильтрации с выносом кремнекислых солей, вследствие чего в энергетической промышленности пока не применяется.

Для остальных видов промышленности и в коммунальном хозяйстве, благодаря своей сравнительно высокой обменной способности, он может найти соответствующее распространение.

## 2. Глауконит

Глауконит—минерал (по-гречески означает зелено-синий), известен уже с 1805 г. (Эренберг).

---

<sup>1</sup> В последнее время Институтом минерального сырья (б. Ин-т минералогии) разработан новый вид пермутита с обменной способностью 3—5%, обладающий большой механической прочностью. Пермутит этот получается мокрым путем. Исходными материалами служат глинозем, жидкое стекло и сода.

Состав его крайне разнообразен и варьирует в зависимости от месторождения<sup>1</sup>.

Встречается он обычно в виде гладких блестящих зерен различной формы и величины, зеленоватого и темнозеленого цвета (рис. 48).

Химический состав одного из них приведен в нижеследующей таблице:

Таблица 15

## Анализ глауконита

С о с т а в	Процентное содержание	С о с т а в	Процентное содержание
Кремнезем $\text{SiO}_2$ .	45,95	Окись магния $\text{MgO}$	0,69
Окись железа $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .	11,56	Натрий и калий $\text{Na} + \text{K}$ . . . .	2,99
алюминия $\text{Al}_2\text{O}_3$ .	11,00	Сульфаты $\text{SO}_3$ .	5,71
Окись кальция $\text{CaO}$	13,83	Потеря от прокаливания . . . .	8,27

Для объяснения происхождения глауконитов предложен ряд теорий, из которых наиболее обоснованной является органическая, объясняющая образование глауконитов деятельностью микроорганизмов.

Глаукониты в наше время образуются на дне морей и океанов в условиях медленного накопления взвешенных в воде илистых частиц.

Глаукониты распространены в СССР повсюду. Они встречаются под Ленинградом и в Москов-

<sup>1</sup> По Клерку, Ферсману и Кеспари состав глауконитов выражается следующей формулой:  $\text{R}_2\text{O} \cdot \text{R}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , где  $\text{R}_2\text{O}$  —  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}$ ;  $\text{R}_2\text{O}_3$  —  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

ской области, в Донбассе, в Крыму, в районе Поволжья, Днепра, в различных местах Сибири и т. д.

Обычно они залегают среди глин, песка, песчаника, известняка и часто сопутствуют фосфоритам. К последним относятся Егорьевские (под Мо-

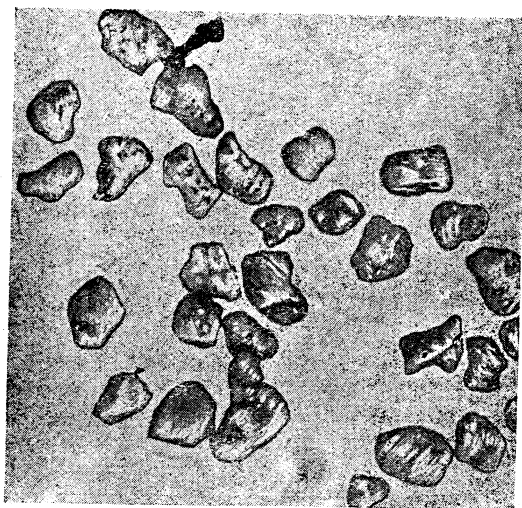


Рис. 48. Зерна глауконитового песка  
(ув. ок. 20 раз)

сковой) и Кировские (Вятские) фосфорито-глауконитовые образования.

Обработка глауконитов в основном заключается в освобождении от посторонних примесей и влаги.

Глауконитовый песок сначала промывают, сушат, нагревают до  $300 - 500^{\circ}\text{C}$ , отсеивают для получения зерен определенной величины (примерно от 0,25 до 0,8 мм) и, наконец, подвергают очистке на магнитных сепараторах, при помощи

которых отделяют зерна глауконита (притягиваемые магнитом) от других пород той же крупности и близких к ним по удельному весу.

Указанная схема обработки может применяться полностью или ограничиваться лишь некоторыми процессами в зависимости от качества исходного продукта.

Выход готового продукта составляет до 10%. Насыпной вес глауконитовых песков около 1500 кг, обменная способность 0,2 — 0,3, содержание влаги до 10%.

Основная обработка глауконитовых песков (Егорьевского месторождения) в настоящее время сосредоточена на одном Воскресенском химкомбинате (под Москвой).

Отсутствие пор обуславливает сравнительно меньшую чувствительность его к загрязнению воды и, как уже отмечено, делает более стойким механически. Кроме того глауконит менее чувствителен к углекислому газу и повышенной температуре по сравнению с пермутитом.

К недостаткам глауконита следует отнести его сравнительно небольшую обменную способность и склонность к пептизации, т. е. свойству частично переходить в коллоидное состояние при фильтрации воды, обуславливающее ее помутнение.

Явление это, повидимому, связано с разрушением цементирующего вещества и с гидролитическим разложением части глауконита, подвергшейся выветриванию.

В условиях эксплуатации пептизация обычно значительно сокращается после 5-6 регенераций, а также может быть ослаблена термической обработкой.

Глауконит у нас находит широкое применение в деле водоподготовки в энергетической промышленности.

В настоящее время ведутся работы по изысканию естественных продуктов, обладающих более высокой обменной способностью. К числу их относятся минералы — волконскоит и вермикулит.

Первый из них представляет собой хромо-магниевого силикат, обладает обменной способностью 1,6—1,7 и до настоящего времени обнаружен лишь в сравнительно небольшом количестве.

Второй, близкий по составу к магниевой слюде, находится в стадии изучения.

По данным американской практики, пермутит целесообразнее применять для прозрачных, жестких, преимущественно подземных вод, глауконит для более мягких, преимущественно поверхностных.

Основные свойства глауконита и пермутита представлены в табл. 16.

## § 5. Цеолитовые водоумягчители

### 1. Цеолитовые фильтры и пуск их в работу

Цеолитовые водоумягчители в основном состоят из фильтров, загружаемых цеолитовой массой, и приборов для приготовления раствора соли с соответствующей сетью трубопроводов.

Цеолитовые фильтры представляют обычный тип фильтров, открытых или закрытых (напорных), вертикального или горизонтального вариантов. На рис. 49 и 50 показаны вертикальные и горизонтальные цеолитовые фильтры.

Обычно фильтры изготавливаются из железа, но могут быть деревянными или железобетонными.



Таблица 16

## Основные свойства глауконита и пермутита

Свойства	Глауконит	Пермутит
Насыпной вес $\text{кг/м}^3$ . . . . .	1500	700
Обменная способность (по весу в процентах) . . . . .	0,2—0,3	1,0—1,3
Объемная обменная способность в кубоградусах . . . . .	300—450	700—910
Крупность зерна в мм . . . . .	0,2—0,7	1—2
Допустимая скорость фильтрации $\text{м/час}$ . . . . .	5—20	1—5
Продолжительность процесса регенерации в час. . . . .	1,0—1,25	1,5—2,0
Расход воды на отмывку 1 $\text{м}^3$ песка в $\text{м}^3$ . . . . .	3,0	4,0
Межрегенерационный период в час. . . . .	5—8	7—11
Количество соли для регенерации на кубоградус удаляемой жесткости в г. . . . .	70—85 при однократно использовании соли, 60—при двукратно	80
Коэффициент для магниевых солей . . . . .	1,1	2,0 <sup>1</sup>
Годовой износ в % . . . . .	2—3	5
Максимальная температура °Ц. . . . .	35	30

Приготовление раствора соли для небольших установок производится в специальных раствор-

<sup>1</sup> Следует отметить, что магниевые соли несколько труднее вступают в обменные реакции с цеолитами по сравнению с кальциевыми солями, почему и требуют большего количества продукта.

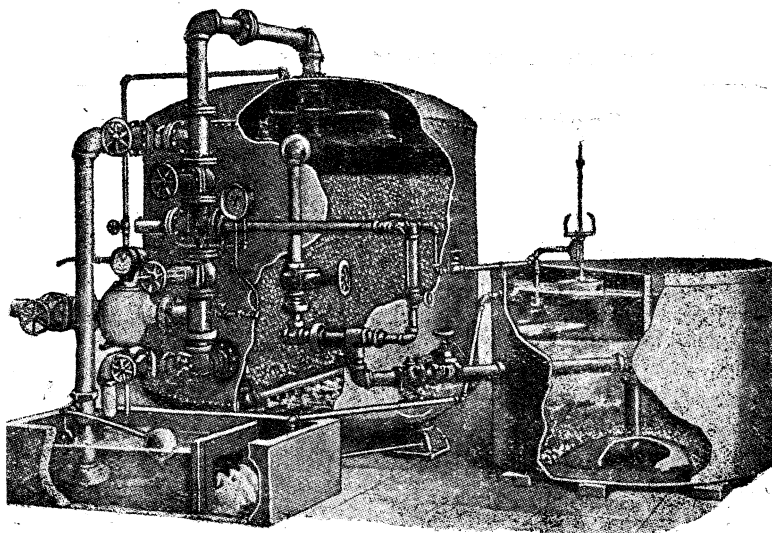


Рис. 49. Вертикальный цеолитовый фильтр с баком для растворения соли (справа)

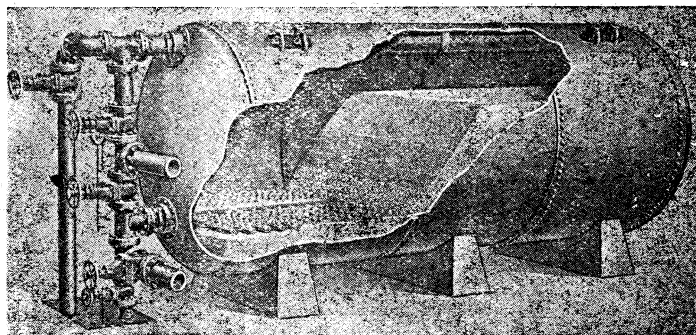


Рис. 50. Горизонтальный цеолитовый фильтр

ных баках, для больших—в так называемых соле-растворителях, устроенных на подобие фильтров.

В первых заготавливают раствор соли определенной концентрации (10%).

Вторые загружаются через воронку определенным количеством соли, которая при регенерации растворяется током воды, освобождается от механических примесей, проходя через слой гравия и поступает в фильтр (Рис. 51).

Загрузка цеолитового фильтра и пуск в работу происходят следующим образом.

Рассчитанное количество цеолитовой массы (пермутит, глауконит) загружают в фильтр на гравийную подстилку толщиной 0,3—0,4 м и в течение некоторого времени промывают током воды снизу вверх для отмывки от глинистых веществ и мелочи, т. е. до прекращения мути, которая, в зависимости от природы вещества, может удерживаться различное время. Так, при применении пермутита промывка ограничивается несколькими часами; для глауконита, благодаря его пептизирующим свойствам, — значительно дольше.

Промытый песок затем регенерируется раствором поваренной соли, отмывается, и фильтр

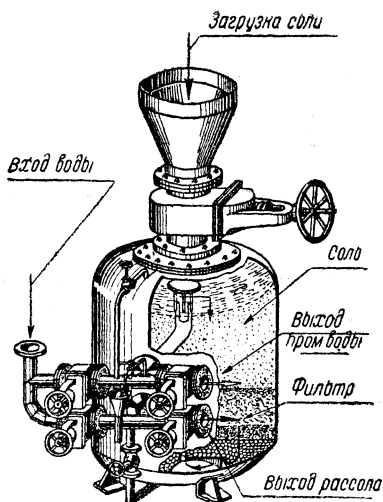


Рис. 51. Соле-растворитель -

пускается в эксплуатацию. Предварительная регенерация глауконита необходима потому, что в естественных условиях при прохождении через него почвенных вод натрий его полностью или частично замещен кальцием и магнием. Необходимость же регенерации пермутита обуславливается частичным содержанием в нем солей жесткости в процессе его промывки при производстве.

## 2. Эксплуатация цеолитовых водоумягчителей

Подлежащая умягчению вода поступает через вентиль 1 по трубе *a* в фильтр (рис. 52), проходит через цеолитовую массу сверху вниз с определенной скоростью<sup>1</sup> в зависимости от рода фильтрующего материала и жесткости воды (см. табл. 16), забирается затем специальной дренажной системой, состоящей из трубчатых или колпачковых приемников, и направляется через вентиль 2 в сборник питательной воды или для последующей обработки (подкисление, дегазация и проч.).

Через известный промежуток времени, после прохождения через фильтр определенного количества воды или с обнаружением жесткости в воде, фильтрацию воды прекращают и приступают к регенерации.

<sup>1</sup> Для практических целей, по данным Всесоюзного теплотехнического ин-та (ВТИ) скорость фильтрации находится в следующей зависимости от жесткости воды (для глауконитового фильтра толщиной не менее 1,4 м)

Жесткость воды:

5°

15°

30° и выше

Скорость фильтрации:

до 20 м/час

до 10 м/час

до 5 м/час.

С этой целью закрывают вентили умягчаемой (1) и умягченной (2) воды и пропускают в фильтр по трубе *б* через вентиль 3 ток воды снизу вверх в течение 10—15 мин. для разрыхления фильтрующей массы и удаления механических примесей, которые удаляются через вентиль 4. Затем

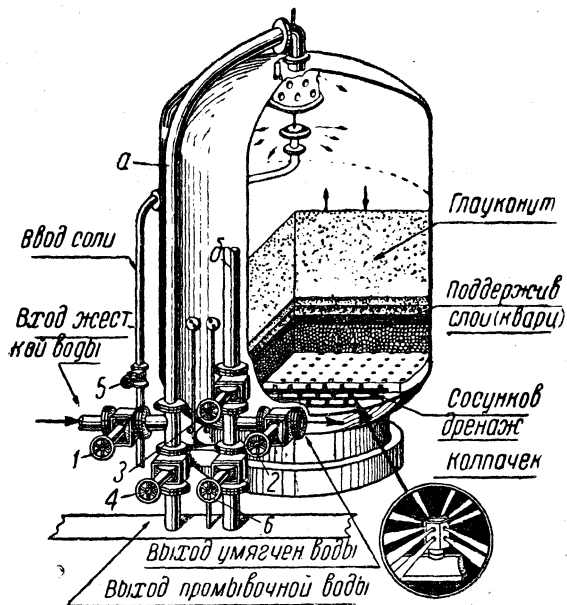


Рис. 52. Общий вид современного цеолитового фильтра  
 вентили 3 и 4 закрывают и открывают вентиль 5, подающий на фильтр раствор соли, который пропускают по направлению сверху вниз со скоростью до 5 м/час в течение 10—15 мин., после чего фильтр отмывают жесткой или умягченной водой от избытка соли и продуктов реакции до со-

держания хлоридов, на 10—20 мг/л превышающих первоначальное содержание их в умягчаемой воде, на что обычно затрачивается до 40 мин.

Отмывочная вода поступает в фильтр через вентиль 1 по трубе *a* и отводится, как и раствор соли, через вентиль 6.

Таким образом, весь период регенерации глауконита занимает около часа.

После отмывки фильтра продувочный вентиль 6 закрывают, и фильтр вновь включают в работу.

Количество расходуемой воды в процессе регенерации, главным образом на отмывку, может колебаться в весьма широких пределах в зависимости от жесткости умягчаемой воды. Так например, для московской воды (жесткость 10—14 нем. гр.), по данным Краснопресненской ТЭЦ, этот расход составляет 13%; увеличением жесткости процент отмывочных вод соответственно увеличивается, так как загрузка цеолитовой массы будет тем больше, чем больше жесткость умягчаемой воды. почему в некоторых случаях, при жесткости 50—70 нем. гр. этот расход может составлять 40—50% от всего количества умягчаемой воды.

В этих случаях цеолитовый способ может оказаться нерентабельным.

По данным Эплбаума, средний расход воды на промывку при цеолитовом способе составляет 25%, для аналогичной воды при известково-содовом — до 5%.

По экономическим соображениям использованный раствор соли может быть применен и для вторичной регенерации, применение же раствора в третий раз, по данным ВТИ, нерационально.

Расход соли при регенерации может быть также уменьшен за счет подогрева (для глауконитовых фильтров) раствора соли.

Для экономии расхода воды собирают наименее загрязненные порции ее в специальный бак для повторного использования при регенерации.

### § 6. Комбинированные цеолитовые водоумягчители

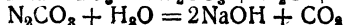
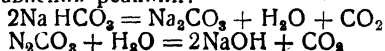
При цеолитовом умягчении воды в результате обмена солей временной жесткости с натрием цеолита (см. табл. 14) образуется эквивалентное количество бикарбоната натрия, который в паровом котле переходит в углекислый натрий, разлагающийся на едкий натр и углекислоту<sup>1</sup>.

Накопляющийся едкий натр, как известно, при соответствующих условиях может обуславливать вспенивание и бросание котловой воды, а также и разъедание арматуры. Выделяющийся же при этом углекислый газ обладает корродирующими свойствами. Поэтому, для вод с повышенной временной жесткостью (ориентировочно выше 5°) применяют известкование (до поступления воды на фильтр), или подкисление воды (до или после фильтра).

Известкование воды может осуществляться при помощи тех же устройств, что и при известково-содовом способе с помощью известковой воды или известкового молока.

Освобожденная таким образом в большей или меньшей степени от солей временной жесткости и свободной углекислоты вода проходит через

<sup>1</sup> Уравнения реакций:



песочный фильтр<sup>1</sup> для удаления довыпадающих кристаллов углекислого кальция и гидрата окиси магния и затем поступает на цеолитовый фильтр, где происходит окончательное ее умягчение.

Подкисление производят с помощью серной кислоты до поступления воды на цеолитовый фильтр, как это указано выше, или после фильтра. В первом случае нейтрализуют бикарбонаты кальция и магния, во втором — бикарбонат натрия<sup>2</sup>, вследствие чего умягченная вода получается с ничтожным количеством щелочей.

Хотя способ этот очень несложен, но он требует особо тщательного выполнения, во избежание возможного переокисления со всеми вытекающими отсюда последствиями. Кроме того количество растворенных солей в воде при этом остается почти без изменения, в то время как при известковании количество растворимых солей в воде уменьшается.

Для удаления образующегося углекислого газа воду подвергают дегазации.

При содержании в воде механических примесей для предохранения цеолитовых фильтров от загрязнения применяют предварительную коагуляцию.

Для современных комбинированных установок приняты следующие схемы водоприготовления.

- 1) Коагуляция — известкование — цеолитирование.
- 2) Известкование — цеолитирование.
- 3) Коагуляция — цеолитирование — подкисление.

---

<sup>1</sup> На некоторых установках для той же цели сооружают мраморные фильтры.

<sup>2</sup>  $2\text{NaHCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2$



## 4) Коагуляция — цеолитирование.

На рис. 53 и 54 представлены (1 и 3) схемы комбинированного умягчения воды.

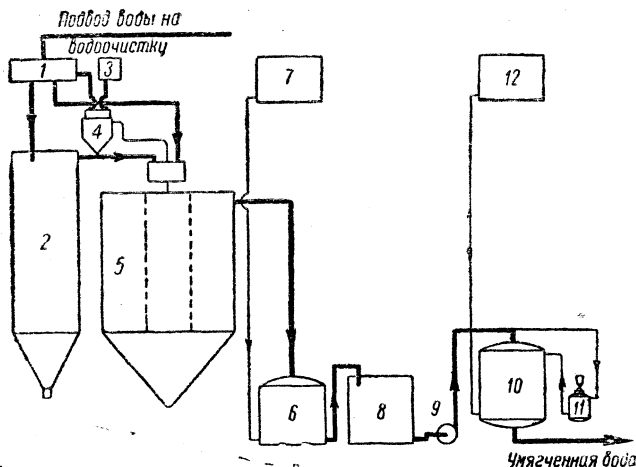


Рис. 53. Схема комбинированной установки: коагуляция — известкование — цеолитирование.

1 — водораспределитель, 2 — сатуратор, 3 — бак для раствора коагулянта, 4 — раздачик (вытеснитель) коагулянта, 5 — отстойник, 6 — песочный фильтр, 7 и 12 — баки для промывочной воды, 8 — сборный бак для воды, 9 — насос, 10 — цеолитовый фильтр, 11 — солеувлажнитель

## § 7. Современное состояние цеолитового водоприготовления

### 1. Цеолитовое умягчение воды в промышленности

До 1932 г. у нас не было своей цеолитовой промышленности. Фильтрующая цеолитовая масса и фильтры выписывались из-за границы. Количество установок насчитывалось единицами.

В настоящее время мы имеем свою мощную сырьевую базу, работает завод по обогащению глауконитов, организовано производство отечественного пермутита. Ряд крупных ТЭЦ (Березники, Сталиногорск, Краснопресненская ТЭЦ — Мо-

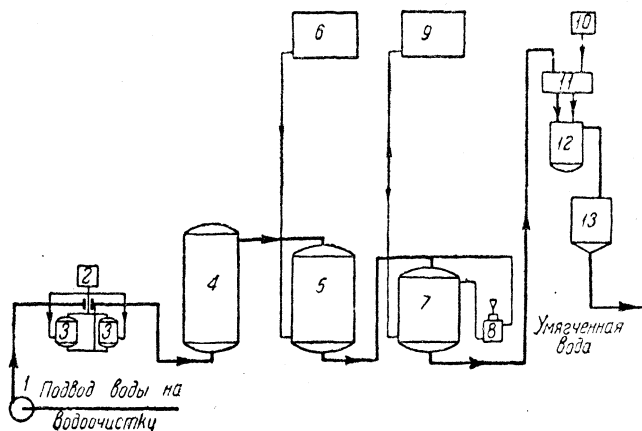


Рис. 54. Схема комбинированной установки: коагуляция — цеолитирование — подкисление

1 — насос, 2 — бак для раствора коагулянта, 3 — дозаторы коагулянта, 4 — смеситель, 5 — песочный фильтр, 6 и 9 — баки для промывочной воды, 7 — цеолитовый фильтр, 8 — солярастворитель, 10 — бак для кислоты, 11 — дозатор кислоты, 12 — смеситель, 13 — дегазер

сква — и др.) получает воду, исключительно умягченную цеолитовым — комбинированным способом. Количество цеолитовых водоумягчителей растет с каждым годом. Большинство установок на производстве работает по схемам: 1, 2 и 4<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Схема 3: Коагуляция — цеолитирование — подкисление, ввиду особых условий, связанных с подкислением воды у нас распространения не получила.

Примером крупных известково-цеолитовых установок может служить Березниковская ТЭЦ с производительностью 500  $\text{м}^3/\text{час}$ . Умягчаемая вода после коагуляции поступает в отстойник, затем в кварцевые (песчаные) фильтры и, наконец, на цеолитовые.

Кроме этого имеется несколько импортных установок, работающих на неопермутите<sup>1</sup>: завод „Красное знамя“ — Ленинград, паровозостроительный завод — Ворошиловград, банно-прачечный трест — Москва. Из них наибольшего внимания за-

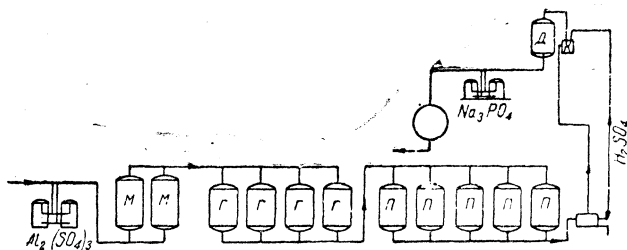


Рис. 55. Схема пермутитовой установки на Луганской ТЭЦ  
 М — мишеры (смесители) для смешения воды с коагулянтном, Г — гравитационные фильтры, П — пермутитовые фильтры, К — дозатор серной кислоты, Д — дегазер

служивает водоумягчительная установка на ТЭЦ Ворошиловградского паровозостроительного завода, сооруженная в 1932 г.

Водоприготовление осуществляется следующим образом.

Подлежащая умягчению вода из р. Луганки с жесткостью 18 — 37°, в зависимости от времени

<sup>1</sup> Неопермутит — тот же глауконитовый песок, подвергнутый обогащению.

года, сначала подвергается коагуляции сернокислым алюминием, затем фильтруется и подается на пермутитовый фильтр. Умягченная вода, для нейтрализации образующегося бикарбоната натрия подкисляется серной кислотой при помощи специального дозирующего приспособления, освобождается от углекислого газа дегазацией и, наконец, фосфатируется. Умягченная вода служит добавкой к питательной воде в количестве 45%.

Расположение частей установки производительностью около  $110 \text{ м}^3/\text{час}$  представлено на рис. 55.

Каждый фильтр диаметром 3 м и высотой цилиндрической части 3,5 м загружен 18 т неопермутита слоем 1750 мм, который расположен на гравийной подушке, состоящей из 3 слоев с постепенно уменьшающейся величиной зерен (7—5, 3—2, 2—1,5 мм). Фильтр рассчитан на непрерывную 5-часовую работу при воде с общей жесткостью в 34 нем. гр. Скорость фильтрации 4 м/час; эффект умягчения 0,1 нем. гр. Расход соли на регенерацию одного фильтра 280,6 кг. Время на регенерацию, считая от выключения до включения — 1 час, расход воды на отмывку 13—19 т. Стоимость умягчения 1 м<sup>3</sup> воды около 50 коп. (См. журн. „Тепло и сила“ № 8, 1933 г.)

## 2. Развитие цеолитового способа на железнодорожном транспорте

На ж.-д. транспорте имеется пока одна известково-цеолитовая установка, пущенная в работу в 1934 г., производительностью 80 м<sup>3</sup> в сутки. Два фильтра загружены Егорьевским глауконитом по 3 т каждый. Так как установка не обеспечивает потребности станции, то в умягченную воду производится добавка артезианской, вследствие чего жесткость питательной воды составляет 6—10 нем. гр.

В настоящее время на железнодорожном транспорте запроектировано несколько цеолитовых

установок и в первую очередь в местах эксплуатации мощных паровозов<sup>1</sup>.

Установки эти комбинированного типа с предварительной коагуляцией и известкованием.

В некоторых установках большой производительности, вместо известковой воды, требующей громоздких сатураторов, намечено применение известкового молока.

Учитывая недостаточное понижение жесткости воды некоторыми существующими водоумягчителями, особенно в районах с очень жесткими водами, полезно доумягчение воды на цеолитовых фильтрах, пристраиваемых дополнительно к уже работающим водоумягчителям.

Кроме того, с целью экономии воды при регенерации для некоторых наиболее жестких вод, очевидно, будет целесообразно уснащать известково-содовые водоумягчители в комбинации с цеолитовыми фильтрами.

Во всех случаях выбор той или иной установки должен решаться предварительными экономическими подсчетами.

Применение цеолитового способа для вод морского типа (солончаковых) нецелесообразно в виду значительного содержания в них хлористого натрия, препятствующего нормальному протеканию процесса умягчения. По заграничным данным, морские воды применяются для целей регенерации.

Строительная стоимость известково-цеолитовых установок превышает примерно в полтора раза стоимость известково-содовых, эксплуатационная — около двух раз. Однако эта разница

<sup>1</sup> Запроектирована и будет осуществлена в 1936 — 1937 гг. крупнейшая в СССР известково-глауконитовая установка, производительностью до 20 000 м<sup>3</sup> в сутки на ст. Н Южно-Уральск. дороги.

должна компенсироваться экономией за счет лучшего качества умягченной воды.

При питании паровозных котлов водой, умягченной известково-цеолитовым способом, обладающей при этом незначительной щелочностью, не исключается возможность коррозии металла за счет содержащегося в ней кислорода, или хлоридов, вследствие чего умягченную этим способом воду целесообразно подвергать дегазации или дополненной внутрикотловой обработке, что особенно важно для вод, содержащих значительное количество хлоридов (напр. на Сталинской, Сталинградской ж. д.). Но так как приборов для дегазации (дегазеров) на паровозах мы пока не имеем, то, очевидно, наиболее реальной мерой будет второе, т. е. внутрикотловая обработка, осуществляемая одним из антикоррозионных средств. По данным Института ж.-д. транспорта, наиболее эффективным средством в этом случае являются хроматы, добавляемые в питательную воду в строго определенном количестве.

#### § 8. Цеолитовый способ водоприготовления по заграничным данным

В Америке и западноевропейских странах цеолитовый способ применяется около 20 лет.

По сообщению Эплбаума, в США общее количество цеолитовых установок как в промышленности, так и индивидуальном пользовании достигает 20 000, из которых 9 000 служат для приготовления питательной воды для паровых котлов (рис. 56, 57).

В то время как в промышленных предприятиях и коммунальном хозяйстве цеолитовый способ получил довольно широкое применение, на ж.-д.

транспорте пока преобладает известково-содовое умягчение воды.

Первый цеолитовый фильтр был установлен на Южно-Тихоокеанской ж. д. в 1924 г.

Стоимость умягчения воды на этой дороге в пересчете на 1 кг удаляемой накипи составляет

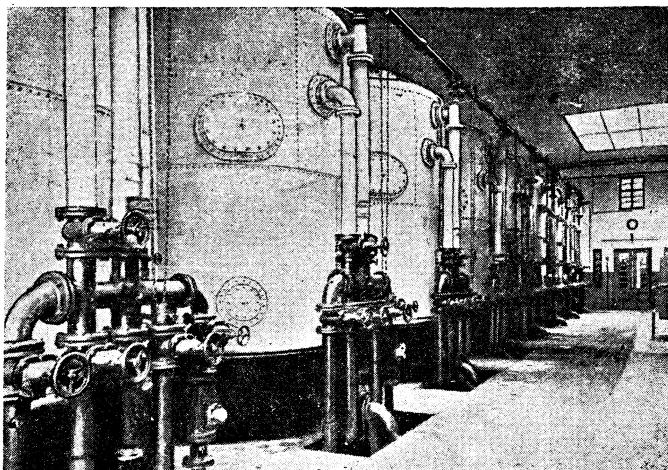


Рис. 56. Цеолитовая установка производительностью 200 м<sup>3</sup>/час

1,086 марки; известково-содовым — 0,752, при остаточной жесткости для первого в 0,6 и второго от 1 до 6 нем. гр. Экономия же на каждый кубометр воды составляла: для цеолитового способа 21,33 пфенига, известково-содового—11,15<sup>1</sup>.

Таким образом, лишние затраты на умягчение цеолитовым способом вполне окупаются полученной экономией от эксплуатации.

<sup>1</sup> По данным немецкого исследователя Браунгарда; Wärme, 1929 г. № 23.

Схема небольшой цеолитовой установки на американских ж. д. показана на рис. 58.

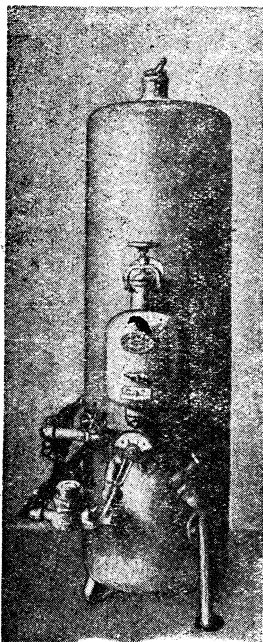


Рис. 57. Домашний цеолитовый фильтр с солерастворителем

Идея полной автоматизации цеолитовых фильтров появилась сравнительно давно, но только в последнее время получила практическое осуществление.

Первый городской автоматический цеолитовый водоумягчитель был разработан и установлен в Америке в 1931 г. На рис. 59 представлена схема этого умягчителя, состоящего из 2 бетонных фильтров, загруженных гравием и цеолитом. Автоматизация достигается координированной работой отдельных частей аппарата, приводимых в движение мотором.

Одновременно было предложено много конструкций автоматических аппаратов; один из них, получивший наибольшее распространение, представлен на рис. 60. По мнению автора, этот прибор мог бы найти большое применение и на ж.-д. транспорте для сравнительно небольших станций, где неэкономично иметь специально обслуживающий персонал. Основной деталью автоматического механизма является многоопорный кольцевой клапан с плоским вращающимся диском, который устроен так, что при полном повороте



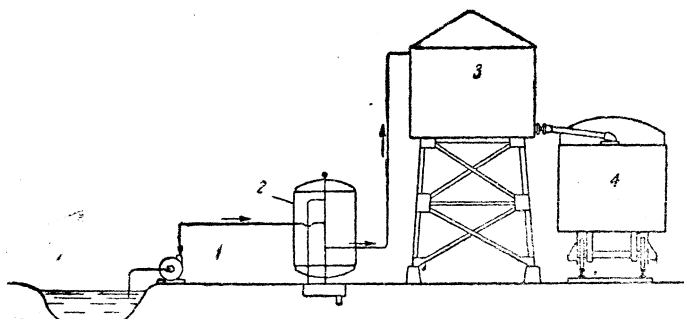


Рис. 58. Схема включения цеолитового фильтра при умягчении воды на ж.-д. станции Америки

1 — насос, 2 — цеолитовый фильтр, 3 — бак с умягченной водой, 4 — тендер паровоза

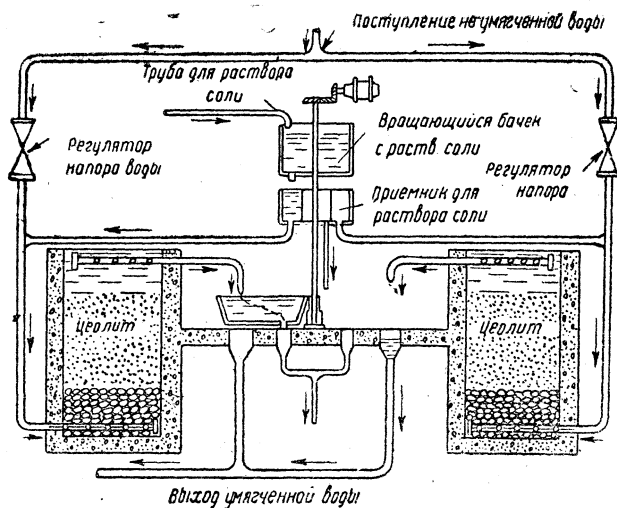


Рис. 59. Автоматический цеолитовый фильтр (самотечный)

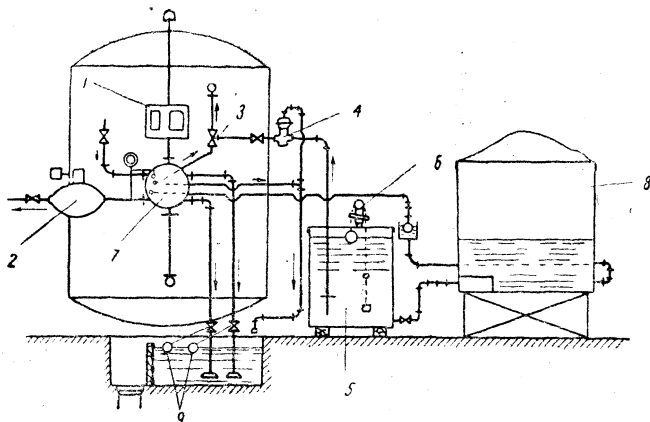


Рис. 60. Автоматический цеолитовый фильтр (напорный).  
 1 — выключатель, 2 — воломер, 3 — эжектор, 4 — солевой клапан, 5 — со-  
 левой мерный бак, 6 — плавающий регулятор, 7 — переключатель, 8 — бак  
 для приготовления соли, 9 — поплавковый регулятор

диска производятся все основные операции. Клапан приводится в движение мотором. Аппарат снабжен рядом точных измерительных приборов, позволяющих всю работу вести совершенно автоматически.

## § 9. Положительные и отрицательные стороны цеолитового водоприготовления

### Положительные стороны.

- а) Возможность полного удаления солей кальция и магния из воды.
- б) Отсутствие последующих реакций, обуславливающих образование отложений в водопроводных трубах.
- в) Отсутствие необходимости дозировать реагенты.

г) Установка в некоторых случаях требует меньше наблюдений, чем известково-содовая.

д) Умягчитель может работать эффективно при переменном составе воды.

#### Отрицательные стороны.

а) Цеолитовые водоумягчители не могут работать эффективно при мутных водах или содержащих значительное количество железа, марганца и свободной углекислоты. Означенные примеси должны быть предварительно удалены.

б) Для вод с большой постоянной жесткостью (50 — 70°) процент отмывочных вод при регенерации достигает очень больших величин.

в) Цеолитовые умягчители не могут работать экономично на водах, содержащих значительное количество хлористого натрия.

г) При устранимой жесткости выше 5 нем. гр. во избежание накопления в котлах большого количества щелочи, воду подвергают предварительному известкованию, что значительно усложняет установку.

д) Увеличение продувочных вод вследствие большого накопления в котлах соляной массы при отсутствии предварительного известкования.

### ГЛАВА VII

#### ОБРАБОТКА ВОДЫ КИСЛОТАМИ (ИМПФИРОВАНИЕ)<sup>1</sup>

Способ этот основан на переводе двууглекислых солей кальция и магния, обуславливающих образование карбонатной накипи, в хорошо растворимые хлористые или азотнокислые, не образующие накипи.

<sup>1</sup> Импфирование — в переводе с немецкого — прививка.

Впервые он был предложен немецкой фирмой Бальке для обработки воды, питающей испарители, и для охлаждающих систем, при чем в качестве реагента была применена соляная кислота, прибавляемая к воде почти до полной нейтрализации двууглекислых солей<sup>1</sup>.

При этом способе двууглекислые соли переходят в соответствующие хлористые, и выделяется свободная углекислота. У нас означенный способ в последние годы имел практическое применение при подготовке питательной воды для испарителей на некоторых мощных электростанциях, но широкого распространения не получил по следующим причинам.

1. Известно, что с устраниением влияния одних только бикарбонатов не разрешается комплекс вопросов о накипеобразователях, ибо в воде остаются другие и более опасные соединения, как например, сернокислый кальций и кремнезем.

2. Образующиеся из бикарбонатов хлористые соли оказываются далеко не безразличными для металла котлов, обуславливая коррозию, при чем наиболее активным является хлористый магний, гидролитически разлагающийся легче других хлористых солей на свободную соляную кислоту и гидрат окиси магния.

3. Выделяющаяся в процессе реакции свободная углекислота в присутствии большого количества хлоридов усиливает коррозию.

4. Кроме того при эксплуатации этого способа добавку соляной кислоты производят с помощью автоматически действующей сифонной трубки, полагаться на абсолютную точность работы ко-

---

<sup>1</sup>  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + 2\text{HCl} = \text{CaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2$   
 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 + 2\text{HCl} = \text{MgCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2$

торой вряд ли возможно; при малейших же отклонениях и всякого рода случайностях может быть переокисление, со всеми вытекающими отсюда вредными последствиями. Несколько другой эффект возможен при подготовке этим способом воды для охлаждения двигателей внутреннего сгорания, где питательная вода находится в иных условиях как в отношении температуры, так и в смысле увеличения концентрации солей (испарение ее в процессе охлаждения не столь значительно).

Но так как корродирующее свойство хлоридов, как бы мало оно ни было, в данном случае не может быть не учтено, то, основываясь на данных ряда исследователей, согласно которым азотнокислые соли являются менее активными по сравнению с хлоридами, а также на основе экспериментальных данных, автором<sup>1</sup> было предложено нейтрализовать бикарбонаты не соляной кислотой, а азотной, при чем добавку азотной кислоты производить непосредственно к определенному объему воды при тщательном перемешивании и с последующей проверкой на остаточную карбонатную жесткость, которая должна сохраняться в пределах от 0,5—0,8 нем. гр.

На основании целого ряда опытов автором установлено почти полное отсутствие накипи в охлаждающих системах при остаточной карбонатной жесткости в 0,5—0,8 нем. гр. и значительно меньшее разъедание металла по сравнению с водой, нейтрализованной соляной кислотой.

---

<sup>1</sup> Доц. Тебенихин Е. Ф., Подготовка охлаждающей воды для двигателей внутреннего сгорания, преимущественно в полевой обстановке, Сборник трудов кафедры химии МИИТ, 1936 г.

Еще лучшие результаты, по мнению автора, могут быть получены при применении смеси азотной кислоты с хромовокислыми солями.

На рис. 61 представлена схема импфустановки сист. Бальке. Действие этой установки заключа-

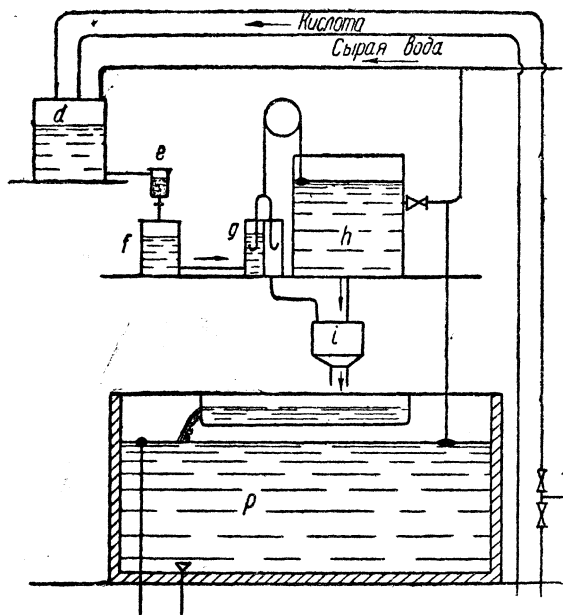


Рис. 61. Схема импфустановки

*d* — бак для приготовления разбавленной кислоты, *e* — фильтр, *f* — регулирующий бачок, *g* — дозатор, *h* — мерный бачок, *i* — смесительный сосуд, *p* — бассейн импфированной воды

ется в следующем. Подлежащая импфированию вода подается в мерный бачок *h*, откуда выходит снизу через диафрагмированную шайбу в керамиковый смеситель *i*. Сюда же в определен-

ных дозах через сифонный регулятор *g* поступает разбавленная соляная кислота, где происходит смешение воды с кислотой и откуда смесь выходит в бассейн импфированной воды.

Приготовление соляной кислоты определенной крепости (примерно 5° Боме) производится в сосуде *d*.

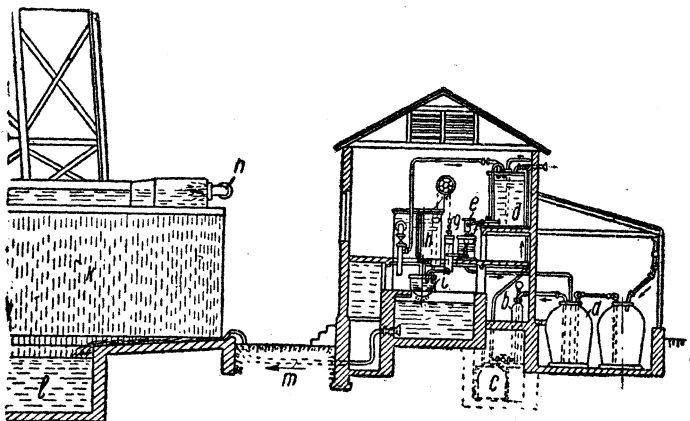


Рис. 62. Импфустанова в комбинации с градирней

*a* — баллоны с концентрированной соляной кислотой, *b* — кожух сифона, *c* — баллон под давлением для подачи кислоты, *d* — бак для приготовления разбавленной кислоты, *e* — фильтр, *f* — регулирующий бак, *g* — дозатор, *h* — мерный бак, *i* — смесительный сосуд, *m* — перепадная труба, *k* — трубопровод для охлаждающей воды, *k* — охладитель, *l* — сборный резервуар для воды

На рис. 62 показана схема импфустановки в комбинации с градирней, служащей для охлаждения отработанной воды в производстве.

## ГЛАВА VIII

## ОПРЕСНЕНИЕ ВОДЫ

Наиболее радикальным методом для удаления из воды всех растворенных в ней солей и механических примесей служит опреснение ее.

Опреснение может производиться двумя способами: 1) термическим и 2) электрохимическим.

**§ 1. Термический способ (дистилляция)**

Принцип термического опреснения состоит в переводе воды в парообразное состояние с последующим охлаждением, в результате чего примеси ее остаются в испарительном аппарате и получается дистиллированная вода, лишенная почти всех первоначальных примесей.

Означенный процесс осуществляется в особых установках, так называемых опреснителях или испарителях.

Примером простейшего прибора является обычный перегонный куб для получения дистиллированной воды.

Но такой опреснитель очень неэкономичен, так как при однократном использовании пара теряется вся скрытая теплота его. Более экономичными оказываются многоступенчатые опреснители, т. е. состоящие из нескольких корпусов, в которых полностью используется вся наличная теплота пара.

**1. Установки для опреснения воды**

Первые опреснители на транспорте появились в конце прошлого столетия на б. Владикавказской ж. д. для опреснения жестких минерализованных вод, затем их начали распространять и на



других дорогах юга, где был установлен ряд опреснителей различных систем, как например: Ягна, Круга, Чернова и др.; но как не оправдавшие себя в эксплуатации все они скоро были оставлены.

Для характеристики установок этого периода приводится описание опреснителя системы Ягна, показанного на рис. 63 и 63а.

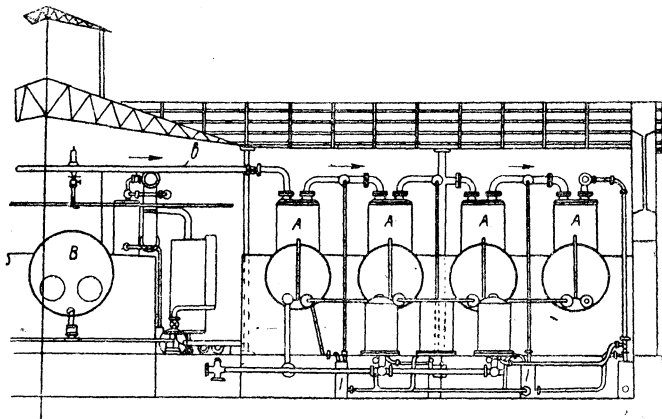


Рис. 63. Схема опреснителя сист. Ягна

*В* — котел, *А* — корпуса опреснителя

Действие его заключается в следующем: пар с давлением около 6 ат и температурой около 164°C из котла *В* по трубе *в* поступает в первый корпус (элемент—рис. 63а), состоящий из ребристой испарительной батареи и кожуха, наполненного водой, где он конденсируется и в виде дистиллята поступает в коллектор. Конденсируясь, пар отдает свою скрытую теплоту, за счет которой нагревается и испаряется опресняемая вода, окружающая батарею с образованием вторичного пара с более низкой температурой.

Образовавшийся таким образом в первом корпусе вторичный пар с температурой около  $156^{\circ}$ , поступает в следующий, — аналогичного устройства, где превращается в свою очередь в кон-

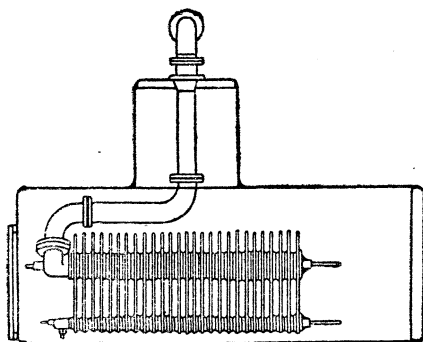


Рис. 63а. Внутренний вид корпуса (элемента) опреснителя сист. Ягна

денсат, и т. д., вплоть до последнего корпуса (4 — 8-го), где образующийся пар ( $100^{\circ}\text{C}$ ), направляется в холодильник.

Аппараты подобного типа быстро зарастали накипью, вследствие чего часто останавливались на ремонт и работали очень неэкономично. Опреснение одного кубометра воды стоило более 2 руб.

В настоящее время на ж.-д. транспорте работает лишь одна установка новейшей конструкции (на ст. Красноводск) для опреснения морской воды для питьевых и технических целей.

На теплосиловых установках испарители устанавливаются для получения дистиллята, приме-

няемого в качестве добавки к конденсату турбин для питания котлов высокого давления.

Испарительные установки в отношении давления пара делятся на три основные группы: на вакуум-испарители, работающие с абсолютным давлением пара менее  $1 \text{ кг/см}^2$ , испарители низкого давления, работающие с избыточным давлением  $0,2—0,6 \text{ кг/см}^2$ , и испарители высокого давления — от  $2$  до  $8 \text{ кг/см}^2$  и выше<sup>1</sup>.

Вакуум-испарители, как правило, бывают однокорпусные; испарители низкого давления одно— двухкорпусные и высокого давления, большей частью — многокорпусные (2—4).

Испарители бывают вертикальными и горизонтальными.

Поверхность нагрева испарителей состоит из змеевиков, или ввальцованных железных, или медных трубок. Пар обычно проходит внутри трубок, а вода омывает их снаружи.

Принцип работы вакуум-испарителей основан на испарении воды в условиях разрежения и при температуре ниже  $100^\circ$ . Это дает возможность использовать подогретую воду и пар низкого давления (мятый). При этом, если температура воды выше температуры пара, соответствующей данному разрежению, то испарение воды происходит без добавочного ее подогрева.

Испарители низкого давления устраиваются однокорпусными или двухкорпусными. Особенностью их является наличие эжекторного «термокомпрессора», служащего для отсасывания вторичного пара из последней ступени установки. Компрессор засасывает часть вторичного пара, сжи-

---

<sup>1</sup> Инж. И. Ф. Шапкин. „Дежурный по испарительным установкам“.

мает его до избыточного давления  $0,5—0,6 \text{ кг/см}^2$  и подает в испаритель.

Испарители низкого давления отличаются от испарителей прочих типов отсутствием конденсаторов для конденсации вторичного пара.

Испарители эти, особенно двухкорпусные, имеют более высокий коэффициент полезного действия по сравнению с испарителями высокого давления, и при хорошей питательной воле на 1 кг свежего пара (в двухкорпусной установке) можно получить от 3,5 до 4,5 кг чистого дистиллята. Это является их достоинством. К недостаткам следует отнести необходимость иметь пар относительно высокого давления, что ограничивает область их применения.

На рис. 64 показана схема двухкорпусного испарителя низкого давления.

Испарители высокого давления, как отмечено выше, могут быть однокорпусными и многокорпусными. Последние, как правило, работают вклю-

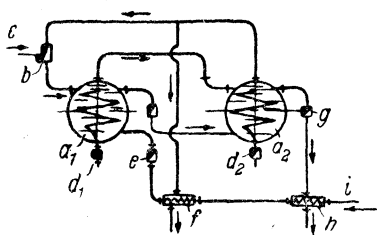


Рис. 64. Схема двухкорпусной испарительной установки низкого давления

$a_1$  — 1-й корпус испарителя,  $a_2$  — 2-й корпус испарителя,  $b$  — термомпессор,  $c$  — вход свежего пара,  $d_1$  и  $d_2$  — отводы дистиллята из 1-го и 2-го корпусов;  $e$  — регулятор питания,  $f$  — подогреватель сырой воды вторичным паром,  $h$  — подогреватель продувочной водой,  $i$  — вход в испаритель сырой воды.

ченными последовательно в отношении пара. Отличительной особенностью испарительных установок высокого давления является наличие в них конденсатора для охлаждения вторичного пара последней ступени.

Для большей экономичности устанавливаются три-

четыре корпуса, так как с увеличением числа корпусов (ступеней испарения) увеличивается коэффициент полезного действия испарителя.

Учитывая же, что с увеличением числа ступеней увеличивается сложность установки и соответственно возрастают капитальные затраты, обы-

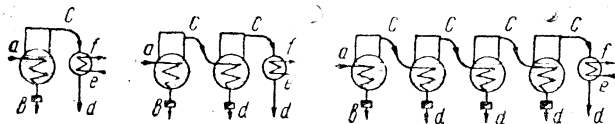


Рис. 65. Схемы одно-, двух- и многокорпусного испарителей  
*a* — первичный пар, *b* и *d* — выход дистиллята, *c* — вторичный пар, *e* — вход охлаждающей воды, *f* — выход охлаждающей воды

чно ограничиваются двумя или тремя корпусами.

Производительность однокорпусного испарителя составляет 0,8—0,9 кг дистиллята. Для двухкорпусного повышается до 1,6 кг, для трехкорпусного — до 2,2 кг дистиллята на один килограмм первичного пара.

На рис. 65 приведены схемы испарителей высокого давления.

На рис. 66 показан четырехкорпусный испаритель высокого давления системы Бальке.

Свежий пар по трубе *b* поступает в змеевики корпуса I, полученный здесь вторичный пар по трубе *a* поступает в змеевики корпуса II, вторичный пар второго корпуса по трубе *c* поступает в змеевики корпуса III и, наконец, вторичный пар корпуса III поступает в змеевики корпуса IV; вторичный пар корпуса IV идет частично в конденсатор. Дистиллят из змеевиков испарителя через конденсационные горшки *a* отводится в сборник питательной воды.

На рис. 67 представлен вертикальный трубчатый испаритель высокого давления системы ЛМЗ

(Ленинградский металлургический завод им. И. В. Сталина).

Пар с давлением  $4,5 - 5 \text{ атм.}$ , так называемый „первичный пар“, подводится в испаритель

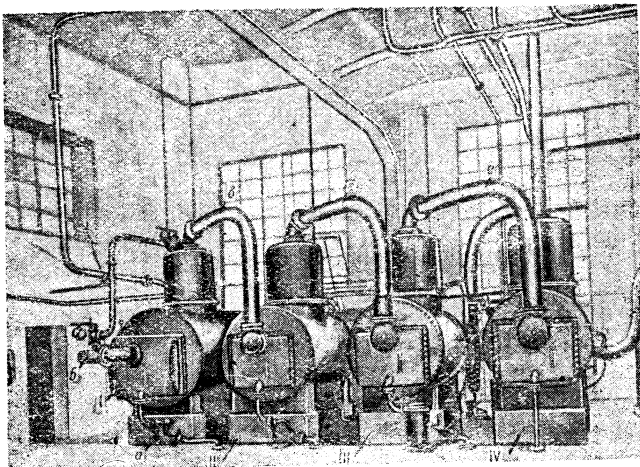


Рис. 66. Четырехкорпусная испарительная установка высокого давления сист. Бальке

$\delta$  — подвод первичного пара,  $\epsilon$ ,  $z$ ,  $e$  — вторичный пар,  $a$  — приемник конденсата,  $I-IV$  — корпуса испарителя

через патрубок  $E$  и обогревает наполненные водой трубы, ввальцованные в днище цилиндра.

Вода, подлежащая испарению, подается по трубе  $n_1$  через регулятор уровня воды  $A$  в нижнюю часть испарителя, откуда она забирается циркуляционным насосом  $N$  и подается по трубе  $a$  в верхнюю часть корпуса на решетку, где она попадает внутрь трубок  $T$ , обогрева-

емых снаружи паром. Часть воды испаряется и в виде „вторичного пара“ выходит из испарителя через штуцер *F*; неиспарившаяся вода попадает в нижнюю часть, откуда она опять забирается циркуляционным насосом и подается в верхнюю часть испарителя.

Первичный пар, отдав свою теплоту воде через стенки трубок и сконденсировавшись, в виде дистиллята отводится в сборные баки питательной воды.

Так как испарительные установки следует рассматривать в сущности как паровые котлы, то целый ряд вопросов, связанных с эксплуатацией паросиловых установок, имеет значение и для эксплуатации испарителей.

Поэтому умягчение воды, питающей испарительные установки, столь же необходимо, как и воды, применяемой для паровых котлов, при чем для этой цели может служить один из способов обработки воды для питания паровых котлов.

Жесткость дистиллята не должна превышать 0,1 нем. гр. Содержание растворенных солей — 12 мг/л.

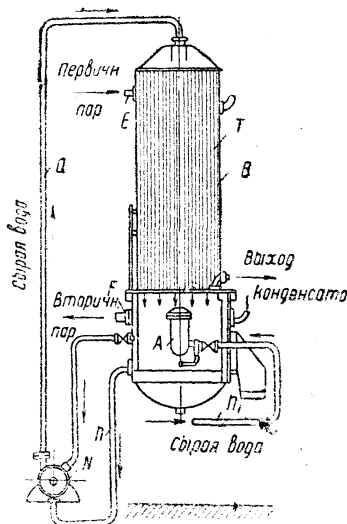


Рис. 67. Вертикальный испаритель конструкции ЛМЗ

## 2. Преимущества и недостатки термического способа

Преимущества опреснения воды по сравнению с другими методами водоприготовления заключаются в следующем.

а) Возможность получения воды, почти нацело лишенной растворенных солей и механических примесей, а потому и не образующей накипи.

б) Химические свойства дистиллята не зависят от качества исходной воды.

в) Опреснение является пока единственным способом для улучшения качества морских и солончаковых вод.

Наряду с этим имеют место и следующие недостатки.

а) Высокая стоимость установок и эксплуатации их, особенно с предварительным умягчением. По данным Штумпера, устройство испарительных установок в практике теплосилового хозяйства почти не оправдывается в тех случаях, когда опреснению подвергается больше 15—20% добавочной питательной воды<sup>1</sup>.

Стоимость опреснения тонны воды на паросиловых установках нашей промышленности в последнее время составляет около 2 руб.

б) Разрушающие свойства дистиллята, которые могут быть в силу следующих причин:

1) остающиеся почти полностью в воде растворенные газы оказывают корродирующее<sup>2</sup> дей-

---

<sup>1</sup> На современных теплосиловых установках в качестве питательной воды используется конденсат, который вследствие неизбежных потерь приходится пополнять добавочной водой в количестве 5—15%. Последняя обычно получается от испарителей.

<sup>2</sup> Корродирующее — разрушающее.



ствие на незащищенную металлическую поверхность;

2) разложение в условиях высокой температуры остающихся в дистилляте солей, придающих воде кислые свойства, при отсутствии других веществ, способных парализовать это влияние.

в) Необходимость применения дегазации<sup>1</sup> дистиллята или обработки его щелочами и фосфатами с целью предупреждения коррозии.

### 3. Паровоз с конденсацией пара

В самое последнее время на ж.-д. транспорте мы имеем ценнейшее достижение в деле котлопитания, заключающееся в том, что отработанный пар не идет на выхлоп, а почти полностью используется (конденсируется).

Тип такого паровоза сконструирован Коломенским паровозостроительным заводом, который изготовил для этой цели особый тендер с конденсационным устройством, при чем получаемый конденсат здесь же очищается от масла и других возможных механических примесей (рис. 68).

Таким образом, для питания паровозов применяется совершенно чистый дистиллят, при котором, как уже отмечено выше, исключается возможность образования в котле накипи.

Количество конденсата практически получается до 97% от всей расходуемой воды, траты которой следовательно составляют примерно 3%. Это дает огромную экономию в питательной воде, и если на каждые 100 поезд-километров паровоз расходует 25—40 т воды, то паровоз с конден-

<sup>1</sup> Дегазация — освобождение питательной воды от растворенных в ней вредно действующих на металл газов.

сационным устройством для той же цели расходует всего только 1,2 т, т. е. примерно в 20—30 раз меньше.

С применением конденсационного устройства возможно удлинить пробег паровоза без набора воды до 1000 км и исключается необходимость ставить его на промывку специально для очистки от накипи.

Кроме этого надобность в пунктах водоснабжения паровозов и в водоумягчительных установках соответственно сокращается.

Этот паровоз, по весьма удачному выражению тов. Л. М. Кагановича, совершает целую революцию в паровозном хозяйстве.

## § 2. Электрохимический способ

Электрохимический способ опреснения воды, называемый также электроосмотическим<sup>1</sup>, состоит в выделении солей, растворенных в воде при пропускании электрического тока, осуществляемом в приборах специальной конструкции.

Способ этот основан на явлении электролиза<sup>2</sup> солей, который заключается в том, что при прохождении постоянного электрического тока через раствор солей на отрицательном полюсе (катоде) выделяются металлы, а на положительном (аноде) кислотные остатки (кислоты).

При электролизе солей, содержащихся в естественных водах, выделяющиеся на катоде щелочные и щелочноземельные металлы ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ,  $\text{K}^{+}$ ) образуют с водой щелочи, а выделяющиеся

<sup>1</sup> Осмосом называется процесс проникновения ионов через пористые перегородки.

<sup>2</sup> Разложение сложного вещества при помощи электрического тока называется электролизом.

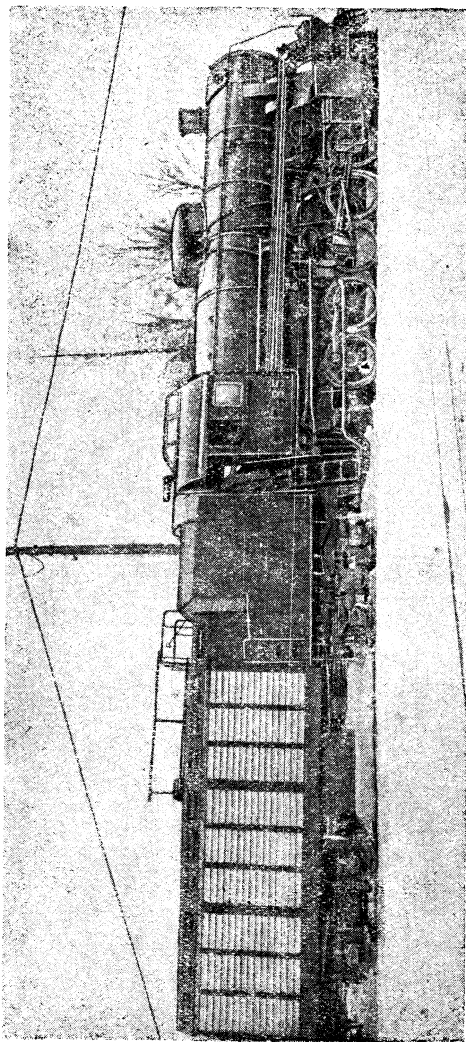


Рис. 68. Паровоз „СО“ (Серго Орджоникидзе), оборудованный первым советским тендером-конденсатором (заимствовано из журнала „В бой за технику“).

на аноде кислотные остатки ( $\text{SO}_4''$ ,  $\text{Cl}'$ ,  $\text{NO}_3'$ )—соответствующие кислоты.

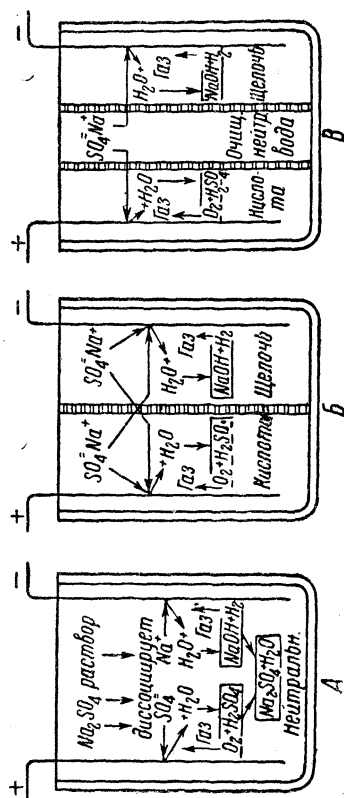


Рис. 69. Схема процесса электроосмоса

Если между электродами нет никаких препятствий (рис. 69, вид А), то образуются частично или полностью исходные соли.

Если же между электродами поместить пористую перегородку (вид *Б*), то щелочь задерживается в катодном, а кислота — в анодном пространствах и солей при этом не образуется.

Если же отделить перегородкой каждый электрод, то, как это видно из схемы *В*, кроме щелочи и кислоты в электродных пространствах образуется зона чистой обессоленной воды.

Таким образом, элементарный прибор состоит из камеры, разделенной двумя пористыми перегородками на три части.

Проходящая через две крайние камеры вода уносит (вымывает) щелочь и кислоту, а находящаяся в средней камере очищаемая вода постепенно теряет свой солевой состав.

В зависимости от продолжительности действия тока можно добиться большей или меньшей степени обессоления воды.

Однако получение опресненной воды одной ванной хотя и возможно, но нерентабельно, почему современные приборы устраивают из нескольких камер, соединенных последовательно в несколько секций и затем параллельно. Подлежащая очистке вода перетекает из одной камеры в другую при помощи сифонов, освобождаясь в процессе электролиза от растворенных в ней солей, в результате чего из последней камеры выходит обессоленная вода.

Расход тока, по ряду данных, составляет от 15 до 30, а иногда и выше киловатт-часов на тонну опресненной воды в зависимости от содержания растворенных в ней солей<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> По данным Бецольда при содержании в воде 200 мг/л солей расход тока на 1 м<sup>3</sup> воды составляет 15—20 киловатт-часов; при содержании солей до 350 мг/л расход повышается до 30 киловатт-часов.

Аноды изготавливаются из угля, магнетита, катоды — из цинка, олова, железа и сплавов. Наиболее ответственными деталями прибора являются диафрагмы, обычно изготавливаемые из асбеста, фибры, парусины.

По данным проф. С. А. Вознесенского, лучшие результаты получаются при применении марлина (осажденная на марле целлюлоза из вискозы), при

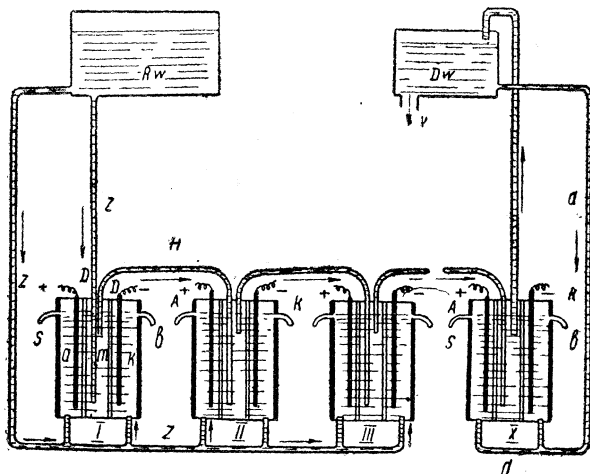


Рис. 70. Схема электроосмотической установки

$R_w$  — опресняемая вода,  $D$  — диафрагмы,  $a$  — анодное пространство,  $k$  — катодное пространство,  $m$  — среднее пространство ячейки;  $s$  — вход кислоты,  $b$  — выход щелочи,  $H$  — сифон,  $A$  — анод,  $K$  — катод,  $D_w$  — опресненная вода,  $Z$  — трубопровод опресняемой воды,  $d$  — трубопровод опресненной воды

расстоянии между диафрагмами 6—7 см. Не менее важным моментом в эксплуатации установок является правильный режим промывок катодного и анодного пространств во избежание большого накопления в них щелочи и кислоты и проникно-

вения последних в очищенную воду, а также предварительная подготовка воды, заключающаяся в удалении механических примесей и коллоидных

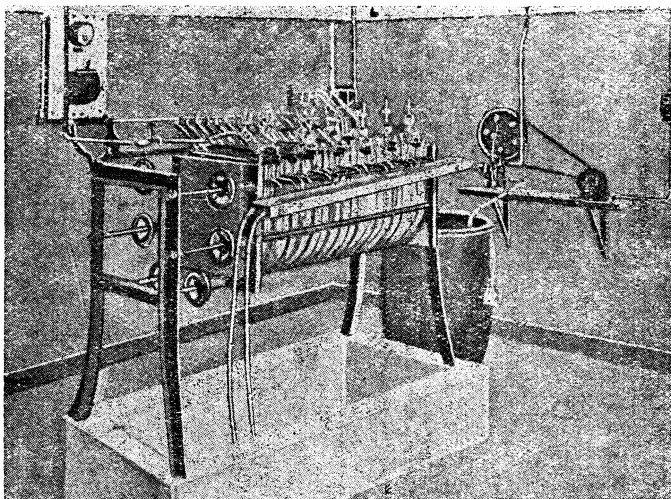


Рис. 71. Аппарат для электроосмотической очистки воды типа фильтр-пресс

веществ, которые могут забивать диафрагмы и тем нарушать правильность работы установки.

На рис. 70 представлена схема одной из таких установок, состоящей из 10 аналогичных ячеек, действие которой заключается в следующем: подлежащая умягчению вода поступает из бака  $R_0$  через трубу  $Z$  в среднее пространство  $m$  первой ячейки и одновременно в анодное  $a$  и катодное  $k$  пространства ячеек  $I-IX$ . Образующиеся в процессе электролиза кислота и щелочь

вымываются током воды через краны *с* (кислота) и *б* (щелочь). Вода из среднего пространства первой ячейки при помощи сифона *Н* перетекает

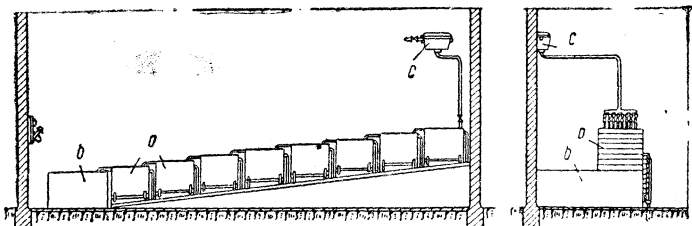


Рис. 72. [Аппарат для электроосмотической очистки воды ступенчатого типа

*а* — ванны, *б* — сборник обессоленной воды, *с* — регулятор напора воды]

в среднее пространство второй и т. д. и, наконец, в десятую ячейку, откуда перекачивается в резер-

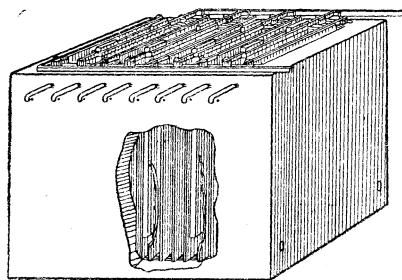


Рис. 73. Ванна ступенчатого аппарата

вуар для опресненной воды  $D_{\text{в}}$ . Электродные пространства последней ячейки промываются



опресненной водой. Ячейки соединяются между собой последовательно в четыре секции: I—IV, V—VII, VIII—IX и затем вместе с ячейкой X параллельно.

Этот способ впервые был применен фирмой Сименс в Германии для получения дистиллированной воды в небольших количествах для аптек, лабораторий и проч. Фотография одной из установок Сименса типа фильтр-пресс представлена на рис. 71.

Увеличению производительности установки препятствовало малое сечение переливающих сифонов, вследствие чего в последнее время фирмой Сименс был предложен аппарат ступенчатого типа, состоящий из ряда (до 13) бетонных ванн, из которых каждая имеет 16 керамических диафрагм и соответствующее количество сифонов (рис. 72 и 73).

Такое видоизменение конструкции позволило значительно увеличить производительность установки.

В СССР электроосмотический способ пока еще не нашел применения в деле водоподготовки.

В настоящее время этим способом намечено опреснение воды Балхашского озера для питьевых целей, в направлении чего ведутся уже соответствующие работы.

## ГЛАВА IX

### ВНУТРИКОТЛОВАЯ ОБРАБОТКА ВОДЫ

Добавка различных химических ингредиентов (веществ) непосредственно в тендерную или котловую воду называется внутрикотловой обработкой,

К этому виду обработки также относят различные механические, термические и электрохимические способы, осуществляемые внутри котла.

Внутрикотловая обработка преследует следующие две цели:

- 1) препятствовать образованию на нагреваемых поверхностях твердых отложений накипи и
- 2) предохранить металл котлов от коррозии.

Средства, рекомендуемые для этой цели, весьма различны, и большинство из них известно под названием „антинакипинов“.

Антинакипины состоят из минеральных или органических веществ, или представляют смесь тех и других.

Применение антинакипных средств примерно имеет такую же давность, как и изобретение парового котла.

Прежде антинакипины, в большинстве случаев, не имели под собой научной базы и обычно изобретатели их преследовали исключительно коммерческие цели. Выпуская свои тайные средства под различными громкими и многообещающими названиями, изобретатели свои основные расчеты вели на рекламный эффект и доверчивого потребителя, прельщая кажущейся дешевизной и крайней простотой применения. Между тем в предлагаемых средствах содержались не только полезные или безразличные для котлов ингредиенты, но иногда и весьма вредные, как например патока, пивная гуща, минеральные кислоты и проч.

Поэтому в технике водообработки довольно долгое время боролись два течения: первое категорически возражало против внутрикотловой обработки, второе поддерживало внутрикотловую обработку; все, очевидно, зависело

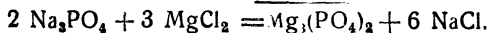
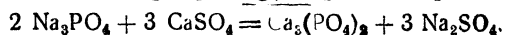
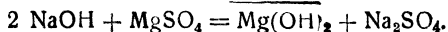
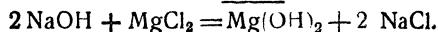
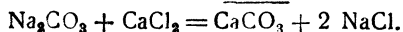
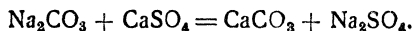
от того, с какими средствами приходилось иметь дело тому или иному экспериментатору.

За последнее время вопрос внутрикотловой обработки детально изучен, собран большой эксплуатационный материал, преимущественно на железнодорожном транспорте, выявлены наиболее эффективные средства, уточнена дозировка в соответствии с качеством воды и дано научное обоснование в отношении каждого из применяемых ингредиентов. Вместе с тем установлен необходимый и наиболее эффективный режим продувок.

### § 1. Химические методы

К этой группе принадлежат все вещества, которые входят в химические реакции с накипеобразователями воды и обуславливают их выделение в виде шлама, примером чего могут служить: кальцинированная сода ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), каустическая сода ( $\text{NaOH}$ ) и тринатрийфосфат ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ).

Реакции между указанными веществами и солями кальция и магния воды протекают согласно следующим уравнениям (подчеркнутое—осадок):



Накипеобразователи, выделившиеся в осадок в виде шлама, в присутствии щелочей не прикипают к металлу и могут быть удалены при периодических продувках. При этом некоторый избыток реагента служит защитой металла от разъедания.

Означенные вещества могут прибавляться как

к жесткой, неисправленной воде, так и к предварительно исправленной, с целью доумягчения ее.

### Фосфатная смесь

Фосфатная смесь, применяемая в настоящее время на ж.-д. транспорте для внутрикотловой обработки, имеет следующий состав: тринатрийфосфат, каустическая сода и дубовый экстракт.

Действие этой смеси на накипеобразователи в основном химическое и отчасти коллоиднохимическое (дубовый экстракт). При достаточной добавке фосфатной смеси новой накипи в котле не образуется, а находящаяся в котле твердая старая накипь переводится в рыхлое состояние, и, таким образом, котел постепенно освобождается от накипи. Точно так же эта смесь защищает котельный металл от разъедания благодаря образованию на нем пленки фосфорнокислого железа, устойчивой к агентам коррозии.

Согласно инструкции НКПС от 17 сентября 1935 г. фосфатную смесь предложено применять для всех вод, за исключением щелочных, при чем она может быть также применена и для умягченных вод в качестве доумягчающего и антикоррозионного средства.

Согласно этой же инструкции применение фосфатной смеси на паровозах производится из расчета 20 г тринатрийфосфата, 10 г каустической соды и 5 г дубового экстракта (считая на сухое вещество) на тонну испаренной воды, независимо от величины жесткости воды.

В настоящее время дозировка фосфатной смеси устанавливается по общей жесткости питательной воды (средней на тяговом плече). Для ориентиро-

вочного руководства могут служить данные, приведенные в табл. 17.

Таблица 17

Таблица дозировок фосфатной смеси на тонну испаренной воды

Общая жесткость питательной воды в нем. гр.	Фосфорно- кислый натрий	Едкий натр	Дубовый экстракт
	в г на сухое вещество		
3— 8	10	15	5
9—15	10	20	5
16—25	15	25	5
26—40	15	30	5
выше 40	20	35	5

В соответствии с количеством набираемой паровозом воды в пунктах набора (в основном и обратном депо) в тендер заливают <sup>1</sup> определенное количество смеси; при этом деповская химическая лаборатория ведет тщательное наблюдение и химический контроль за качеством котловой воды, руководствуясь в эксплуатации натронным числом <sup>2</sup>, которое устанавливается в каждом отдельном случае в зависимости от свойств котловой воды, и склонности ее к вспениванию.

Отсутствие необходимости в капитальных затратах на сооружение дорогостоящих водоумягчительных установок, получаемый эффект и простота эксплуатации — все это выдвинуло означен-

<sup>1</sup> В некоторых депо фосфатная смесь заливается в бачки из-под коллоидного графита, емкостью до 30 л, присоединяемый трубопроводом к всасывающей линии инжектора. Иногда бачки снабжаются водомерным стеклом.

<sup>2</sup> Натронное число — число, характеризующее содержание в воде щелочи.

ный способ как одно из мероприятий, позволяющее при правильной дозировке и при соответствующем режиме продувок удлинять межпромысловые пробеги и почти полностью ликвидировать образование в котлах твердой накипи, вследствие чего в настоящее время фосфатная смесь получила самое широкое распространение на ж.-д. транспорте и применяется на всех дорогах сети.

За сравнительно короткое время эксплуатации уже установлен определенный экономический эффект как в отношении увеличения межпромыслового пробега, так и сокращения течи труб, уменьшения простоя на ремонте и экономии топлива.

Машинист-орденоносец тов. А. Огнев (депо Тула) с применением фосфатной смеси, при соответствующем режиме продувок, на паровозе „ФД“ № 1000 достиг межпромыслового пробега в 40 800 км.

Достигнутые т. А. Огневом, П. Кривоносом и некоторыми другими лучшими машинистами высокие форсировки и длительные межпромысловые пробеги стали образцом работы для многих передовых машинистов; так например, машинисты тт. Сегодня и Курочицкий на паровозе Су 204 — 59 (депо Киев пассаж. Юго-Западн. ж. д.) довели межпромысловый пробег до 28 012 км.

На Ташкенской ж. д., с солончаковыми и жесткими водами, машинист т. Волков (Туркестанское депо) достиг межпромыслового пробега в 20 300 км.

На Оренбургской дороге машинистами тт. Назаровым и Титовым на паровозе Су 207—79 (депо Бузулук) межпромысловый пробег доведен до 40 874 км.

Указанные цифры очевидно не являются пре-

дельными и могут быть получены более высокие показатели.

Как показал опыт внутрикотловой обработки наиболее эффективные результаты могут быть получены при соблюдении следующих условий.

а) Дозировка фосфатной смеси должна устанавливаться строго индивидуально в зависимости от качества питательной воды и добавка ее должна производиться пропорционально количеству испаряемой воды.

б) Продувки котлов, при которых удаляются выделяющиеся (но еще не успевшие прикипеть) частицы накипи и механические загрязнения, должны быть учтены и производиться надлежащим образом в тесной увязке с данными химического анализа котловой воды.

в) Котловые воды должны подвергаться в деповской лаборатории регулярному химическому контролю (натронное число, хлориды, жесткость).

Деповские лаборатории на транспорте возникли лишь в самое последнее время 1—2 года тому назад, но в настоящее время широко распространились по всей сети.

Согласно приказу НКПС от 21/I 1935 г. лаборатории организовываются при каждом основном депо с количеством паровозов не ниже 75 единиц.

В задачи этих лабораторий, кроме анализов топлива, воды и смазочных материалов, входит наблюдение за применением антинакипина, продувками паровозов и прочие вопросы, связанные с котлопитанием.

Несмотря на сравнительно короткий срок своего существования, деповские лаборатории уже

зарекомендовали себя как весьма полезное и ценное мероприятие.

В энергетической промышленности внутрикотловая обработка фосфатом и щелочью находит применение при питании стационарных котлов дистиллятом с целью защиты их от коррозии.

В практике заграничных ж. д. (США) внутрикотловая обработка фосфатной смесью или щелочами также находит применение, при чем признается экономически выгодной для вод с жесткостью до 8 нем. гр.

## § 2. Коллоиднохимические методы

Различные коллоиды — органические и неорганические — обладают также антинакипными свойствами, но действие их довольно сложно и до сего времени недостаточно изучено. Действие это заключается в том, что коллоиды адсорбируют<sup>1</sup> выделяющиеся нерастворимые частицы накипеобразователей, отклоняют их от стенок или удерживают их (стабилизируют) в виде мельчайших частиц (коллоидальной дисперсии). При этом играют роль не только процессы коллоидного характера, но и чисто химические превращения, в которых принимают участие продукты разложения органических веществ (танин, желатин и т. д.).

Наряду с благоприятным действием коллоиды могут оказывать и вредное влияние на свойство котловой воды, способствуя вспениванию последней.

---

<sup>1</sup> Адсорбция — свойство поверхности тела удерживать различные проходящие с нею в соприкосновение вещества.



Примером адсорбционного действия служит коллоидный графит. частички которого являются центрами кристаллизации накипеобразователей. По данным Карплюса<sup>1</sup> 1 грамм графита, измельченного до коллоидного состояния, будет обладать суммарной поверхностью своих частиц в  $109 \text{ м}^2$ . Поэтому, будучи прибавлен в достаточном количестве, с поверхностью частиц, превышающей внутреннюю поверхность нагрева котла, он противодействует образованию котельного камня и обуславливает выделение накипеобразователей в виде шлама.

Стабилизирующее действие на частицы накипеобразователей оказывают такие коллоидные вещества, как например желатин, таннины, льняная эмульсия и др., которые изолируют выделяющиеся частицы пленкой и препятствуют их срастанию.

Образующийся в этих условиях шлам удаляется при продувках и промывках котла.

### Коллоидный графит

Продукт, применявшийся на ж.-д. транспорте под именем „коллоидного графита“, готовился из обычного графита размолотом на шаровых, а затем на специальных коллоидных мельницах в водной среде и представлял в готовом виде густоватую жидкость черного цвета.

Готовая продукция Перервинского завода имела следующий состав:

---

<sup>1</sup> Dr. H. Karplus, Kesselstein und Kolloidchemie. Die Wärme, 1926 г., стр. 551.

графит (безводн. и беззолн.) . . . . .	20%
зола . . . . .	4%
дубовый экстракт . . . . .	3%
едкий натр . . . . .	1%
вода . . . . .	72%

Дозировка графита устанавливалась по средней жесткости воды на участке пробега паровоза (тягового плеча).

Рассчитанное количество раствора заливалося в бачок определенной емкости, который соединялся трубопроводом с всасывающей линией инжектора. Раствор в определенном количестве, устанавливаемом при помощи конусного дозера (ряд конусов с отверстиями), поступал в котел пропорционально закачиваемой воде.

Коллоидный графит применялся на транспорте в 1929—1930 г. первоначально для всех вод, но вскоре, благодаря выявившимся его отрицательным свойствам (коррозия при значительном содержании в воде хлоридов), область применения его была ограничена, а в настоящее время он совершенно не применяется.

По данным заграничной литературы, коллоидный графит на ж. д. Америки и Западной Европы распространения также не получил.

### Таннат железа

Таннат железа представляет дубильнокислую окись железа — интенсивно черный блестящий порошок.

Получается при приливании к железным стружкам водных растворов таннина, едкого натра или калия и фенола. Смесь хорошо перемешивается

и выстаивается в течение нескольких суток, после чего процеживается через сито.

Дальнейшая обработка производится едким натром (щелочной таннат) или кислотами — щавелевой или фосфорной (кислый таннат).

Действие его в основном аналогично желатину, льняной эмульсии и т. п.

Дозировка его производится в соответствии с жесткостью питательной воды.

В настоящее время на транспорте применения не имеет.

### § 3. Механические способы

Эти способы основаны или на удалении накипеобразователей из котла с помощью специальных приспособлений (накипеуловителей) или путем создания условий, препятствующих отложениям твердой накипи.

Последнее в основном сводится к предотвращению образования пузырьков пара на поверхности нагрева или путем повышения скорости циркуляции воды или сообщением массе воды вращательного движения (см. гл. II).

#### Накипеуловитель сист. инж. Арциша

Действие этого прибора основано на принципе удаления из котла мельчайших частиц накипи в момент скопления их на поверхности воды в определенном месте и до того момента, пока они еще находятся во взвешенном состоянии.

По мнению инж. Арциша, при работе котла выделяющиеся частицы накипи увлекаются струями

воды и пара по тому же направлению, куда они стремятся, т. е. к регулятору.

Для улавливания и удаления выделяющихся взвешенных частиц накипи автором сконструирован прибор, состоящий из поплавка подковообразной формы с двумя ковшами, один из краев которых несколько ниже уровня воды. Ковши соединяются трубопроводом с продувательным краном.

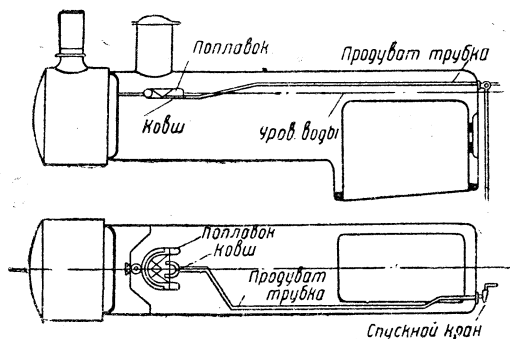


Рис. 74. Схема прибора сист. инж. Арциша, установленного в паровозном котле

Прибор, представленный на рис. 74, устанавливался в паровозном котле под сухопарником на пути движения воды.

Периодически (через 50 — 75 км) выделившийся в ковшах шлам удалялся. Аппарат этот был установлен на ряде паровозов б. Северной и Южной дорог и, судя по литературным данным, позволял увеличивать межпромывочный пробег.

Однако широкого распространения означенный прибор на транспорте не получил.

### Накипеудалитель сист. И. Е. Пиджакова<sup>1</sup>

В последнее время машинистом Новосибирского депо И. Е. Пиджаковым был предложен прибор для удаления выделившихся частиц накипи и механических загрязнений.

Прибор т. Пиджакова состоит из конических тарелок (воронок), расположенных на разных уровнях вдоль цилиндрической части котла, соединенных с трубой, проходящей над жаровыми трубами и предназначенными для верхней продувки. По бокам топки у грязевого кольца расположены две трубы, при помощи которых можно произвести нижнюю продувку.

Сверху котла, на горизонтальной площадке ухватного листа, устанавливаются кран и вентиль, привод от которого ведет в будку машиниста и соединен с трубами внутри котла.

Для верхней продувки, которую можно производить на ходу, машинист открывает из будки вентиль и выдувает верхний слой воды через воронки. Если же уровень воды снизится до половины водомерного стекла и края воронок окажутся ниже уровня воды, вода пойдет через нижние трубы, находящиеся над грязевым кольцом, и таким образом будет происходить нижняя продувка.

Опытные паровозы, оборудованные приборами т. Пиджакова на участке Чулымская—Новосибирск (с жесткостью до 65°) увеличили межпромылочные пробеги в два раза, причем одновременно уменьшилось вспенивание котловой воды и унос.

---

<sup>1</sup> Журн. „В бой за технику“ № 9, 1936 г.

Стоимость прибора с установкой не превышает 80-90 руб.

#### § 4. Термический способ

Этот способ основан на разложении солей временной жесткости (бикарбонатов) и выделении их в виде осадка путем нагрева поступающей

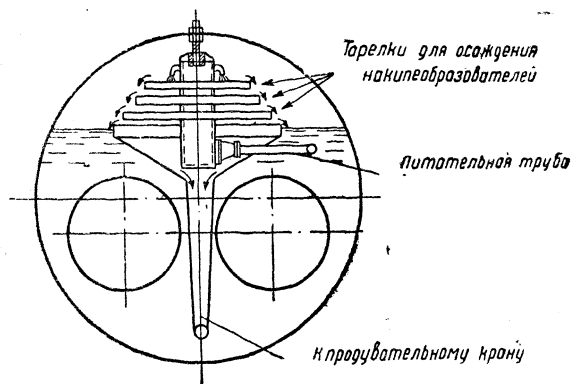


Рис. 75. Прибор для термического умягчения воды типа „Вапор“

воды в специальных приспособлениях, устраиваемых внутри котла.

Образующийся осадок периодически удаляется при помощи специального продувательного устройства.

Действие аппаратов заключается в следующем: вода, поступающая в котел, предварительно направляется на ряд тарелок, расположенных в паровом пространстве, и в виде каскадов стекает по

ним. При этом она освобождается в большей или меньшей степени от бикарбонатной жесткости, все же остальные соли, растворенные в воде, поступают в котел без изменения.

Приспособления эти, так называемые „Накипар“, „Вapor“ и т. д., быстро загрязняются выделяющимися осадками, мало эффективны, и действие их ограничено водами определенного состава, почему способ этот и не получил соответствующего распространения.

На рис. 75 представлен аппарат типа „Вapor“ с тарелчатыми приспособлениями для стационарного котла.

На указанном принципе был основан так называемый паровозный „водоочиститель“, конструкции Сормовского завода.

В настоящее время способ этот не применяется.

## ГЛАВА X

### ЗАЩИТА МЕТАЛЛА ОТ КОРРОЗИИ

#### § 1. Борьба с котельной коррозией

Средства для предохранения металла котлов от коррозии в основном заключаются в следующем:

- а) дегазация питательных вод,
- б) применение пассиваторов — щелочей, фосфатов, хроматов,
- в) электрохимическая защита.

##### 1. Дегазация питательной воды

Дегазация, или освобождение питательной воды от растворенных в ней вредно действующих на

металл газов, осуществляется одним из следующих методов.

**Термическая дегазация.** Термическая дегазация, основанная на уменьшении раствори-

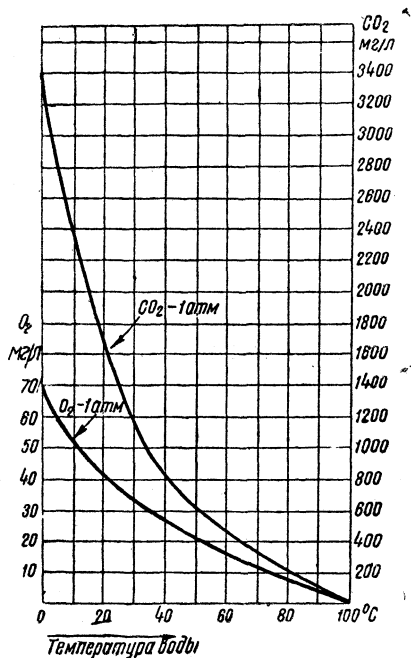


Рис. 76. Изменение растворимости кислорода и углекислоты с увеличением температуры

мости газов с повышением температуры (рис. 76), заключается в нагревании воды в специальных приборах до температуры 98-99°C, при которой удаляется значительная часть газов. Аналогич-



ный эффект может быть получен с применением вакуума, где благодаря разреженному простран-

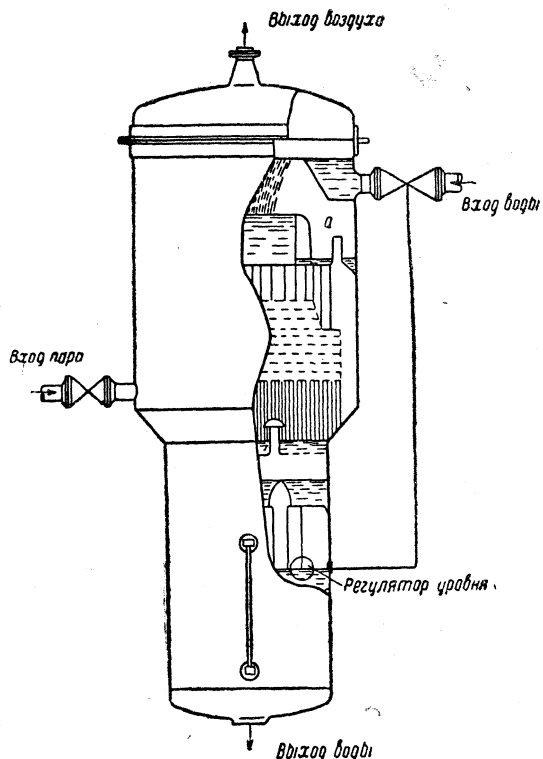


Рис. 77. Термический дегазер (деаэратор)

ству газы выделяются при более низких температурах.

На рис. 77 представлен термический дегазер, который одновременно служит для подогрева питательной воды паровых котлов.

Вода, подлежащая дегазации, поступает в верхнюю часть аппарата, откуда она ниспадает по каскадам и подогревается встречным паром почти до температуры кипения; пар, подогревающий воду, подается в среднюю часть аппарата. Встречной струей воды пар конденсируется и поступает вместе с остальной массой воды в нижнюю часть аппарата, где помещается регулятор уровня. Газы, выделившиеся из воды, поднимаются по трубкам *a* в верхнюю часть прибора и отсасываются специальным устройством.

**Химическая дегазация.** Основана на свойствах газов, содержащихся в воде, вступать в химические реакции с некоторыми химическими веществами (реакентами), в результате чего образуются безвредные соединения. Так, углекислый газ удаляется (связывается) с помощью извести.

Для удаления кислорода воду пропускают через железные стружки в специальных башенных фильтрах с последующим осветлением воды при фильтрации ее через песок (по данным Спеллера содержание кислорода в среднем понижается с 11,44 до 0,43 мг/л).

Для окончательного же удаления кислорода рекомендуется дополнительная обработка воды сернистокислым натрием (что рекомендуется также и при термической обработке).

По инструкции Главэнерго, содержание кислорода в питательной воде для паровых котлов ограничено следующими цифрами:

Давление котловое	Содержание кислорода
<i>ат</i>	<i>мг/л</i>
10 — 15	0,5 — 1,0
15 — 30	0,1 — 0,2
30 — 40	0,05 — 0,1
40 — 100	0,02 — 0,03.

По американским данным для питания паровозных котлов рекомендуется содержание кислорода в воде не выше  $1,4 \text{ мг/л}$ .

Сероводород может быть удален фильтрацией через железо, с которым он образует сернистое железо, или душевым разбрызгиванием—аэрацией.

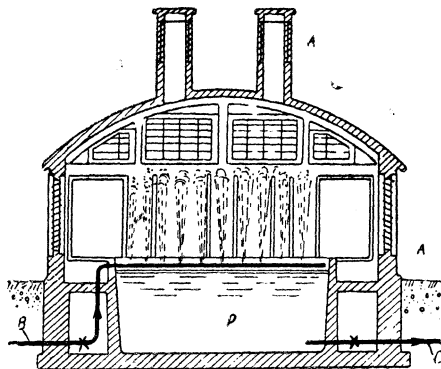


Рис. 78. Схема аэрационной установки для удаления сероводорода

А — помещение для аэрации с деревянными жалюзи, В — подача воды, Р — сборник аэрированной воды, С — выход воды

Вода, подлежащая аэрации, подается насосом в специальную установку, где она разбрызгивается фонтанными струйками и насыщается воздухом; сероводород при этом окисляется с выделением свободной серы (рис. 78).

Означенный способ применим при содержании сероводорода в количествах  $5—15 \text{ мг/л}$ , при большем же содержании необходима добавка сильных окислителей (хлора, перманганата).

На транспорте дегазация воды пока не практикуется вследствие невозможности предохранить

дегазированную воду от насыщения газами (например при наполнении водой тендеров, при хранении).

В настоящее время разрабатывается тип дегазера, устанавливаемого на паровозе, для дегазации питательной воды, поступающей непосредственно в котел.

В известной мере защитой от газовой коррозии может служить энергичная циркуляция кот-

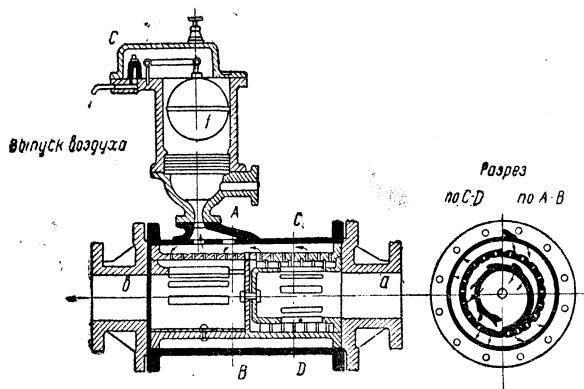


Рис. 79. Дегазер сист. Шпура

ловой воды, при которой исключается возможность образования застоев и местного скопления пузырьков кислорода.

**Механическая дегазация.** Дегазация механическим путем происходит с помощью приспособлений, в которых вода подвергается распылению или механическому энергичному перемешиванию, вследствие чего газы из воды выделяются, собираются в особых воздушных камерах и затем выпускаются из них наружу с помощью автоматически действующего клапана. Эти приспособления целесообразно включать после подогревания воды.

На рис. 79 показан дегазер этого типа системы Шпура, действие которого заключается в следующем: вода поступает в аппарат через отверстие *a*, где она перемешивается с помощью спиральнообразных пластин; выделяющиеся при этом газы собираются в воздушной коробке, откуда они периодически удаляются через клапан *c*.

## 2. Применение пассиваторов

Пассивирование, т. е. утрата способности поверхности металла вступать в химические реакции с солями воды и газами, вредно действующими на металл, достигается прибавлением к котловой воде веществ, способствующих устойчивости кроющей оксидной пленки (щелочи в определенной концентрации) или содействующих ее образованию (хроматы, фосфаты).

Наиболее положительный эффект при применении щелочей (едкого и углекислого натрия) достигается поддержанием щелочного режима в котловой воде в пределах натронного числа от 200 до 2000, в зависимости от условий работы котла и свойств питательной воды.

По немецким данным для стационарных котлов эта величина должна составлять от 400 до 2000 при питании естественной водой и от 200 до 1000 при питании дистиллятом и конденсатом. При соблюдении этих величин, по тем же данным, в котловой воде может быть допущено содержание хлоридов до 4000 мг/л и нитратов до 1500 мг/л.

Американская практика устанавливает для натронного числа более низкие величины — 600 — 800; по инструкции Энергоцентра допускается от 250 до 600.

На транспорте в качестве антикоррозионного средства находит широкое применение фосфатная смесь.

Еще больший успех может быть достигнут от добавления к ней бихроматов калия, обуславливающих образование более устойчивой оксидной пленки.

Опыты по применению такой смеси (тройная смесь) были поставлены на некоторых участках Сталинской дороги для наиболее коррозионных вод и, по данным Института ж.-д. транспорта, дали положительный эффект.

Вода, умягченная известково-содовым способом, содержащая достаточный избыток щелочи, в известной мере также может служить защитой от коррозии.

### 3. Электрохимический способ

В Америке известным успехом пользуется метод Гундерсона, заключающийся в том, что при добавке в котловую воду в определенном количестве мышьяковистых солей и пропускании постоянного электрического тока на металлической поверхности образуется мышьяковисто-водородный слой, предохраняющий металл от разъедания.

Снабжение электроэнергией происходит от генератора, устанавливаемого на паровозе, или от аккумуляторов.

Эксплуатационные расходы складываются из стоимости электроэнергии, мышьяковистых солей и анодных трубок, смена которых производится раз в четыре года.

По данным компании Чикаго — Альтон, стоимость электроэнергии составляет 15 долл. в год на паровоз, расход мышьяковистых солей — 3,6 долл.

Первый опыт применения этого способа относится к 1924 г. Эффективность его иллюстриру-

ется следующими данными: на одном из паровозов при последнем ремонте было сменено 100 дымогарных труб и отремонтировано 213. Стоимость поврежденного металла составляла 595 долл. После этого ремонта котел был оборудован электродами. Когда через два года котел этот был поставлен вновь на ремонт, трубы его оказались совершенно свободными от коррозии.

## **§ 2. Защита от коррозии труб, баков и прочих устройств, применяемых в водоснабжении**

Предохранение от коррозии труб, баков и проч., находящихся под действием воды как с внутренней, так и с внешней стороны, может производиться следующими способами:

- 1) нанесением изолирующего слоя на поверхность металла,

- 2) приданием самому металлу особых свойств, гарантирующих его от разрушения.

К числу первых принадлежат различного вида покрытия: металлами (металлизация), красками, лаками, эмалью и стеклом.

Металлизация заключается в нанесении на поверхность изделий некоторого слоя металла при нагревании (лужение, цинкование) или гальваническим способом (никелирование, хромирование), или шоопированием, т. е. покрытием металлической поверхности другим каким-либо металлом путем распыления последнего в расплавленном состоянии с помощью пистолета Шооп (рис. 80 и 81), представляющего своего рода форсунку, работающую под давлением.

К металлам, наиболее пригодным для шоопирования, относятся: свинец, олово, цинк, медь, алюминий и кадмий.

Нормально наносимый слой (в защитных целях) покрытий колеблется от 0,03 до 0,06—0,1 мм. Расход металла при однократном покрытии (при толщине слоя 0,03—0,04 мм) составляет на 1 м<sup>2</sup>: для цинка около 300 г, для олова около 400 г, для свинца около 300 г, для алюминия около 120 г.

Наиболее доступными и сравнительно устойчивыми для водохранилищ, водопроводных труб и т. п. служат покрытия: цинковые и свинцовые

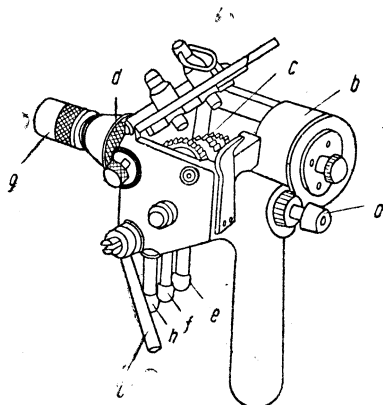


Рис. 80. Пистолет Шоопа

*а* — ввод проволоки, *б* — турбина, *с* — передаточный механизм, *д* — насадка, *е* — воздушный наконечник, *h* и *ф* — газовые наконечники, *г* — мундштук, *и* — регулятор давления

белила, железный и свинцовый сурик, кузбасс-лак, осмолка смесью пека и микроасбеста и битуминовыми веществами.

Второй способ заключается в присадке других более стойких металлов к железу и чугуну, как например, хрома, меди, придающих сплаву антикоррозионные свойства.



Сплавы железа с хромом в настоящее время имеют широкое применение в промышленности под названием нержавеющей железа и стали. Содержание хрома в нержавеющей стали составляет до 14% в зависимости от сорта, в железе — до 15%.

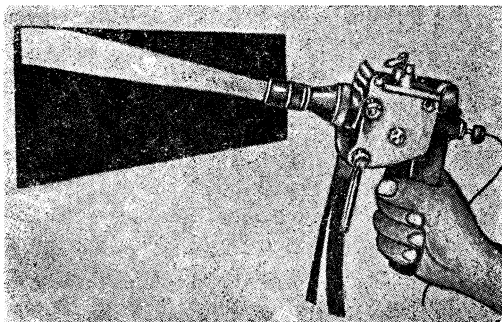


Рис. 81. Пистолет Шоопа в действии

Эти сплавы обладают высокой стойкостью не только против атмосферной коррозии, но также и против коррозии от морской воды.

Большое применение в технике водоснабжения имеет чугун, как более устойчивый в отношении коррозии, нежели сталь и железо, повидимому вследствие образования устойчивой оксидной пленки.

Сплав чугуна с хромом значительно повышает его противокоррозионные свойства.

Применение коррозионностойких сплавов может иметь также очень большое значение для паровозных котлов, питающихся коррозионными водами.

## ГЛАВА XI

**БОРЬБА С ВСПЕНИВАНИЕМ И БРОСАНИЕМ  
КОТЛОВЫХ ВОД**

Основные мероприятия по борьбе с вспениванием и бросанием котловых вод должны быть направлены в первую очередь к устранению конструктивных недостатков котла, во-вторых — к улучшению качества питательных вод и затем правильному режиму котлов в процессе их работы, в осуществление чего должны быть соблюдены следующие условия.

1) Величина парового пространства и конструкция котла должны обеспечивать нормальное парообразование.

2) Вода, питающая паровые котлы, должна быть свободна от взвешенных веществ и органических примесей.

3) Качество умягченной воды должно удовлетворять всем требованиям, предъявляемым к ней (см. стр. 120). Котлы должны быть предварительно освобождены от старой накипи.

4) Необходимо осуществлять тщательный контроль за качеством котловой воды как в отношении содержания в ней солей, так и щелочей и органических веществ.

Количество растворенных солей в котловой воде характеризует плотность ее и ограничивается определенными величинами в зависимости от давления пара в котле: чем выше последнее, тем предельное значение плотности котловой воды соответственно понижается.

Означенная зависимость для стационарных котлов представлена на диаграмме рис. 82.

Однако величина допустимой плотности котловой воды, помимо указанного, в значительной степени зависит от содержания в ней взвешенных и органических веществ.

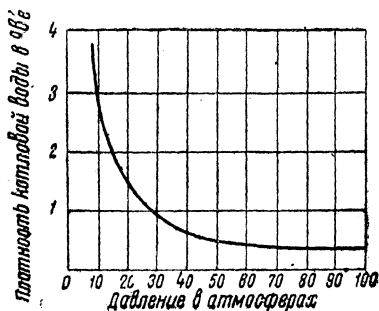


Рис. 82. Допустимая плотность котловой воды в зависимости от давления

По данным Рисе, вспенивание может происходить лишь при определенном соотношении между концентрацией солей в котловой воде и содержанием взвеси, что показано на диаграмме рис. 83.

Количество растворенных солей (су-

хой остаток) и наличие взвешенных веществ, соответствующим над кривой, способствуют явлению вспенивания котловой воды.

Содержание органических веществ в котловой воде (для стационарных котлов) по зарубежным данным, не должно превышать 500 мг/л по перманганату.

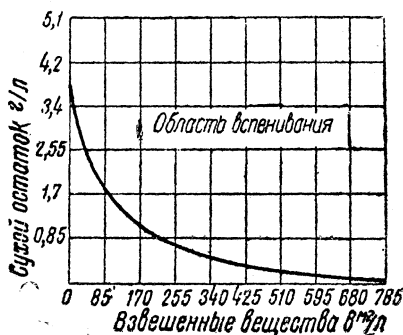


Рис. 83. Влияние взвешенных веществ и сухого остатка на пенообразование

5) Одним из важных условий, предупреждаю-



щих вспенивание воды, служит регулярная и надлежащая продувка котлов.

6) Для очистки загрязненного пара применяется механическая очистка его при помощи пароочистителей, так называемых пурификаторов. На рис. 84 показан один из таких приборов.

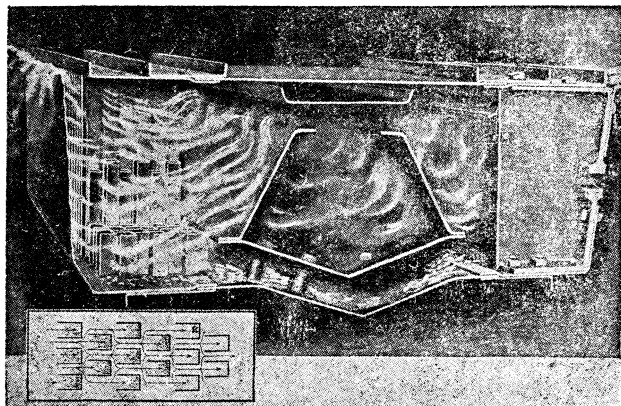


Рис. 84. Очиститель пара (пурификатор)

Пар вместе с увлеченной водой поступает в пароочиститель, как показано стрелкой, при чем направление потока изменяется несколько раз до выхода пара из прибора.

При помощи этого устройства вода отделяется и проходит вниз по направляющим перегородкам в спускную камеру на дне пароочистителя.

## ГЛАВА XII

## ОЧИСТКА ВОДЫ ДЛЯ ПИТЬЕВЫХ ЦЕЛЕЙ

§ 1. Требования, предъявляемые к питьевым  
водам и методы исправления воды

Вода для хозяйственно-питьевых целей должна прежде всего удовлетворять санитарным требованиям, т. е. она должна быть свободна от вредных для человеческого организма примесей и болезнетворных бактерий, должна быть совершенно прозрачной и бесцветной, с хорошим освежающим вкусом и без запаха.

По Тиману и Гертнеру хорошая питьевая вода должна иметь следующий состав:

Сухого остатка не более . . . .	500 мг/л
Органических веществ не более	8—10 мг/л по перманганату
Жесткость (общая) »	18—20 нем. гр.
Хлора »	20—30 мг/л
Серной кислоты ( $\text{SO}_3$ ) »	80—100 »
Азотной » ( $\text{N}_2\text{O}_5$ ) »	5—15 »
Аммиака . . . . .	0
Азотистой кислоты . . . . .	0

Но так как природные воды редко бывают во всех отношениях безупречными и не всегда соответствуют предъявляемым к ним требованиям, то для устранения или уменьшения тех или других недостатков применяют следующее:

а) для удаления механических примесей и коллоидальных веществ — осветление воды;

б) для уменьшения содержания растворенных солей кальция и магния — умягчение;

в) для устранения железа — обезжелезивание (деферризация);

г) для удаления вредных газов — дегазация;

д) для устранения болезнетворных бактерий — обеззараживание (дезинфекция).

## § 2. Осветление воды

Для осветления воды применяют: отстаивание (осаждение) и фильтрацию. Вода может подвергаться им или в естественном виде или же после предварительной химической обработки — коагуляции, имеющей целью ускорить осаждение взвеси.

### 1. Коагуляция

Наиболее употребительным коагулянтом при осветлении воды является сернокислый алюминий  $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}]$ .

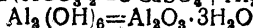
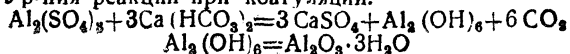
При добавлении в воду последний вступает в химические реакции с бикарбонатом кальция и магния, превращается при этом в коллоидальную гидроокись и выделяет углекислоту. Гидроокись алюминия переходит в водную окись его, представляющую хлопья, которые, осаждаясь, увлекают взвешенные вещества, содержащиеся в воде<sup>1</sup>.

При осаждении очень важную роль играет наличие в воде солей временной жесткости. Если содержание их недостаточно, необходима прибавка извести или соды.

Доза сернокислого алюминия зависит от количества взвешенных веществ в воде, определяется опытным путем и колеблется примерно от 40 до 200 г продажного продукта на 1 м<sup>3</sup> обрабатываемой воды.

При коагуляции достигается также и уничтожение окраски воды (если таковая обуславливается коллоидными веществами), понижение содержания кремневой кислоты и значительное освобождение от органических веществ.

<sup>1</sup> Ур-ния реакции при коагуляции:



Коагуляцией в собственном смысле слова называется процесс свертывания вещества, находящегося в коллоидальном состоянии, в хлопья и выпадения их в осадок.

Коллоидные частицы глины, кремнекислоты, гуминовых веществ и др. несут на себе одноименные заряды электричества (положительного или отрицательного) и поэтому, взаимно отталкиваясь, держатся во взвешенном состоянии.

Осаждение их возможно после уничтожения их зарядов, что достигается практически при взаимодействии их с противоположно заряженными коллоидными частицами.

В естественных водах наиболее часто встречаются отрицательно заряженные коллоиды (гуминовые вещества, кремнекислота), для которых наиболее подходящими коагулянтами являются соли многовалентных металлов, как например, алюминия, железа, меди; из них практически пригодными являются соли алюминия.

Коллоидные частицы гидрата окиси алюминия, как заряженные положительно, нейтрализуют отрицательные заряды гуминовых веществ и кремнекислоты, обуславливая выделения в осадок образующихся электронейтральных частиц.

При наличии в воде мельчайших частиц взвеси, последние могут адсорбировать частицы гидрата окиси алюминия, обволакиваясь ими с образованием хлопьев, которые под влиянием силы тяжести опускаются на дно, увлекая по пути механические примеси воды.

Процесс коагуляции в теплое время года протекает значительно быстрее, нежели в холодное.

## 2. Отстаивание

Принцип отстаивания заключается в выделении из воды в течение определенного времени взвешенных в ней частиц под влиянием силы тяжести их.

Отстаивание (осаждение) производится в специальных резервуарах — отстойниках вертикального или горизонтального типа.

Вертикальный отстойник схематически изображен на рис. 85; очищаемая вода сначала поступает в трубу А, расположенную в центре отстойника, по которой опускается в нижнюю часть его, и затем с незначительной скоростью

(обычно  $0,5—0,75 \text{ мм/сек}$ ) поднимается вверх в кольцевом пространстве между центральной трубой *A* и стенкой отстойника. В верхней части отстойника устраивается кольцевой жолоб *B*, в который и сливается отстаивающаяся вода.

Из жолоба *B* по трубе *C* вода выходит из отстойника.

Выпадающие в отстойнике осадки собираются в днище его, откуда выпускаются в водосток.

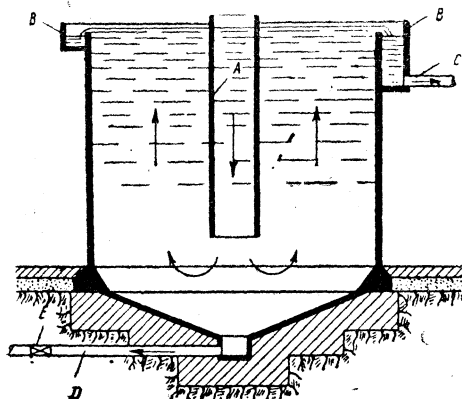


Рис. 85. Вертикальный отстойник

Внутренний диаметр центральной трубы *A* определяется из такого расчета, чтобы скорость движения воды в ней была не более  $30 \text{ мм/сек}$ . Отношение диаметра к высоте должно быть не более 3. Продолжительность отстаивания от 2 до 6 час. Отстойники обычно устраиваются железобетонными и железными.

Горизонтальный отстойник схематически изображен на рис. 86; очищаемая вода сна-



чала поступает в жолоб *А*, затем, переливаясь через край его, направляется под перегородку и

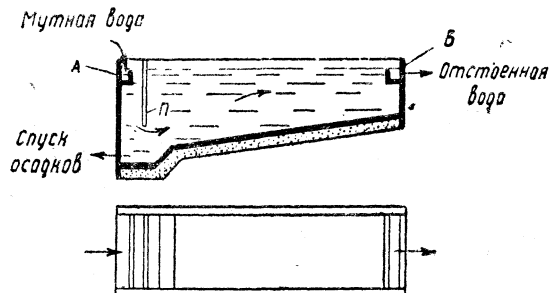


Рис. 86. Горизонтальный отстойник

далее, двигаясь почти горизонтально, сливается в жолоб *Б*, откуда она выходит уже отстоявшейся.

Выпадающие в отстойнике осадки собираются на его дне, а затем выпускаются в водосток.

### 3. Фильтрация

После отстаивания вода обычно подвергается дальнейшей очистке на фильтрах.

Фильтрующей средой является песок, при чем главную роль в работе фильтра играет илистая пленка, образующаяся на его поверхности.

Образование фильтрующей (илистой) пленки происходит при заиливании поверхности фильтров за счет содержащейся в воде взвеси или хлопьев коагулянта.

Далее, попадая в поры песка, вода как бы проходит через множество мелких отстойных бассейнов, еще более эффективных, чем обычные,

и оставляет в них ту часть взвеси, которая не была задержана на поверхности.

Фильтры бывают двух типов: медленные и скорые.

*а) Понятие о медленных фильтрах*

Медленные, или, как их иначе называют, английские, фильтры представляют собой в основном большие резервуары (рис. 87), на дне кото-

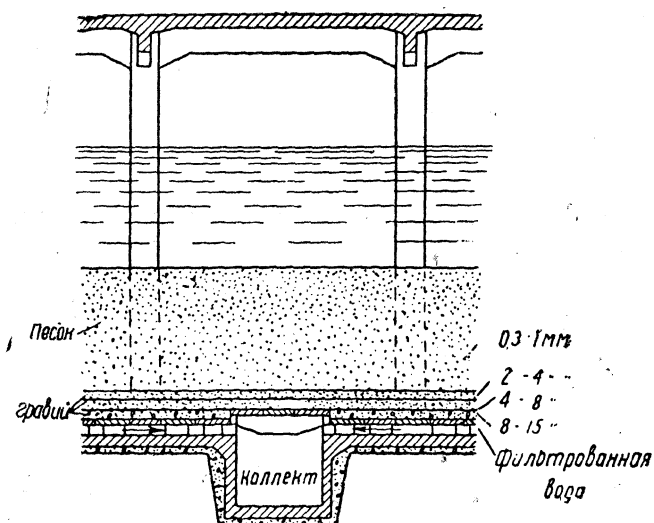


Рис. 87. Разрез английского фильтра

рых устраивается дренаж, состоящий или из отдельных дырчатых труб и кирпичных каналов или из сплошного дырчатого пола из железобетонных плиток, уложенных на кубиках. Поверх дренажа, в зависимости от его типа, насыпают

поддерживающие слои щебня, гальки и гравия толщиной от 0,35 до 0,50 м и на них располагают слой собственно фильтрующего песка толщиной около 1,0—1,2 м. Крупность песка (по ситам) принимается от 0,3 до 1,0 мм.

Слой воды над песком поддерживается обычно около 1,0 м. Перед пуском фильтра последний наполняют водой сначала снизу на 20—30 см выше уровня песка, а затем осторожно сверху до нормального уровня.

Через некоторое время после наполнения фильтра его включают в работу, спуская первые загрязненные порции воды в водосток (в течение 5—10 мин.).

Скорость фильтрации — около 100 мм/час.

При прохождении воды через фильтр основная масса содержащейся в ней взвеси отлагается на поверхности и в первых 10 мм песка, образуя упомянутую фильтрующую пленку.

По мере работы фильтра и накопления взвеси пленка утолщается, сопротивление (потеря напора) прохождению воды увеличивается, и когда оно достигает примерно 1 м (на что уходит в среднем около месяца), фильтр очищают, для чего спускают воду и снимают верхний слой песка в 10—20 мм, пополняя периодически (после ряда чисток) чистым песком соответствующей крупности; затем фильтр вновь наполняют водой и пускают в работу согласно вышесказанному.

### *б) Скорые фильтры*

Принцип действия и классификация. Основным принципом скорой фильтрации является осветление воды после обязательной ее коагуляции путем пропускания обработанной таким образом воды через песок со скоростью до

5 м/час и более, т. е. в 40—50 и больше раз быстрее по сравнению с медленными фильтрами.

Большая скорость фильтрации допустима благодаря ускоренному образованию необходимой фильтрующей пленки за счет выделившихся хлопьев при коагуляции. Такие фильтры появились впервые в США, почему и называются американскими.

Процесс работы скорых фильтров в основном аналогичен медленным, т. е. вода проходит сверху вниз через песок, поддерживающие слои и дренаж; но вследствие большой скорости фильтры эти имеют ряд характерных особенностей, например, отложение осадков и засорение фильтра происходят значительно быстрее, почему фильтр приходится промывать несколько раз в сутки (2—3 раза).

Ручной способ очистки заменяется механизированным, для чего устраивают специальные приспособления: ворошащие грабли, отводные желоба и проч.

Скорые фильтры, в зависимости от способа создания в них напора, разделяются на напорные и самотечные. По способу промывки они могут быть мешалочные (промывка ворошением песка граблями) и безмешалочные (промывка водой напором или совместно с продувкой воздухом).

Мешалочные фильтры самотечные (безнапорные, открытые). Самотечными или отрытыми фильтрами называются такие, в которых необходимый напор создается за счет разности уровней воды на фильтре и резервуаре чистой воды.

На рис. 88 показана схема такого скорого мешалочного фильтра (конструкции американской фирмы Джуэлль).

Он представляет круглый железный, железобетонный или деревянный бак, состоящий из кожуха (кармана) *A* и внутреннего барабана *B*, на дно которого уложен дренаж. Поверх дренажа насы-

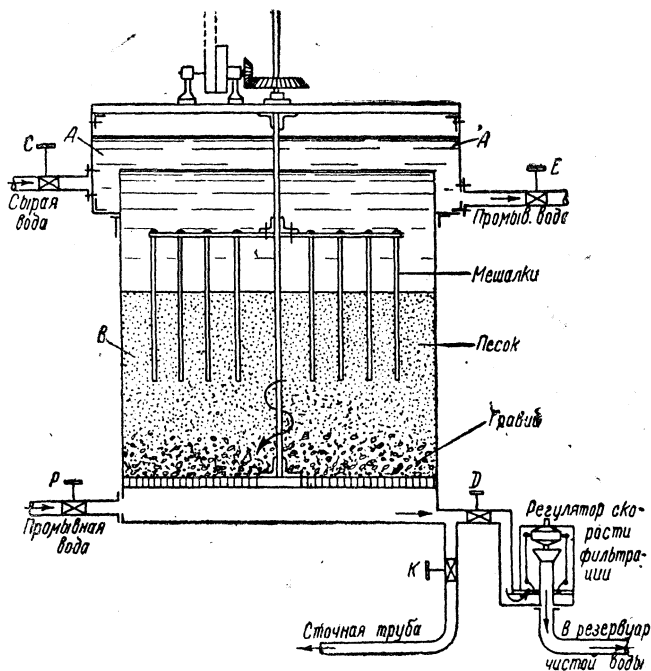


Рис. 88. Скорый (американский) мешалочный фильтр Джуэлль.

пается от 150 до 200 мм гравия, а затем 900 мм песка.

Над фильтром устанавливается механический привод для вращения граблей. Вода поступает

в фильтр через задвижку *С*. Пройдя через песок и гравий, она собирается дренажем и поступает в открытый регулятор скорости фильтрации, а из него в резервуар чистой воды.

При промывке закрывают задвижки *С* и *Д* и спускают воду в фильтре до уровня бортов внутреннего барабана, открывая для этого задвижку *Е*, отводящую воду из кармана *А*.

Затем, открыв задвижку *Р*, фильтр промывают током воды снизу вверх и одновременно пускают в ход грабли.

Промывка продолжается 8—10 м.

Обычно первый фильтрат в течение нескольких минут (10—15) спускают в водосток, после чего вода поступает в эксплуатацию.

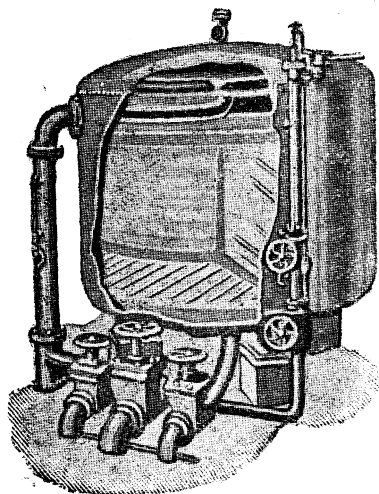


Рис. 89. Напорный фильтр

Мешалочные фильтры напорные. Напорные фильтры (рис. 89) выполняются в виде круглых металлических, закрытых со всех сторон, баков. Преимущество этих фильтров заключается в возможности устанавливать их непосредственно на напорной магистрали, идущей в сеть; недостаток — в недоступности осмотра в любой момент, в высокой стоимости и в неустойчивости результатов (толчки насосов передаются на фильтр).

Фильтры эти применяются преимущественно в небольших установках.

Безмешалочные скорые фильтры характеризуются отсутствием граблей. Взамен последних применяется продувка промываемого песка воздухом одновременно с промывкой водой или одна промывка, но с большой интенсивностью.

Устройство современного безмешалочного фильтра показано на рис. 90.

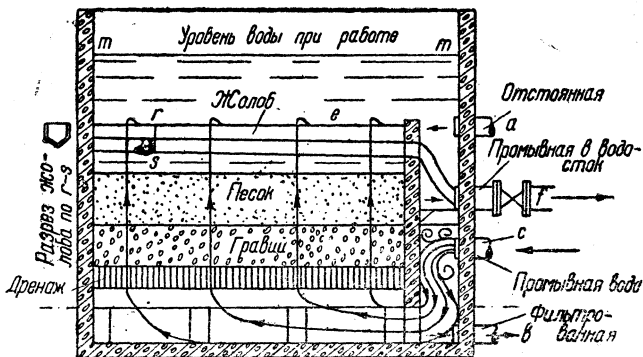


Рис. 90. Безмешалочный фильтр

Вода из отстойника по трубе *а* поступает на фильтр до уровня *т* — *м* (предварительно фильтр наполняется до кромки бортов водой, подаваемой снизу). При фильтрации вода проходит через песок, гравий и дренаж и по трубе *в* отводится в резервуар чистой воды. При промывке вода по трубе *с* поступает под дренаж, проходит через гравий и песок, переливается в желоб *е*, а из него в сборный канал и по трубе *ф* в водосток.

### § 3. Обезжелезивание воды (деферризация)

В естественных водах железо встречается главным образом в виде закисных солей, в форме бикарбонатов. Последние в открытом водоеме, вследствие выделения свободной углекислоты под влиянием перемены температуры, с одной стороны, и под влиянием биохимических процессов, протекающих в водоеме — с другой, распадаются и подвергаются гидролизу с образованием гидрата закиси железа, который в дальнейшем, под действием растворенного в воде кислорода, окисляется в гидрат окиси железа, находящийся сначала в коллоидальном состоянии, а затем переходящий в хлопьевидный осадок водной окиси железа ( $n\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ ).

Кроме того, железо встречается в виде сернокислого и в соединении с органическими веществами (гуминовокислое).

Содержание железа в воде колеблется в довольно широких пределах — от долей миллиграмма до нескольких миллиграммов на литр.

При наличии железа выше 0,2 — 0,3 мг/л оно портит внешний вид воды и ее вкус.

Железистая вода не годится для многих производств и в домашнем обиходе. Она служит также хорошей средой для развития специфических железобактерий, которые при благоприятных условиях настолько быстро разрастаются в водопроводных трубах, что суживают, а иногда закупоривают весь просвет этих труб и преждевременно выводят из строя водопроводную сеть.

Для удаления железа из воды, если оно находится в виде двууглекислого и в количестве, превышающем 0,3 — 0,5 мг/л, применяют аэрацию, т. е. насыщение воды кислородом воздуха, при кото-



ром, как уже отмечено, происходит окисление закисного железа в окисное и выделение его в виде осадка.

Удаление бикарбонатного железа может производиться также и известкованием.

Если железо находится в форме сернокислых или гуминовокислых соединений, то удаление его аэрацией значительно затрудняется, и в таких

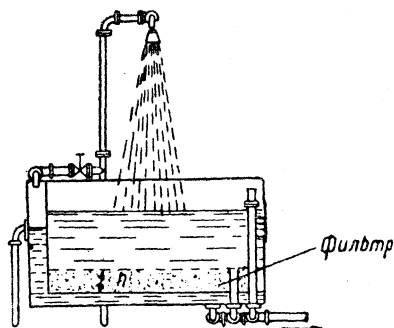


Рис. 91. Установка для обезжелезивания воды по способу Эстена

случаях применяют коагуляцию сернокислым алюминием и известью.

Аэрация воды осуществляется при помощи разбрызгивания воды специальными брызгалками (рис. 91) или в градириях с последующим отстаиванием и фильтрацией (рис. 92).

Градири загружают коксом, шлаком или перекрестным слоем досок (брусков).

Кроме железа в воде иногда встречается марганец, присутствие которого столь же нежелательно. Для удаления его применяют аналогичные мероприятия, что и для железа.

В Америке, для удаления железа и марганца в последнее время получил довольно широкое

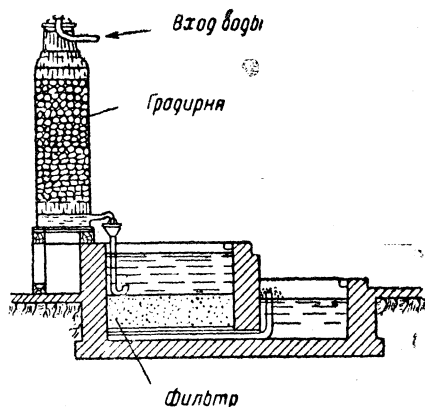


Рис. 92. Установка для обезжелезивания воды по способу Пифке

распространение комбинированный способ — аэрация плюс известкование.

На рис. 93 представлена схема одной из таких установок. Подлежащая исправлению вода пода-

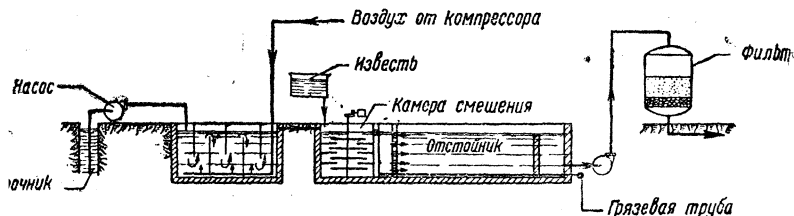


Рис. 93. Схема установки в США для удаления железа и марганца

ется насосом прежде всего в резервуар с вертикальными, попеременно не доходящими до дна и до уровня воды, перегородками, куда компрессором накачивается воздух. Отсюда вода перетекает в „камеру смешения“, где она подвергается известкованию и перемешивается. Затем смесь поступает в отстойник и для окончательного осветления фильтруется.

Выделяющиеся осадки окислов железа удаляются при помощи канализационной трубы.

#### § 4. Дегазация воды

При наличии в воде сероводорода, обладающего ядовитыми свойствами и обуславливающего неприятный запах воды, применяют аэрацию путем душевого разбрызгивания ее или фонтанирования.

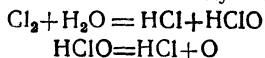
#### § 5. Дезинфекция (обеззараживание) воды

В целях борьбы с бактериями, вызывающими инфекционные заболевания (дизентерию, брюшной тиф и т. д.), применяют дезинфекцию воды.

Из различных приемов обеззараживания практическое значение в данный момент имеет лишь хлорирование воды.

Хлорирование основано на окисляющем свойстве кислорода, выделяющегося при действии хлора на воду<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Процесс протекает согласно следующим уравнениям:



Выделяющийся кислород энергично окисляет органические вещества, в том числе и бактерии, прекращая их жизнедеятельность.

Необходимая доза хлора определяется каждый раз опытным путем. Нормальное количество для чистой (фильтрованной) воды составляет от 0,1 до 0,5, а для нефilterованной воды — до 1,5—2 мг активного хлора на 1 л.

Для хлорирования употребляют газообразный хлор или хлорную известь в виде 1—2-процентного раствора.

### 1. Хлорирование хлорной известью

Приборы для дезинфекции хлорной известью крайне просты и состоят:

- из чанов-баков (чаще всего деревянных) с мешалками для приготовления растворов;

- из дозирующих бачков для отмеривания растворов;

- из трубопроводов с кранами.

На рис. 94 показана простейшая схема установки для хлорирования воды.

Бак *A* служит для заготовки хлорной извести. Последняя загружается в бак, смачивается водой и размешивается деревянной лопаткой так, чтобы не было комьев; затем в бак подается вода из водопровода, и концентрация раствора доводится до установленной нормы (2%).

Баки *B*, в которые раствор подается из бака *A*, служат для хранения и расходования раствора.

Подача раствора в обеззараживаемую воду осуществляется через дозирующий бачок *C*.

Весьма простой и целесообразной является добавка раствора хлорной извести во всасывающую трубу насоса водокачки.

На рис. 95 показана схема такой установки.

В воронку *m* из дозирующего бачка *C* через дозирочный кран *D* подается раствор хлорной

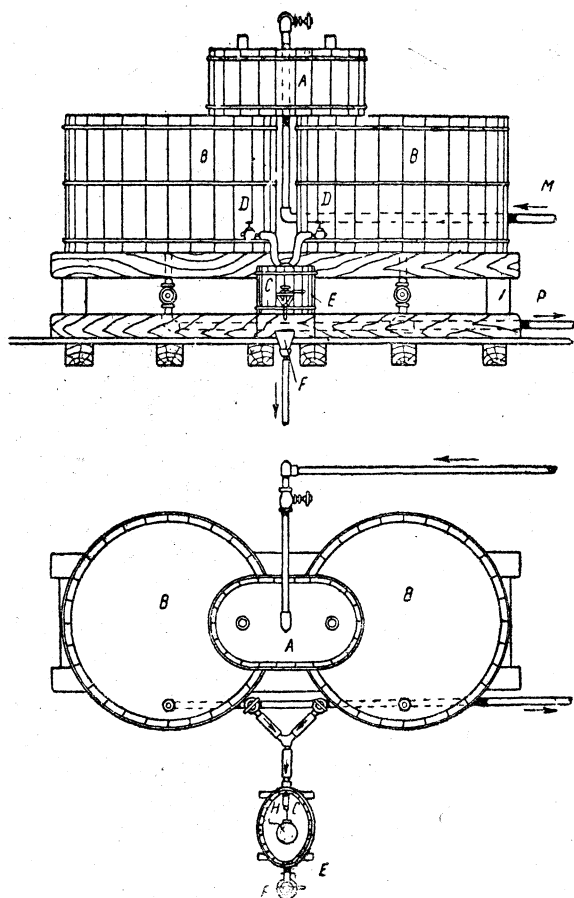


Рис. 94. Схема установки для хлорирования хлорной известью

известии. С этой воронкой соединяется регулирующий бачок ( $R$ ) с шаровым краном, куда из водопровода по трубе  $n$  поступает вода. При полной воронке приток воды в бачок прекращается шаровым краном; при понижении уровня шар открывает кран настолько, чтобы последний мог подавать то максимальное количество воды, которое насос при наибольшем вакууме способен засасывать через трубку  $к^1$ .

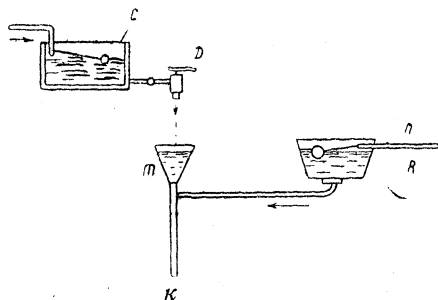


Рис. 95. Схема устройства для дозирования хлорной извести во всасывающую трубу насоса

Для уменьшения подачи воды прикрывают кран  $к$  на подводящей трубе  $n$ .

Так как дозы хлора зависят от состава воды, то хлорирование должно сопровождаться постоянными анализами ее, определением наиболее рациональных доз, а также определением наличия активного хлора в известии, так как содержание его в хлорной известии различно и колеблется в пределе от 10 до 35%.

Высокая температура и солнечный свет способствуют разложению хлорной извести, в виду

<sup>1</sup> Проф. Н. Н. Гениев, Водоснабжение железнодо-  
рожных станций, 1931 г.

чего, а также и учитывая, что хлорная известь гигроскопична, ее сохраняют в сухом, защищенном от солнца помещении, имеющем вентиляцию.

В настоящее время получило большое распространение хлорирование воды газообразным (жидким) хлором.

## 2. Хлорирование газообразным хлором

Жидкий хлор в стальных баллонах с давлением 4—8 *атм*, в зависимости от температуры воздуха, получается с химических заводов. Газообразный хлор почти в 2,5 раза тяжелее воздуха.

Дозирование газообразного хлора совершается с помощью специальных приборов — так называемых хлораторов.

В СССР распространены 3 типа хлораторов: системы Кульского, Оренштейна и Ремесницкого.

Действие последнего, представленного на рис. 96, заключается в следующем: хлор из баллона *A* в газообразном состоянии сначала проходит через фильтр *2*, состоящий из стеклянной ваты, а затем через редукционный клапан *3*, после которого устанавливается постоянное давление (1,5—2 *атм*) вне зависимости от давления в баллоне; манометр *4* показывает давление хлора в баллоне, манометр *6* — давление после редукционного клапана.

Далее хлор проходит через вентиль *5*, регулирующий количественную подачу его, которая измеряется хлороизмерителем *7*, и в установленном количестве поступает в смесительный цилиндр *10*, куда по трубе *Б* подводится вода (через редукционный клапан *12* с манометром *13*) где и происходит смешение хлора с водой, т. е. получение хлорной воды. Из смесителя хлорная вода

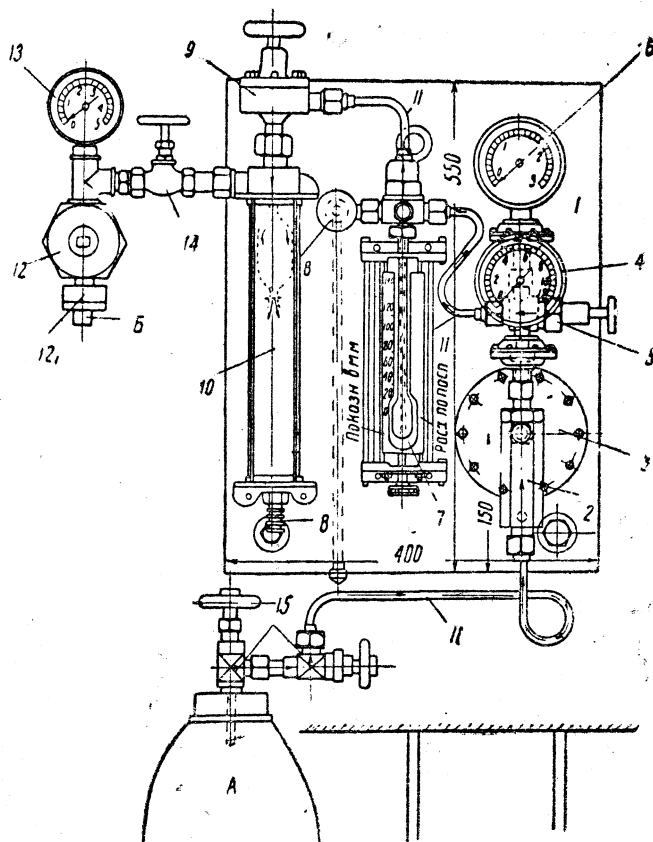
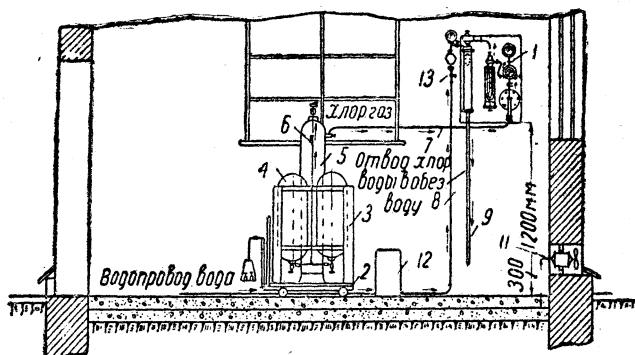


Рис. 96. Хлоратор системы Ремесницкого

А — баллон с жидким хлором, Б — подвод воды в смеситель.  
 1 — деревянная или мраморная доска, 2 — фильтр для газообразного хлора, 3 — редукционный клапан для газообразного хлора, 4 — манометр высокого давления, 5 — регулирующий кран, 6 — манометр низкого давления, 7 — измеритель количества хлора, 8 — спускной кран, 9 — обратный клапан, 10 — смеситель газа с водой, 11 — соединительные медные трубки, 12 — фильтр для воды, 12<sub>1</sub> — редукционный клапан для воды, 13 — манометр для воды, 14 — запорный вентиль для воды, 15 — запорные вентили для газообразного хлора



Разрез по А-Б



План

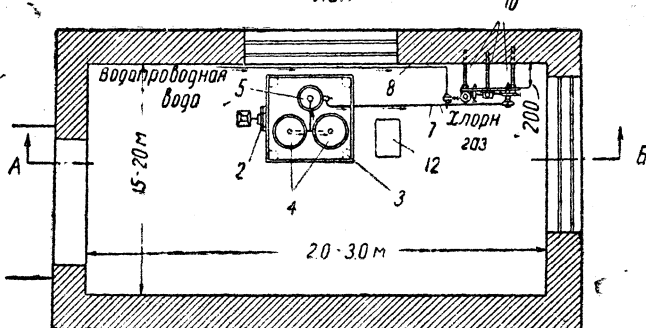


Рис. 97. Схема монтажа хлораторной установки

1 — хлоратор сист. Ремесницкого, 2 — десятичные весы для контроля расхода хлора, 3 — станок для установки баллонов, 4 — баллоны с хлором военного образца, 5 — промежуточный баллон для предварительной очистки хлора, 6 — трубка, подводящая хлор от рабочих баллонов к промежуточному баллону, 7 — трубка, подводящая хлор от промежуточного баллона к хлоратору, 8 — трубопровод, подводящий воду к смесителю хлоратора для приготовления хлорной воды, 9 — трубопровод, отводящий хлорную воду от смесителя хлоратора в обезвреживаемую воду, 10 — железные штыри для укрепления доски хлоратора, 11 — вытяжной центробежный вентилятор, 12 — электропечь для обогрева помещения и подогрева баллонов, 13 — водопроводный вентиль

отводится по эбонитовой или резиновой трубке *В* к хлорируемой воде.

Хлораторы устанавливаются в специальном изолированном помещении, площадь которого должна соответствовать количеству приборов (минимум 2). Помещение должно быть снабжено хорошим вытяжным приспособлением, расположенным близ пола, учитывая, что хлор тяжелее воздуха.

Схема монтажа хлораторной установки показана на рис. 97.

В настоящее время на ж.-д. транспорте установлено более 200 хлораторов, работающих глазным образом газообразным хлором.

---

---

## РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

# АНАЛИЗ ВОДЫ И РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ВОДОУМЯГЧЕНИЯ <sup>1</sup>

### ГЛАВА XIII

## АНАЛИЗ ЕСТЕСТВЕННЫХ ВОД

### § 1. Отбор проб воды и запись анализа

#### 1. Отбор проб воды

Проба воды, взятая для анализа, должна отражать ее действительный средний состав, т. е. не быть случайной, например взятой у самого берега, из долго неработавшей и предварительно непромытой трубы, из скважины без предварительной откачки и т. п. Взятие пробы и анализ ее должны поручаться компетентному лицу. Для полной характеристики воды источника следует взять несколько проб в наиболее характерные для него моменты года. Например весной, летом, зимой, осенью, что особенно важно для рек, озер и вообще поверхностных водоемов <sup>2</sup>.

Для полного технического анализа берут 3—4 л воды, для сокращенного — 1 л.

---

<sup>1</sup> В настоящей книге приведены лишь некоторые определения. Подробнее см. Анализ естественных, умягченных и котловых вод на железнодорожном транспорте. Доц. Тебенихин Е. Ф.

<sup>2</sup> Грунтовые воды исследуют посезонно. Воды артезианских скважин, из соображений контроля, — 2 раза в год.

При отборе проб следует руководствоваться следующими указаниями.

а) Слянка должна быть чисто вымыта и сполоснута не менее двух раз отбираемой водой.

Наиболее употребительными приборами для отбора с различных глубин являются специальные приспособления, так называемые батометры различных систем. В отсутствие таковых пользуются слянкой емкостью 3—4 л, заключенной в металлическую оправу с тяжелым дном, залитым свинцом, с каучуковой пробкой, привязанной к шнуру, открываемой на нужной глубине с помощью этого же шнура.

б) Отбор проб из водоемов (реки, озера, пруды).

При обследовании водоема пробы воды обычно берут с глубины 0,5 м, в расстоянии 1—2 м от берега и лишь в мелких водоемах — с поверхности. При решении различных специальных вопросов, как-то: о солевом распределении в замкнутых водоемах, о смешении естественных вод со стоками и проч., пробы берут с различных мест и глубин.

в) Пробы из водопроводных кранов.

При взятии пробы из водопроводных кранов воду предварительно спускают в течение нескольких минут (5—10) с тем, чтобы не попала застоявшаяся вода.

г) Пробы из скважин.

При отборе воды непосредственно из буровых скважин производят предварительную откачку в течение 5—10 мин. В некоторых же случаях берут две пробы — до и после откачки.

д) Укупорка и пересылка проб.

Слянки закупоривают каучуковыми или стеклянными пробками, а при отсутствии таковых —

корковыми. Расстояние нижнего края пробки от уровня воды не должно превышать 1 см. Корковые пробки следует заливать парафином или воском.

К каждой пробе прилагается сопроводительный бланк с следующими сведениями:

1. Род и название водоисточника.
2. Местонахождение водоисточника.
3. Дата взятия пробы.
4. Глубина и место отбора пробы.
5. Способ отбора пробы.
6. Температура воды в момент отбора.
7. Температура воздуха в момент отбора.
8. Состояние погоды за последние 5 дней до взятия пробы и в момент отбора.
9. Фамилия лица, отобравшего пробу.

Пересылка проб зимой должна производиться в условиях, исключающих замерзание воды.

## 2. Схемы анализов воды

Различают полный и сокращенный анализ воды. Первый производят при выборе источника водоснабжения, второй при последующих и контрольных исследованиях воды.

Форму записи полного анализа воды на ж.-д. транспорте см. табл. 18.

Таблица 18

### Анализ воды

#### 1. Общие сведения

1. Станция водоснабжения . . . . .
2. Род и название водоисточника . . . . .
3. Место отбора пробы воды . . . . .
4. Время отбора пробы воды . . . . .
5. Когда произведен анализ . . . . .

## 2. Физические свойства воды

- |                            |  |
|----------------------------|--|
| 1. Цвет . . . . .          | 4. Запах . . . . .                         |
| 2. Прозрачность . . . . .  | 5. Вкус . . . . .                          |
| 3. Муть и осадок . . . . . | 6. Температура воды <sup>1</sup> . . . . . |

3. Химические свойства и состав воды  
(Данные анализа в мг на литр)

## а) В нефильтованной пробе воды:

- |   |
|---|
| 1. Реакция . . . . .                                |
| 2. Взвешенные вещества при 110° Ц . . . . .         |
| 3. Взвешенные вещества после прокаливания . . . . . |

б) В профильтрованной пробе воды: <sup>2</sup>

- |   |
|---|
| 1. Сухой остаток при 110° Ц . . . . .   |
| 2. Сухой остаток после прокаливания . . . . .   |
| 3. Потеря при прокаливании . . . . .  |
| 4. Окись кальция (CaO) . . . . .  |
| 5. Окись магния (MgO) . . . . .   |
| 6. Серная кислота (SO <sub>3</sub> ) . . . . .  |
| 7. Хлор (Cl) . . . . .  |
| 8. Азотная кислота (N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) . . . . .   |
| 9. Азотистая кислота (N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . .   |
| 10. Аммиак (NH <sub>3</sub> ) . . . . .   |
| 11. Сероводород (H <sub>2</sub> S) . . . . .  |
| 12. Углекислота свободная и полусвязанная (CO <sub>2</sub> ) . . . . .                                  |
| 13. Углекислота свободная (CO <sub>2</sub> ) . . . . .  |
| 14. Окись железа и алюминия (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . . |
| 15. Кремнекислота (SiO <sub>2</sub> ) . . . . .   |
| 16. Окисляемость (O <sub>2</sub> ) . . . . .  |
| 17. Щелочность титрирная (в см <sup>3</sup> норм. к-ты на литр) . . . . .                               |
| 18. Жесткость в нем. гр. . . . .  |

Вычисленная по (CaO и MgO) { общая . . . . .  
постоянная . . . . .

По мыльной пробе <sup>3</sup> { общая . . . . .  
постоянная . . . . .  
устраняемая . . . . .

<sup>1</sup> На месте при отборе пробы.

<sup>2</sup> Схему следует дополнить определением кислорода и агрессивной углекислоты.

<sup>3</sup> Или одним из объемных способов (Блахера или Варта-Пфейфера).

#### 4. Заключение о пригодности воды

(для технических целей и для питья с указанием метода возможного улучшения в случае непригодности воды) . . . . .

. . . . .

Наименование лаборатории . . . . .

Лаборант . . . . .

„ . . . . . 193 . . . г.

№ . . . . .

Заведующий лабораторией

Таблица 19

#### Схема сокращенного анализа<sup>1</sup>

##### 1. Общие сведения

1. Станция водоснабжения . . . . .
2. Род и название водоисточника . . . . .
3. Место отбора пробы воды . . . . .
4. Дата отбора пробы воды . . . . .
5. Дата начала анализа . . . . .

##### 2. Физические свойства воды

- |                           |                                |
|---------------------------|--------------------------------|
| 1. Цвет . . . . .         | 4. Запах . . . . .             |
| 2. Прозрачность . . . . . | 5. Вкус . . . . .              |
| 3. Осадок . . . . .       | 6. Температура воды (на месте) |

##### 3. Химические свойства и состав

(данные в мг/л)

а) В нефильтрованной воде:

1. Реакция . . . . .

б) В фильтрованной воде:

1. Сухой остаток при 105° . . . . .
2. Потеря при прокаливании . . . . .
3. Хлор (Cl) . . . . .

<sup>1</sup> Предложение автора.

4. Азотная кислота ( $N_2O_5$ ) качественно . . . . .
5. Аммиак ( $NH_3$ ) . . . . .
6. Сероводород ( $H_2S$ ) . . . . .
7. Углекислота свободная ( $CO_2$ ) . . . . .
8. Окисляемость ( $KMnO_4$ ) . . . . .
9. Щелочность ( $см^3$  1/10 норм. соляной кислоты на 0,1 л.) .
10. Жесткость (нем. гр.) . . . . .
  - Общая . . . . .
  - Устранимая . . . . .
  - Постоянная . . . . .

## § 2. Определение жесткости воды

### 1. Метод Варта-Пфейфера

Принцип этого способа заключается в том, что щелочноземельные соли (кальция и магния), обуславливающие жесткость воды, выделяются щелочной смесью, состоящей из едкого и углекислого натрия, прибавляемой в избытке к предварительно нейтрализованной воде. По количеству вошедшей в реакцию щелочной смеси судят об общей жесткости воды, а по расходу соляной кислоты на нейтрализацию — о карбонатной или временной жесткости воды.

а) Определение временной (карбонатной) жесткости ( $H_t$ ). 100  $см^3$  прозрачной исследуемой воды отмеривают пипеткой в коническую колбу, прибавляют 2-3 капли раствора метилоранжа и приливают 1/10 норм. соляную кислоту<sup>1</sup> до изменения золотисто-желтой окраски в оранжевую. Расход 1/10 норм. соляной кислоты, умноженный на 2,8, выразит временную жесткость воды в нем. гр. ( $H_t$ ).

<sup>1</sup> На некоторых водоумягчителях применяют 1/28 норм. соляную кислоту, 1  $см^3$  которой соответствует 1 нем. гр.



**Пример.** При титровании  $100 \text{ см}^3$  воды израсходовано  $5 \text{ см}^3$  1/10 норм. соляной кислоты. Временная жесткость:  $H_t = 5 \cdot 2,8 = 14,0^\circ$ .

**Примечание.** Перед определением временной жесткости испытывают реакцию воды. При наличии розовой окраски при индикаторе фенолфталеин (в большей части в подобных случаях цифра временной жесткости превышает общую), титрование 1/10 норм. соляной кислотой сначала производят с этим индикатором, а затем дотитровывают с метилоранжем, отмечая общий расход кислоты буквой *м* и расход при титровании с фенолфталеином — *ф*. Для пересчета в немецкие градусы числа *м* и *ф* умножают на 2,8 и обозначают *М* и *Ф*. Временную жесткость воды в данном случае вычисляют по формуле:  $M - 2\Phi$ .

**Пример.** Расход 1/10 норм. кислоты при титровании с фенолфталеином равен  $0,4 \text{ см}^3$ ;  $\Phi = 0,4 \cdot 2,8 = 1,12^\circ$ . Общий расход кислоты составляет  $2,2 \text{ см}^3$ :

$$M = 2,2 \cdot 2,8 = 6,16^\circ.$$

Временная жесткость воды:

$$M - 2\Phi = 6,16 - 2 \cdot 1,12 = 3,92^\circ.$$

б) **Определение общей жесткости ( $H_o$ ).**  $100 \text{ см}^3$  нейтрализованной воды, обычно после определения карбонатной жесткости, кипятят в течение 3 мин. и приливают в нее в соответствии с предполагаемой жесткостью от 10 до  $35 \text{ см}^3$  щелочной смеси Пфейфера (смесь равных объемов 1/10 норм. раствора едкого натра и 1/10 норм. раствора углекислого натрия), после чего жидкость вновь кипятят в течение 3—5 мин., быстро охлаждают<sup>1</sup> и сливают в мерную колбу емкостью  $200 \text{ см}^3$ . Колбу, в которой производилось кипячение, споласкивают 2—3 раза дистиллированной

<sup>1</sup> При более точных определениях для уменьшения влияния углекислоты воздуха горячую жидкость сразу после кипячения переливают в мерную колбу и быстро охлаждают.

водой, приливая ополоски в ту же мерную колбу.

Затем мерную колбу дополняют до метки дистиллированной водой, несколько раз энергично взбалтывают и фильтруют через сухой складчатый фильтр, отбрасывая первые порции фильтрата ( $20 - 30 \text{ см}^3$ ).

К  $100 \text{ см}^3$  фильтрата прибавляют 2—3 капли метилоранжа и приливают  $1/10$  норм. соляную кислоту до изменения золотисто-желтой окраски в оранжевую.

Обозначая количество прибавленной щелочной смеси через  $a$  и расход  $1/10$  норм. кислоты при титровании фильтрата через  $b$  вычисляют общую жесткость ( $H_o$ ) воды:

$$H_o = (a - 2b^1) \cdot 2,8 \text{ нем. гр.}$$

Концентрация щелочной смеси периодически проверяется  $1/10$  норм. соляной кислотой с индикатором метилоранжем и в случае небольшого расхождения с  $1/10$  норм. кислотой вводят соответствующие поправки. В отношении количества прибавляемой щелочной смеси можно руководствоваться нижеприведенной табл. 20 в зависимости от предполагаемой общей жесткости исследуемой воды, о величине которой ориентировочно можно судить по временной, полагая, что таковая по большей части для вод до  $40^\circ$  составляет не менее половины общей жесткости.

---

<sup>1</sup> В зависимости от емкости мерной колбы, т. е. от производимого разбавления величину „ $b$ “ умножают на соответствующую цифру; так при работе с колбой емкостью  $250 \text{ см}^3$  на 2,5;  $300 \text{ см}^3$  — на 3 и т. д.

Воды с жесткостью, превышающей  $40^\circ$ , разбавляют дистиллированной водой.

Пример. При определении временной (карбонатной) жесткости затрачено  $6,6 \text{ см}^3$  1/10 норм. соляной кислоты, что составляет 18,48 нем. гр. ( $H_t$ ). Принимая условно общую жесткость воды равной 30 нем. гр., согласно табл. 20 прибавляем  $25 \text{ см}^3$  щелочной смеси.

На титрование  $100 \text{ см}^3$  фильтрата затрачено  $8,0 \text{ см}^3$  1/10 норм. кислоты.

Общая жесткость воды  $H_o$ :

$$(25 - 8.2) \cdot 2,8 = 25,2^\circ.$$

в) Определение постоянной жесткости. Вычитая из общей жесткости временную, получаем постоянную. Например, при  $H_o = 25,2^\circ$   $H_t = 18,48^\circ$ , постоянная жесткость  $H_p$  воды составит:  $25,2 - 18,48 = 6,72^\circ$ .

## 2. Метод Блахера

Принцип этого способа заключается в том, что калиевые соли пальмитиновой кислоты вступают в обменную реакцию со средними кальциевыми и магниевыми солями воды, образуя с ними нерастворимые соли, выпадающие в осадок. Момент окончания реакции характеризуется появлением розовой окраски при индикаторе фенолфталеине за счет свободной щелочи, образующейся при гидролизе некоторого избытка пальмитата калия, после того как все щелочноземельные соли воды вступят в обменное разложение.

Таблица 20

Прибавки щелочной смеси	
Предполагаемая общая жесткость воды в нем. гр	Прибавка 1/10 норм. щелочной смеси в $\text{см}^3$
До 10	10
11—20	20
21—30	25
31—40	35

По расходу пальмитата калия судят о жесткости воды.

Определение производят следующим образом: 100  $\text{см}^3$  исследуемой воды вливают в коническую колбу и титруют при индикаторе метилоранже 1/10 норм. соляной кислотой, как и при способе Варта-Пфейфера. Расход кислоты, умноженный на 2,8, выразит временную жесткость воды в нем. гр. Прибавив 3—4 капли соляной кислоты, жесткость кипятят в течение 2—3 мин., затем колбу быстро охлаждают, приливают в нее 5 капель спиртового раствора фенолфталеина и нейтрализуют раствором щелочи до появления слабо-розовой окраски, уничтожаемой одной каплей 1/10 норм. соляной кислоты, после чего тотчас же, при помешивании, приливают пальмитат калия до появления стойкой малиновой окраски, не исчезающей в течение 3 мин.<sup>1</sup>

Расход пальмитата калия, умноженный на ценность 1  $\text{см}^3$  выразит общую жесткость воды в нем. гр.

Разность между общей и временной составит постоянную жесткость воды.

Пример Расход пальмитата калия при титровании 100  $\text{см}^3$  воды составил 9  $\text{см}^3$ . Ценность 1  $\text{см}^3$  равна 2,6 нем. гр. Общая жесткость воды:  $9 \cdot 2,6 = 23,40^\circ$ .

Проверка раствора пальмитата калия. К 100  $\text{см}^3$  раствора хлористого бария (1,046 г  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  в 1 л), что соответствует 24 нем. гр., прибавляют 5 капель раствора фенолфталеина и по каплям 1/10 норм. раствор едкого натра до появления слабо-розовой окраски, уничтожаемой одной каплей 1/10 норм. соляной кислоты, после чего тотчас же, при помешивании, приливают раствор пальмитата калия до появления слабо-розовой окраски, не исчезающей в течение 3 минут.

<sup>1</sup> При расходе пальмитата калия более 10  $\text{см}^3$  окраска маскируется образующимся при этом осадком, почему в подобных случаях исследуемую воду полезно разбавлять дистиллированной водой (1:1, 1:2 и т. д.).

Частное от деления 24 нем. гр. на расход пальмитата калия составит ценность 1 см<sup>3</sup> раствора.

Пример. На титрование 100 см<sup>3</sup> раствора хлористого бария затрачено 9,2 см<sup>3</sup> пальмитата калия. 1 см<sup>3</sup> пальмитата соответствует:  $24,0 : 9,2 = 2,6$  нем. гр.

### 3. Метод Кларка

Настоящий метод основан на том, что калиевые соли высших жирных кислот (калийное мыло), вступая в обменную реакцию с известковыми и магниевыми солями воды, образуют нерастворимые соли, которые выпадают в осадок, причем момент окончания реакции узнается по появлению на поверхности исследуемой воды устойчивой пены за счет некоторого избытка солей жирных кислот (мыла).

Техника определения жесткости заключается в следующем<sup>1</sup>: в склянку, емкостью 250—300 см<sup>3</sup>, снабженную пробкой, вливают 100 см<sup>3</sup> исследуемой воды, куда из бюретки небольшими порциями приливают спиртовый мыльный раствор, встряхивая после каждого прибавления до появления плотной мелкопузырчатой пены толщиной 0,5—1,0 см, не исчезающей в течение 3—5 минут. По количеству израсходованного мыльного раствора находят жесткость воды.

Временную жесткость воды определяют титрованием 100 см<sup>3</sup> воды в отдельной пробе, как это указано в методе Варта-Пфейфера.

Учитывая, что жесткие воды при титровании с мыльным раствором дают результаты значительно ниже истинных, особенно при наличии большого количества магниевых солей, маскирующих мыльную пену, воды эти необходимо разбавлять

<sup>1</sup> Для более точных определений, во избежание влияния свободной углекислоты, воду предварительно нейтрализуют 1/10 норм. едким натром при индикаторе-фенолфталеине.

дистиллированной водой, при чем наилучшие результаты получаются, если жесткость воды при титровании не превышает 6—8 нем. гр.

При вычислении результатов сначала нужно найти по табл. 21 жесткость воды, соответствующую затраченному количеству мыльного раствора, а затем умножить ее на коэффициент разбавления.

Расчет: для получения устойчивой пены на 25  $\text{см}^3$  испытуемой воды, разбавленной до 100  $\text{см}^3$  дистиллированной водой, израсходовано 26,5  $\text{см}^3$  нормального мыльного раствора, что по таблице соответствует 6,57 нем гр.; дистиллированная вода жесткости не имеет.

Умножив найденную жесткость на коэффициент разбавления (100:25), получим жесткость исследуемой воды:

$$6,57 \cdot 4 = 26,28 \text{ нем. гр.}$$

Если же дистиллированная вода при отдельном титровании 100  $\text{см}^3$  показывает жесткость, например, в 0,4 нем гр., то необходимо внести соответствующую поправку, т. е. вычесть жесткость ее (для 75  $\text{см}^3$ ) и затем умножить на коэффициент разбавления; отсюда получим:

$$(6,57 - 0,4 \cdot 0,75) \cdot 4 = 25,08 \text{ нем. гр.}$$

Проверка концентрации мыльного раствора

В склянку, емкостью 300  $\text{см}^3$ , отмеривают 100  $\text{см}^3$  раствора хлористого бария (0,523 г в 1 л  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  дистиллированной воды), соответствующих 12 нем. гр. жесткости, и приливают при взбалтывании из бюретки мыльный раствор до появления устойчивой пены, на что должно быть затрачено 45  $\text{см}^3$  раствора.

В случае несоответствия раствор исправляют, добавляя, смотря по надобности, концентрированное мыло или 56-градусный спирт.

При отклонениях  $\pm 0,3 \text{ см}^3$  можно ограничиться поправками: так, при 44,8  $\text{см}^3$  поправка равна  $1,004 \left( \frac{45}{44,8} \right)$ .

Таблица 21

Таблица для определения жесткости воды  
по способу Кларка

Расход мыль- ного раствора см <sup>3</sup>	Жесткость нем. гр.	Разность на десятые доли градуса	
		см <sup>3</sup>	град
1,4	0,00	0,1	0,03
2	0,15	0,2	0,05
3	0,40	0,3	0,08
4	0,65	0,4	0,10
5	0,90	0,5	0,13
6	1,15	0,6	0,15
7	1,40	0,7	0,18
8	1,65	0,8	0,20
9	1,90	0,9	0,23
10	2,16	0,1	0,03
11	2,42	0,2	0,05
12	2,68	0,3	0,08
13	2,94	0,4	0,10
14	3,20	0,5	0,13
15	3,46	0,6	0,16
16	3,72	0,7	0,18
		0,8	0,21
17	3,98	0,9	0,23
18	4,25	0,1	0,03
19	4,52	0,2	0,05
20	4,79	0,3	0,08
21	5,06	0,4	0,11
22	5,33	0,5	0,14
23	5,60	0,6	0,16
24	5,87	0,7	0,19
		0,8	0,22
		0,9	0,24

Продолжение табл. 21

Расход мыльного раствора см <sup>3</sup>	Жесткость нем. гр.	Разность на десятые доли градуса	
		см <sup>3</sup>	град.
25	6,15	0,1	0,03
26	6,43	0,2	0,06
27	6,71	0,3	0,08
28	6,99	0,4	0,11
29	7,27	0,5	0,14
30	7,55	0,6	0,17
31	7,83	0,7	0,20
		0,8	0,22
		0,9	0,25
32	8,12	0,1	0,03
33	8,47	0,2	0,06
34	8,70	0,3	0,09
35	8,99	0,4	0,12
		0,5	0,15
36	9,28	0,6	0,17
37	9,57	0,7	0,20
		0,8	0,23
		0,9	0,26
38	9,87	0,1	0,03
39	10,17	0,2	0,06
40	10,47	0,3	0,09
41	10,77	0,4	0,12
42	11,07	0,5	0,15
43	11,38	0,6	0,18
44	11,69	0,7	0,21
45	12,00	0,8	0,24
		0,9	0,27



# ГЛАВА XIV АНАЛИЗ УМЯГЧЕННЫХ ВОД

## § 1. Схема контрольных проб при известково-содовом умягчении воды

Таблица 22

Пробы	Определения	Места отбора проб	Примечание
1. Реагенты. Известковая вода	Концентрация (крепость)	Из верхнего отделения сатуратора посл- фильтра. В горизонтальном типе из баков, подающих известковую воду	Не реже трех раз в смену
Содовый раствор	Концентрация (крепость)	Заготовительный бак	Анализ производят при заготовке новой порции раствора
2. Неумягченная вода	а) Временная (карбонатная) жесткость $H_t$ б) Общая жесткость $H_o$ в) Постоянная жесткость $H_p$ г) Содержание окиси магния д) Свободная углекислота	Водораспределитель	Анализ по пунктам а", б", в" при установившихся атмосферных условиях один раз в шестидневку. В иных случаях (паводок и пр.) — раз в сутки. Анализ по пунктам г" и д" производят лишь при пуске водоумягчителя
3. Умягченная вода	а) Щелочность в нем. гр. по фенолфталеину — Ф. б) Общая щелочность с метилоранжем в нем. гр. — М в) Жесткость общая	Отстойник, после фильтра	Анализ по пунктам а", б", в" один раз в смену (не реже трех раз в сутки)

## § 2. Методы исследования

Методы исследования жесткости, описанные выше, применимы и для умягченных вод, с той лишь разницей, что титрованием соляной кислотой определяют не временную жесткость воды, а щелочность умягченной воды, так как в последней, кроме бикарбонатов кальция и магния, характеризующих временную жесткость воды, обычно еще присутствуют гидраты и карбонаты.

Таким образом, щелочность умягченной воды может состоять из:

гидратов  $[\text{NaOH}, \text{Ca}(\text{OH})_2]$ ,

карбонатов  $(\text{Na}_2\text{CO}_3, \text{MgCO}_3, \text{CaCO}_3)$ ,

бикарбонатов  $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2, \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2, \text{NaHCO}_3]$ .

Сумма этих щелочей составляет общую щелочность воды.

Указанные щелочи титруются с различными индикаторами.

а) Гидраты щелочей нейтрализуются полностью соляной кислотой в присутствии индикаторов — фенолфталеина и метилоранжа.

б) Карбонаты в присутствии фенолфталеина нейтрализуются только до половины — до перехода карбонатов в бикарбонаты.

в) Бикарбонаты нейтрализуются только с метилоранжем.

### 1. Определение щелочности

Отмеривают  $100 \text{ см}^3$  прозрачной воды в коническую колбу, прибавляют 3—5 капель фенолфталеина и приливают из бюретки  $1/10$  норм. соляную кислоту до исчезновения красной окраски.

Расход кислоты, умноженный на 2,8, обозначают буквой  $\Phi$ . Затем, прибавив 2 капли метилоранжа, продолжают приливать ту же кислоту до перехода золотисто-желтой окраски в оранжевую. Общий расход кислоты умножают на 2,8 и обозначают буквой  $M$  (общая щелочность).

В нейтрализованной пробе определяют общую жесткость одним из методов—Блахера или Варта-Пфейфера, и отмечают полученный результат.

При исследовании общей жесткости по Кларку, щелочность определяется в отдельной пробе воды.

## 2. Значение результатов определения щелочности

Сопоставляя результаты определения щелочности с фенолфталеином и метилоранжем, можно судить о составе щелочей в исследованной воде, а также, насколько правильно произведено умягчение воды.

На основе полученных данных, учитывая требования, предъявляемые к качеству умягченных вод, при небольших отклонениях (до 3%) изменение дозировки реагентов может производиться перестановкой перегородок простым пересчетом (см. стр. 119); при больших же расхождениях проверяют работу сатуратора, содового раздатчика и все расчеты, связанные с установлением количества реагентов.

Таблица 23

№	Данные исследования	Предположительное содержание			Оценка умягченной воды
		карбонаты	гидраты	бикарбонаты	
1	$\Phi = \frac{1}{2} M$	2 $\Phi$	—	—	Наличие только соды
2	$\Phi$ больше $\frac{1}{2} M$	2[M— $\Phi$ ]	2 $\Phi$ —M	—	Некоторый избыток гидратов
3	$\Phi$ меньше $\frac{1}{2} M$	2 $\Phi$	—	M—2 $\Phi$	Недостаток извести
4	$\Phi = M$	—	$\Phi$	—	Наличие только гидратов
5	$\Phi = 0$	—	—	M	Недостаток реагентов
6	$H_0$ больше M				•

### 3. Примеры из практики работы водоумягчителей

- а)  $\Phi = 1,5^\circ$  Карбонаты  $= 3,0^\circ$   
 $M = 7,0^\circ$  Бикарбонаты  $= 4,0^\circ$   
 $H_0 = 7,0^\circ$  Гидраты  $= 0,0^\circ$

Данные исследования указывают на недоумягчение вследствие недостаточной добавки известкового реагента.

- б)  $\Phi = 2,5^\circ$  Карбонаты  $= 5,0^\circ$   
 $M = 6,0^\circ$  Бикарбонаты  $= 1,0^\circ$   
 $H_0 = 8,0^\circ$  Гидраты  $= 0,0^\circ$

Приведенные данные указывают на недостаток содового и известкового реагентов.

- в)  $\Phi = 3,6^\circ$  Карбонаты  $= 6,0^\circ$   
 $M = 6,6^\circ$  Гидраты  $= 0,6^\circ$   
 $H_0 = 4,0^\circ$  Бикарбонаты  $= 0,0^\circ$

Умягчение удовлетворительно.

## ГЛАВА XV АНАЛИЗ КОТЛОВЫХ ВОД

### § 1. Отбор проб и схемы анализов

#### 1. Отбор проб воды из котла паровоза

Проба воды должна отбираться при одном и том же уровне воды, а именно  $1\frac{1}{2}$  водомерного стекла и не ранее, как через 15—20 минут после подкачки воды из тендера.

Проба воды отбирается из нижнего водопробного крана непосредственно или с помощью холодильников. В первом случае открывают нижний водопробный кран, продувают в течение 1—0,5 мин. и осторожно, избегая больших потерь пара, собирают необходимое количество котловой воды в чистое ведро<sup>1</sup>. По охлаждении воду переливают в чистую, предварительно сполоснутую отобранной водой, склянку закупоривают каучуковой или хорошо пригнанной чистой корковой пробкой, приклеивают этикетку и отправляют по назначению или исследуют на месте.

На этикетке или сопроводительном бланке необходимо указать: № и серию паровоза, дагу отбора, пробег в км от последней промывки, давление пара в котле, способ обработки воды (умягчение, антинакипины) и фамилию лица, отобравшего пробу.

Количество отбираемой воды зависит от объема исследований (1—2 л).

Анализ котловой воды должен производиться возможно быстрее и не позже чем через 12 часов с момента отбора пробы.

Проба воды, полученной таким способом, обладает более высокой концентрацией солей, нежели

<sup>1</sup> Ведро предварительно споласкивается отбираемой водой

в котле, что объясняется испарением части воды при отборе, вследствие чего все полученные анализы результаты являются повышенными в зависимости от давления в котле и корректируются по нижеследующей таблице:

Таблица 24

Давление в котле <i>ата</i>	Поправка	Давление в котле <i>ата</i>	Поправка
4,0	0,921	14,5	0,822
4,5	0,912	15,0	0,819
5,0	0,905	15,5	0,816
5,5	0,898	16,0	0,813
6,0	0,893	16,5	0,811
6,5	0,887	17,0	0,808
7,0	0,881	18,0	0,803
7,5	0,875	19,0	0,798
8,0	0,870	20,0	0,793
8,5	0,865	21,0	0,788
9,0	0,862	22,0	0,784
9,5	0,857	23,0	0,780
10,0	0,854	24,0	0,776
10,5	0,849	25,0	0,772
11,0	0,846	26,0	0,768
11,5	0,842	27,0	0,764
12,0	0,839	28,0	0,761
12,5	0,834	29,0	0,757
13,0	0,831	30,0	0,752
13,5	0,828	32,0	0,747
14,0	0,826	34,0	0,740

Пример. Проба отобрана из котла с давлением 13 *ата*.  
Найдено хлоридов 200 *мг/л*.  
Поправка 0,831.  
Истинный результат:  $200 \cdot 0,831 = 166,2$  *мг/л*.

Отбор проб с холодильником. Холодильник состоит из ведра с впаянным змеевиком, один конец которого с помощью каучуковой трубки соединяется с нижним водопробным краном, другой — опускается в приемный сосуд.

Холодильник наполняют снегом или холодной водой, которую периодически сменяют.

Перед отбором пробы кран продувают. Приемный сосуд тщательно споласкивают первой порцией отбираемой воды. Следует избегать выхода пара.

## 2. Схемы анализов

Различают полный и сокращенный анализы котловых вод.

а) Полный анализ включает следующие определения.

- 1) Взвешенные вещества при  $105^{\circ}$ .
- 2) Плотный остаток при  $105^{\circ}$ .
- 3) Потеря при прокаливании.
- 4) Реакция (рН).
- 5) Окись кальция ( $\text{CaO}$ ).
- 6) Окись магния ( $\text{MgO}$ ).
- 7) Сульфаты ( $\text{SO}_4$ ).
- 8) Хлориды ( $\text{Cl}$ ).
- 9) Нитраты ( $\text{N}_2\text{O}_5$ ).
- 10) Фосфаты ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) — в случае добавки.
- 11) Полуторные окислы ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ ).
- 12) Силикаты ( $\text{SiO}_2$ ).
- 13) Окисляемость ( $\text{KMnO}_4$ ).
- 14) Жесткость общая ( $\text{H}_o$ ).
- 15) Щелочность ( $\text{Ф}$ ,  $\text{М}$ ).
- 16) Натронное число ( $\text{NZ}$ ).

б) Сокращенный анализ.

- 1) Плотность по Боме.
- 2) Щелочность ( $\text{Ф}$ ,  $\text{М}$ ).
- 3) Жесткость ( $\text{H}_o$ ).
- 4) Натронное число ( $\text{NZ}$ ).
- 5) Хлориды ( $\text{Cl}$ ).
- 6) Окисляемость ( $\text{KMnO}_4$ ).

Примечание. Определение газов — кислорода и углекислоты — производят в сконденсированном паре.

## § 2. Методы исследования

### 1. Определение плотности воды

Пробу котловой воды охлаждают до  $15^{\circ}$ , фильтруют и сливают в специальный цилиндр, в котором ареометром Бо́ме измеряют плотность (градусы Бо́ме —  $^{\circ}\text{Be}$ ).

Если определение производят весами Мора и Вестфала, то найденный удельный вес перечисляют в градусы Бо́ме, согласно нижеприведенной таблице 25.

Таблица 25

Уд. вес	Градусы Бо́ме	Уд. вес	Градусы Бо́ме	Уд. вес	Градусы Бо́ме	Уд. вес	Градусы Бо́ме
1,000	0,000	1,006	0,858	1,012	1,715	1,018	2,572
1,001	0,143	1,007	1,000	1,013	1,858	1,019	2,715
1,002	0,286	1,008	1,143	1,014	2,000	1,020	2,858
1,003	0,429	1,009	1,286	1,015	2,143	1,021	3,000
1,004	0,572	1,010	1,429	1,016	2,286	1,022	3,143
1,005	0,715	1,011	1,572	1,017	2,429	1,023	3,286

### 2. Натронное число

Натронное число ( $NZ$ ) характеризует содержание в котловой воде щелочей — едкого натра и углекислого натрия — и вычисляется по формуле:

$$\frac{\text{углекислый натрий } (\text{Na}_2\text{CO}_3)}{4,5} \text{ мг/л} + \text{едкий натр} \\ (\text{NaOH}) \text{ мг/л.} \quad (1)$$

Определение натронного числа происходит следующим образом: 100  $\text{см}^3$  фильтрованной котловой воды титруют в эрленмейеровской колбе с индикатором фенолфталеином 1/10 норм. соляной кислотой. Расход  $\text{см}^3$  1/10 норм. соляной кислоты обозначают  $\phi$ . Затем, прибавив 2 — 3 капли



индикатора метилоранжа, продолжают титрование, отмечая общий расход кислоты  $m$ .

По данным  $\phi$  и  $m$  вычисляют содержание едкого натра и углекислого натрия.

а)  $\phi$  больше  $1/2 m$ .

В котловой воде присутствуют углекислый натрий и едкий натр, количество которых в  $мг$  на  $л$  вычисляют по формулам:

$$NaOH (\text{едкий натр}) = (2\phi - m) \cdot 40 \quad (2)$$

где 40 — число  $мг$  едкого натра, соответствующее  $1 см^3$   $1/10$  норм. соляной кислоты в пересчете на  $1 л$  воды.

$$Na_2CO_3 (\text{углекислый натрий}) = (m - \phi) \cdot 2 \cdot 53 \text{ или } (m - \phi) \cdot 106, \quad (3)$$

где 53 — число  $мг$  углекислого натрия, соответствующее  $1 см^3$   $1/10$  норм. соляной кислоты в пересчете на  $1 л$  воды.

Пример. При титровании  $100 см^3$  котловой воды  $1/10$  норм. соляной кислотой найдено:

$$\phi = 6 \text{ см}^3,$$

$$m = 8 \text{ см}^3;$$

$$NaOH = (2 \cdot 6 - 8) \cdot 40 = 160,0 \text{ мг/л.}$$

$$Na_2CO_3 = (8 - 6) \cdot 106 = 212,0 \text{ мг/л.}$$

По формуле (1) находим натронное число

$$NZ = \frac{212}{4,5} + 160 = 207,1.$$

б)  $\phi = 1/2 m$ .

В котловой воде присутствует один углекислый натрий, содержание которого в  $мг$  на  $л$  определяют по формуле:

$$Na_2CO_3 = 2\phi \cdot 53 \text{ или } 106 \phi. \quad (4)$$

Вычисление натронного числа происходит по формуле:

$$NZ = \frac{Na_2CO_3}{4,5}. \quad (5)$$

Пример.  $\phi = 6,$

$$m = 12;$$

$$Na_2CO_3 = 6 \cdot 106 = 636 \text{ мг/л,}$$

$$NZ = \frac{636}{4,5} = 141,3.$$

в)  $\phi$  меньше  $1/3$  м<sup>1</sup>.

В котловой воде присутствуют углекислый натрий и бикарбонаты (двууглекислый натрий), что может иметь место в процессе отбора пробы, или при хранении, вследствие поглощения котловой водой углекислоты воздуха.

В этих случаях определяют двууглекислый натрий (формула 6), полученные данные перечисляют в углекислый, который прибавляют к найденному (формула 4) содержанию углекислого натрия и натронное число вычисляют по формуле 5.

Содержание двууглекислого натрия в мг на л:

$$\text{NaHCO}_3 = (m - 2\phi) \cdot 84, \quad (6)$$

где 84 — число мг двууглекислого натрия, соответствующее 1 см<sup>3</sup> 1/10 норм. соляной кислоты в пересчете на 1 л воды.

Для перевода двууглекислого натрия в углекислый служит коэффициент 0,631

$$(\text{Na}_2\text{CO}_3 : 2 \text{ NaHCO}_3 = 105,994 : 2 \cdot 84,005)$$

Пример.

При титровании 1/10 нормальной соляной кислотой 100 см<sup>3</sup> котловой воды найдено;

$$\phi = 2 \text{ см}^3$$

$$m = 5,8 \text{ см}^3$$

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 = 106 \cdot 2 = 212,0 \text{ мг/л}$$

$$\text{NaHCO}_3 = (5,8 - 2 \cdot 2) \cdot 84 = 151,2 \text{ мг/л}$$

$$\text{NaHCO}_3 \text{ в пересчете на } \text{Na}_2\text{CO}_3$$

$$151,2 \cdot 0,631 = 95,4 \text{ мг/л.}$$

Общее содержание  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ :

$$212 + 95,4 = 307,4 \text{ мг/л}$$

$$NZ = \frac{307,4}{4,5} = 68,3.$$

<sup>1</sup> Означенное явление может иметь место не только при наличии бикарбоната натрия, но и за счет присутствия в воде гуминовых веществ, что является предметом наших настоящих исследований.

### 3. Фосфаты

Качественная проба. К 10—15  $\text{см}^3$  исследуемой воды, подкисленной конц. азотной кислотой (2—3 капли) прибавляют 3—5  $\text{см}^3$  раствора молибденовокислого аммония (3%) и нагревают на слабом огне.

Появление желтого кристаллического осадка укажет на присутствие фосфатов.

Количественное определение. Отмеривают 100  $\text{см}^3$  прозрачной котловой воды в эрленмейеровскую колбу и прибавляют 3—4 капли конц. азотной кислоты. Затем приливают 25  $\text{см}^3$  азотнокислого аммония (80 г в 1 л дистиллир. воды), 100  $\text{см}^3$  молибденовой смеси и оставляют на ночь. Образовавшийся осадок фосфорномолибденового аммония отфильтровывают через плотный фильтр, оставляя главную массу осадка в колбе. Осадок как в колбе, так и на фильтре промывают 1 % раствором азотнокислого калия до исчезновения кислой реакции, выливая промывочную воду из колбы через указанный фильтр (проба на лакмус), после чего фильтр с осадком присоединяют к общей массе осадка—в колбу, куда добавляют 25—30  $\text{см}^3$  воды и приливают через бюретку 0,5 норм. едкий натр до растворения всего осадка. Избыток щелочи оттитровывают 0,5 норм. соляной кислотой с индикатором фенолфталеином. Вычитая из расхода едкого натра количество кислоты, затраченное на обратное титрование, и умножая разность на 15,43, находят содержание фосфатов в миллиграммах на литр в виде  $\text{P}_2\text{O}_5$  (1  $\text{см}^3$  0,5 норм.  $\text{NaOH}$  = 0,001543 г  $\text{P}_2\text{O}_5$ ).

Расчет можно производить по следующей формуле:

$$\text{P}_2\text{O}_5 = (a - b) \cdot 15,43 \text{ мг/л},$$

где:  $a$  — количество прибавленного 0,5 норм. едкого натра.

$b$  — количество 0,5 норм. соляной кислоты, затраченное на обратное титрование.

Приготовление молибденовой смеси. 80 г молибденовокислого аммония растворяют в 640  $\text{см}^3$  дистиллированной воды и приливают 150  $\text{см}^3$  20 % аммиака.

Затем готовят второй раствор, состоящий из 960  $\text{см}^3$  90% азотной кислоты, удельного веса 1,18, и 240  $\text{см}^3$  дистиллированной воды. Первый раствор осторожно приливают ко второму, нагревают до 75° Ц, дают отстояться и фильтруют.

## ГЛАВА XVI.

### АНАЛИЗ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ВОДОУМЯГЧЕНИЯ

#### 1. Определение концентрации (крепости) известковой воды

Отмеривают 10  $\text{см}^3$  прозрачной известковой воды в коническую колбу малого размера, добавляют 2—3 капли фенолфталеина и приливают из бюретки 1/10 норм. соляную кислоту до обесцвечивания. Расход кислоты, умноженный на 28, выразит концентрацию известковой воды в нем. гр. (если известковая вода мутная — профильтровать).

Пример. На титрование 10  $\text{см}^3$  известковой воды израсходовано 4,3  $\text{см}^3$  1/10 норм. соляной кислоты.

Концентрация известковой воды:  $4,3 \cdot 28 = 120,4^\circ$ .

#### 2. Определение концентрации содового раствора

Отмеривают пипеткой 1  $\text{см}^3$  профильтрованного раствора в коническую колбу малого размера, разбавляют дистиллированной водой, прибавляют 1 каплю метилоранжа и приливают из бюретки 1/10 норм. соляную кислоту до перехода золотисто-желтой окраски в оранжевую.

Расход кислоты умножают на 0,53. Полученное число выразит концентрацию содового раствора в процентах.

Пример. На титрование 1 см<sup>3</sup> раствора соды затрачено 9 см<sup>3</sup> 1/10 норм. соляной кислоты. Концентрация содового раствора:  $0,53 \cdot 9 = 4,77$ .

### 3. Определение действующего вещества в извести.

Для получения средней пробы из разных мест партии отбирают некоторое количество извести, измельчают и хорошо перемешивают. Затем отвешивают 28 г, гасят небольшим количеством дистиллированной воды, осторожно подогревая до полного распада всех твердых частиц, после чего полученное тесто разбавляют дистиллированной водой и сливают в мерную колбу, емкостью 1 л.

По охлаждении колбу доливают до метки прокипяченной дистиллированной водой, тщательно взбалтывают и отмеривают цилиндром 10 см<sup>3</sup> смеси в мерную колбу емкостью 100 см<sup>3</sup>, которую дополняют до метки той же дистиллированной водой. Колбу несколько раз встряхивают, отбирают 10 см<sup>3</sup> смеси и титруют в конической колбе 1/10 норм. соляной кислотой с индикатором фенолфталеином до обесцвечивания.

Расход см<sup>3</sup> 1/10 норм. соляной кислоты, умноженный на 10, выразит содержание действующего вещества (CaO) в извести в процентах.

Пример. На титрование 10 см<sup>3</sup> смеси затрачено 6,8 см<sup>3</sup> 1/10 норм. соляной кислоты. Известь — 68-процентная.

### 4. Определение действующего вещества в соде

Отвешивают 5,3 г соды из средней пробы исследуемой партии. Навеску ссыпают в мерную

колбу емкостью 1 л, вливают 500 — 300 см<sup>3</sup> теплой дистиллированной воды, взбалтывают до полного растворения и по охлаждении дополняют до метки дистиллированной водой. Раствор тщательно перемешивают и, отобрав пипеткой 10 см<sup>3</sup>, титруют в конической колбе 1/10 норм. соляной кислотой при индикаторе метилоранже (1 капля).

Расход см<sup>3</sup> кислоты, умноженный на 10, выразит содержание действующего вещества в процентах.

Пример. На титрование 10 см<sup>3</sup> приготовленного раствора затрачено 9,6 см<sup>3</sup> 1/10 норм. соляной кислоты. Содержание действующего вещества в соде — 96%.

### 5. Контрольная проба дистиллированной воды

а) Проба на содержание бикарбонатов. К 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды в конической колбе прибавляют 2 — 3 капли метилоранжа и по каплям приливают 1/10 норм. соляную кислоту до очень слабого оранжевого тона. Вода допустима при расходе кислоты не выше 0,1 см<sup>3</sup>.

б) Проба на содержание свободной углекислоты. К 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды в конической колбе прибавляют 3 — 4 капли фенолфталеина и по каплям приливают 1/10 норм. едкий натр до слабой, но ясно выраженной розовой окраски, не исчезающей 3 минуты.

При расходе щелочи, не превышающем 0,1 см<sup>3</sup>, вода может быть признана удовлетворительной; при большем же расходе воду кипятят в течение 15 мин., затем закрывают трубкой, снабженной натронной известью, и в таком виде оставляют до употребления.

# Приложение

**1. Таблица перевода градусов Бо́ме содового раствора в проценты, немецкие градусы и данные удельного веса**

Плотность в °Ве	Конц. содового раствора		Удельн. вес	Плотность в °Ве	Конц. содового раствора		Удельн. вес
	в %	в нем. гр.			в %	в нем. гр.	
1	2	3	4	1	2	3	4
1,0	0,63	333	1,007	1,5	0,97	513	1,010
2,0	1,31	693	1,014	2,5	1,67	883	1,018
3,0	2,04	1079	1,022	3,5	2,47	1307	1,025
4,0	2,90	1540	1,029	4,5	3,22	1720	1,032
5,0	3,54	1873	1,036	5,5	3,94	2085	1,040
6,0	4,35	2302	1,045	6,2	4,52	2391	1,046
6,4	4,69	2481	1,048	6,6	4,86	2571	1,049
6,8	5,03	2666	1,051	7,0	5,19	2746	1,052
7,2	5,35	2830	1,053	7,4	5,51	2915	1,055
7,6	5,67	3000	1,056	7,8	5,83	3084	1,058
8,0	5,99	3169	1,060	8,5	6,39	3381	1,063
9,0	6,79	3592	1,067	9,5	7,20	3804	1,071
10,0	7,61	4026	1,075	10,5	8,05	4259	1,079
11,0	8,50	4497	1,083	11,5	8,93	4725	1,087
12,0	9,35	4941	1,091	12,5	9,79	5180	1,095
13,0	10,24	5428	1,100	14,0	11,17	5910	1,108
15,0	12,11	6407	1,116	16,0	13,13	6958	1,125
17,0	14,13	7489	1,134	18,0	15,13	8020	1,142
19,0	16,23	8600	1,152	—	—	—	—

2. Форма журнала водоумягчителя

Числа месяца	Сырая вода		Умягченная вода						Крепость растворов		Постановка перегородок		Загрузка реагентов		Работа мех. устройств в сутки			Умягчено воды в сутки																
	Жесткость	температура	Щелочн.	жесткость	карбонаты	бикарбонаты	гидраты	известковой воды	содового раствора	известковая	содовая	известки	сода	котла	известк.	насосов.																		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22													
°C																						немецкие градусы		%		число делений		кг		часов			м³	
1																																		
2																																		
3																																		



### 3. Количество некоторых соединений, соответствующих 1 нем. гр.

№ п.п.	Наименование	Хим. обознач.	мг/л
1	Окись кальция . . . .	CaO	10,00
2	Гидрат окиси кальция .	Ca(OH) <sub>2</sub>	13,21
3	Карбонат кальция . . .	CaCO <sub>3</sub>	17,84
4	Бикарбонат кальция . .	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	28,91
5	Сернокислый кальций .	CaSO <sub>4</sub>	24,28
6	Хлористый кальций . .	CaCl <sub>2</sub>	19,79
7	Окись магния . . . . .	MgO	7,19
8	Гидрат окиси магния .	Mg(OH) <sub>2</sub>	10,40
9	Карбонат магния . . . .	MgCO <sub>3</sub>	15,03
10	Бикарбонат магния . .	Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	26,09
11	Сернокислый магний .	MgSO <sub>4</sub>	21,47
12	Хлористый магний . .	MgCl <sub>2</sub>	16,98
13	Едкий натр . . . . .	NaOH	14,27
14	Карбонат натрия . . . .	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	18,90
15	Бикарбонат натрия . .	NaHCO <sub>3</sub>	29,96
16	Углекислый газ . . . . .	CO <sub>2</sub>	7,84
17	Серный ангидрид . . . .	SO <sub>3</sub>	14,28
18	Хлор . . . . .	Cl	12,64
19	Сернокислый алюминий	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·18H <sub>2</sub> O	39,61
20	Тринатрийфосфат . . . .	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O	40,90

### 4. Технические условия для кальцинированной соды и сернокислого глинозема по ОСТ

Кальцинированная сода (ОСТ 4892) должна удовлетворять следующим требованиям:

а) Сода должна быть белой, порошкообразной и растворимой в воде, при растворении допускается мелкая муть.

б) Потеря при прокаливании не более 4%.

в) Содержание действующего вещества (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) не менее 98%.

г) Содержание хлористого натрия не более 1%.

д) Содержание сернокислого натрия не более 0,1%.

Данные пп. б, в, г, д относятся к веществу, прокаленному в двойном тигле.

Сернокислый глинозем должен удовлетворять следующим требованиям (сорт № В, ОСТ 1895).

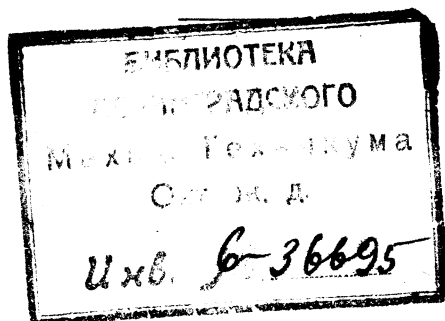
- |   |          |   |        |
|---|----------|---|--------|
| а) Содержание действующего вещества $\text{Al}_2\text{O}_3$       | не менее | — | 88,3%. |
| 13,5% или $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ |          |   |        |
| б) Окиси железа   | не более | — | 0,8%.  |
| в) Закиси железа  | " "      | — | 0,1%.  |
| г) Свободной серной кислоты                                       | " "      | — | 0,1%.  |
| д) Прокаленного нерастворимого осадка                             | " "      | — | 1,0%.  |
-

---

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Вознесенский С. А., проф. — Физико-химические процессы очистки воды, 1934 г.
2. Турчинович В. Т., проф. — Улучшение качества воды, 1935 г.
3. Изгарышев Н. А., проф. — Болезни металлов и средство их сохранения.
4. Кистяковский В. А., акад. — Коррозия металлов и новейшие пути борьбы с ней, 1931 г.
5. Кистяковский В. А., акад. — Фильмовая теория коррозии металлов, 1933 г.
6. Кренке О., Маас Э., Бек В. — Коррозия и защита материалов, 1935 г.
7. Тебенихин Е. Ф. доц. — Анализ естественных, умягченных и котловых вод на ж.-д. транспорте, 1936 г.
8. Теплов А. В., доц. — Водоснабжение и канализация, 1936 г.
9. Труды первой конференции по коррозии металлов при Академии Наук СССР 1935 г.
10. U. R. Evans — The corrosion of Metals, 1926 г.
11. F. N. Speller — Corrosion, cause and prevention, 1926.
12. Журн. „Тепло и Сила“, Известия Всесоюзного теплотехнического института.
13. W. P. Mason — Examination of Water Chemical and Bacteriological, 1931.
14. Stumper R. — Die physikalische Chemie der Kesselsteinbildung und ihre Verhütung, 1930.
15. Stumper R. — Speisewasser u. Speisewasserpflge, 1931.
16. Powell S. T. — Boiler Feed Water Purification.
17. Partridge E. P. — Formation and properties of boilerscale.
18. Gaus R. — Konstitution der Zeolithe, ihre Herstellung und thechnische Verwendung.

19. Журналы:  
 Journ. on the Americ. Water Works. Ass.  
 Korrosion u. Metallschutz.  
 Wasser u. Abwasser.  
 Wärme.  
 Power.  
 Bul. Americ. Railway. Eng. Ass.  
 Mech. Engineering.  
 Journ. Ind. and Eng. Chem.  
 Railway Eng. and Maint.  
 Chaleur et Industrie.



Цена книги 2 р. 45 к.

Переплет 35 к.

Спец. редактор Н. А. Дерюгин.

Техред. В. В. Орлова, П. А. Хитров

Уполн. Главлита Б—1009 ЖДИЗ 2808 Ж-36. Зак. тип. 3218  
 Тираж 8.230 экз. разм. бум. 72х92 1/2. 8 1/2 п. л. +1 вкл. 51 072 зн. в п. л.  
 Сдано в набор 22/VIII 1936 г. Подписано к печати 28/I—1937 г.

1-я тип. Трансжелдориздата, Москва, Б. Переяславская, 46

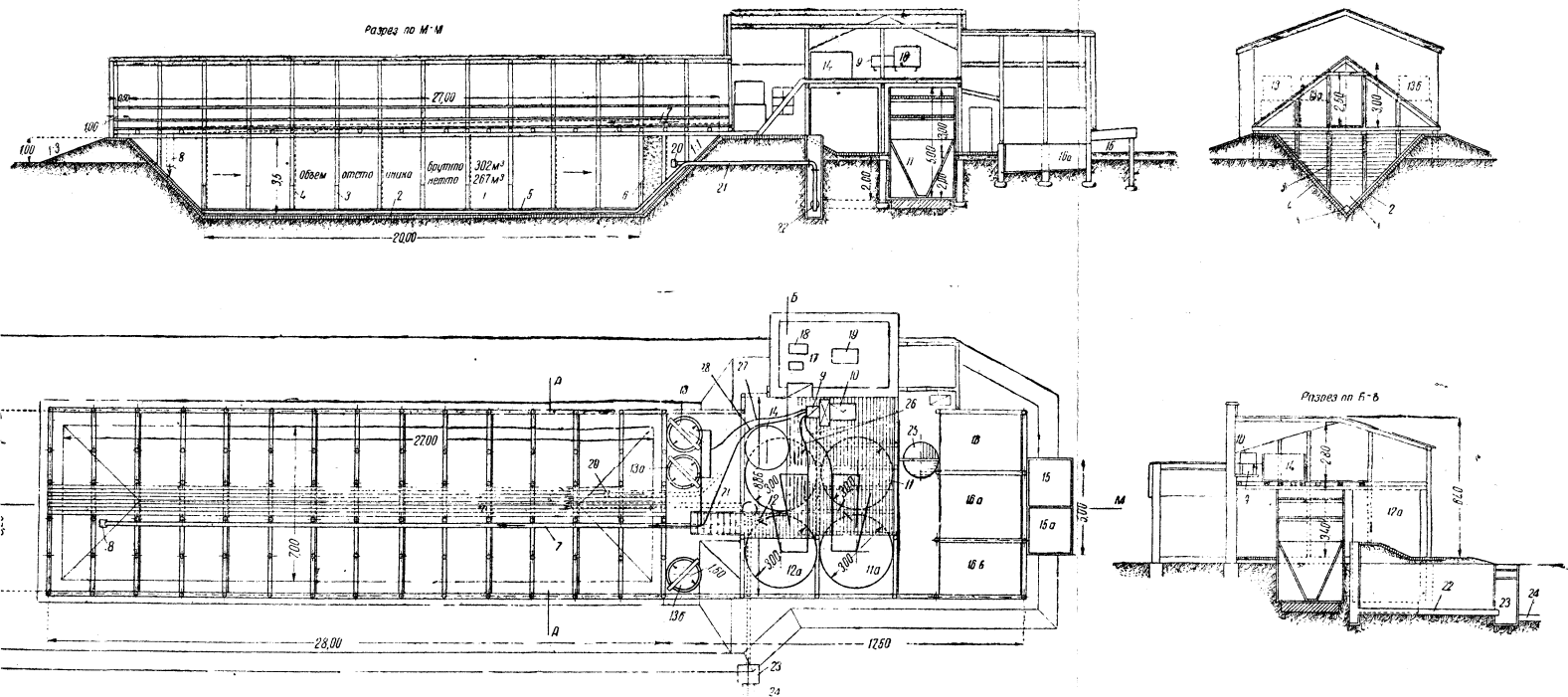


Рис. 38. Водоумягчитель „Струя“ горизонтального типа, производительностью 50 м<sup>3</sup>/час  
Схема расположения частей установки

— отстойник, вырытый в земле, 2 — облицовка стенок отстойника бетоном, 3 — стойки, поддерживающие пол и крышу отстойника, 4 — декантирующие тесовые перегородки со щелями, 5 — труба (закрытый желоб) для спуска осадков из отстойника, 6 — фильтр, 7 — желоб для смешивания и подачи воды с растворами реагентов в отстойник, 8 — приемная труба для смеси, поступающей в отстойник, 9 и 10 — водораспределитель, 11, 11а — баки первого сатуратора, 12, 12а — баки второго сатуратора, 13, 13а — содовые раздатчики, 13б — запасной содовый раздатчик, 14 — бак для приготовления раствора соды, 15 и 15а — ящики для гашения извести, 16, 16а, 16б — известковые творяла, 17 — насос для перекачки известкового молока из бака № 25 в баки сатураторов, 18 — насос для перекачки умягченной воды, 19 — двигатель, — всасывающий трубопровод к насосу № 18, 21 — трубопровод для выпуска осадков из отстойника, 22 — канализационный трубопровод, 23 — наружный смотровой людец, 24 — водоотводная канава, 25 — бак для приготовления известкового молока, 26 — трубопроводы для подачи воды в баки сатураторов, 27 — трубопроводы для подачи воды в содовые раздатчики, 28 — трубопровод для подачи воды в смешительный желоб